

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL**  
**CAMPUS REALEZA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE, BEM-ESTAR ANIMAL E**  
**PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL NA FRONTEIRA SUL**

**JAQUELINE BEATRIS ZANELLA**

**ADITIVOS QUÍMICOS OU MICROBIOLÓGICO NA SILAGEM DE MILHO**

**REALEZA**

**2022**

**JAQUELINE BEATRIS ZANELLA**

**ADITIVOS QUÍMICOS OU MICROBIOLÓGICO NA SILAGEM DE MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde, Bem-Estar Animal e Produção Animal Sustentável Na Fronteira Sul da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Saúde, Bem-Estar e Produção Animal Sustentável na Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Jonatas Cattelan

**REALEZA**

**2022**

### **Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Zanella, Jaqueline Beatris  
ADITIVOS QUÍMICOS OU MICROBIOLÓGICO NA SILAGEM DE  
MILHO / Jaqueline Beatris Zanella. -- 2022.  
64 f.

Orientador: Jonatas Cattelam

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da  
Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Saúde,  
Bem-Estar e Produção Animal Sustentável Na Fronteira  
Sul, Realeza, PR, 2022.

1. Padrão fermentativo da silagem. 2. Ácidos  
Orgânicos. 3. Análises Bromatológicas. 4. Conservação de  
Forrageiras. I. Cattelam, Jonatas, orient. II.  
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

**JAQUELINE BEATRIS ZANELLA**

**ADITIVOS QUÍMICOS OU MICROBIOLÓGICO NA SILAGEM DE MILHO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saúde, Bem-Estar Animal e Produção Animal Sustentável Na Fronteira Sul da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito para obtenção do grau de Mestre em Saúde, Bem-estar e Produção Animal Sustentável na Fronteira Sul.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 10/02/2022

**BANCA EXAMINADORA**



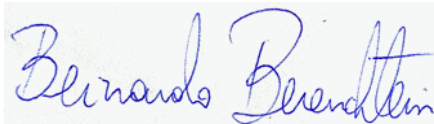
---

Prof. Dr. Jonatas Cattelam– UFFS  
Orientador



---

Prof. Dr. Rangel Fernandes Pacheco – IFF Frederico Westphalen/ RS  
Avaliador



---

Prof. Dr. Bernardo Berenchtein – UFFS  
Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal da Fronteira Sul– UFFS campus Realeza e o Programa da Pós-Graduação em Saúde, Bem-Estar e Produção Animal Sustentável da Fronteira Sul pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jonatas Cattelam, pela orientação, dedicação, paciência, confiança e por todos os ensinamentos no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os Professores do programa de Pós-Graduação em Saúde, Bem-Estar e Produção Animal Sustentável da Fronteira Sul contribuíram para o meu desenvolvimento e aprendizado.

Aos meus pais Idani Maria Mazutti Zanella e Nilvo Zanella, por todo o apoio e incentivo.

Ao meu companheiro de vida, Sidinei Meneghetti pelo companheirismo, amizade e apoio em mais essa fase da minha vida profissional.

A todas as pessoas que de alguma forma direta ou indireta, intelectual ou emocionalmente estiveram presentes durante o desenvolvimento deste trabalho auxiliando na execução e conclusão do mesmo.

## RESUMO

Ensilagem é uma técnica de conservação de forrageiras verdes úmidas por acidificação, através do processo de fermentação anaeróbica. O sucesso no processo fermentativo pode estar ligado à diversos fatores relacionados as características da planta a ser ensilada. Fatores como o elevado conteúdo de umidade ou baixo conteúdo de carboidratos solúveis podem interferir no processo fermentativo, ocasionando fermentações secundárias, resultando em perdas de princípios nutritivos e de matéria seca (MS). Diante deste contexto, a utilização de aditivos químicos e ou microbianos na silagem tem como princípio de auxiliar o processo fermentativo, reduzir perdas e melhorar o valor nutricional das silagens. Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da utilização de alguns aditivos no padrão de fermentação e a composição bromatológica da silagem de milho (*Zea mays* L.). O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul *campus* de Realeza nos anos 2019 e 2020. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos (silagem de milho sem aditivo; silagem aditivada com 3,0% de ureia; silagem aditivada com 3,0 de calcário; silagem aditivada com 3,0% de açúcar cristal; e silagem com inoculante bacteriano). No momento do corte realizou-se avaliação de parâmetros agrônômicos da lavoura de milho: caracterização da lavoura e mensuração de produtividade. No momento de confecção da silagem foi mensurado o pH do material triturado e durante o processo de fermentativo dos 15 dias. Após 60 dias da ensilagem foi realizada a coleta de amostras, para análises bromatológicas, ácidos orgânicos e nitrogênio amoniacal. A inclusão dos aditivos alterou o processo fermentativo e composição química-bromatológica das silagens aditivadas. Para o pH no final do processo fermentativo, adição da calcário ou ureia promoveram maiores valores de pH. Nos ácidos orgânicos, adição dos aditivos reduziram a produção de ácido butírico. Silagens aditivadas com calcário ou ureia apresentaram maiores concentrações de ácido láctico, silagens com inoculante ou sem aditivo tiveram maiores teores de ácido acético, e as maiores médias de nitrogênio amoniacal, foram obtidas nas silagens aditivadas com ureia, seguidas pelo tratamento sem aditivo. Houve efeito dos ativos na composição química e bromatológica das silagens. O uso de aditivos aumentaram FDA, FDN, celulose, hemicelulose e proteína, em contrapartida, reduziram os carboidratos não fibrosos e NDT.

Palavras-chave: Ácidos orgânicos. Análises bromatológicas. Conservação de forrageiras. Nitrogênio amoniacal. Padrão fermentativo da silagem.

## ABSTRACT

Ensilage is a technique for preserving moist green forages by acidification, through the process of anaerobic fermentation. The success in the fermentation process can be linked to several factors related to the characteristics of the plant to be ensiled. Factors such as high moisture content or low content of soluble carbohydrates can interfere in the fermentation process, causing secondary fermentation, resulting in loss of nutritive principles and dry matter (DM). In this context, the use of chemical and/or microbial additives in silage has the principle of helping the fermentation process, reducing losses and improving the nutritional value of silages. Thus, this study aimed to evaluate the effect of using some additives on the fermentation pattern and the chemical composition of corn silage (*Zea mays* L.). The experiment was carried out in the experimental area of the Federal University of Fronteira Sul campus of Realeza in the years 2019 and 2020. It was used a completely randomized design with five treatments (corn silage without additive; silage with 3.0% urea additive; silage with additive 3.0 limestone; silage with 3.0% crystal sugar; and silage with bacterial inoculant). At the time of cutting, the agronomic parameters of the corn crop were evaluated: crop characterization and productivity measurement. At the time of making the silage, the pH of the crushed material was measured during the 15-day fermentation process. After 60 days of ensiling, samples were collected for chemical analysis, organic acids and ammonia nitrogen. The inclusion of additives altered the fermentation process and chemical-bromatological composition of the additive silages. For the pH at the end of the fermentation process, the addition of limestone or urea promoted higher pH values. Inorganic acids, the addition of additives reduced the production of butyric acid. Silages with limestone or urea had higher concentrations of lactic acid, silages with inoculant or without additive had higher acetic acid contents, and the highest ammonia nitrogen means were obtained in silages with urea additive, followed by the treatment without additive. There was an effect of the actives on the chemical and chemical composition of the silages. The use of additives increased ADF, NDF, cellulose, hemicellulose and protein, in contrast, reduced non-fibrous carbohydrates and TDN.

Keywords: Organic acids. Chemical analyses. Forage conservation. Ammoniacal nitrogen. Silage fermentation pattern.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição Bromatológica de 220 amostras de silagens de milho produzidas no Brasil, 2004 à 2015.....	13
Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental UFFS, Realeza. ....	37
Tabela 3. Produtividade da lavoura de milho, composição física do material ensilado e matéria seca da forrageira ensilada.....	39
Tabela 4. Tamanho de partícula e retenção de partícula em peneira Penn State Particle Size do material triturado para silagem de milho.....	40
Tabela 5. Potencial de hidrogênio (pH) das silagens de milho produzidas com a adição de diferentes aditivos.....	43
Tabela 7. Composição química e digestibilidade in vitro das silagens de milho produzidas com a adição de diferentes aditivos.....	52



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>11</b>
2.1	ENSILAGEM.....	11
2.2	SILAGEM DE MILHO.....	12
2.3	TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SILAGEM .....	14
2.4	PROCESSO FERMENTATIVO .....	16
2.5	USO DE ADITIVOS.....	19
<b>2.5.1</b>	<b>Aditivos microbiológicos.....</b>	<b>21</b>
2.5.1.1	Inoculante bacteriano .....	21
<b>2.5.2</b>	<b>Aditivos químicos .....</b>	<b>23</b>
2.5.2.1	Ureia.....	24
2.5.2.2	Açúcar cristal.....	25
2.5.2.3	Calcário .....	26
2.6	REFERÊNCIAS .....	27
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO II. PERFIL FERMENTATIVO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SILAGEM DE MILHO COM INCLUSÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS OU MICROBIOLÓGICO .....</b>	<b>34</b>
	RESUMO	34
3.1	INTRODUÇÃO .....	35
3.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	37
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
<b>3.3.1</b>	<b>pH das silagens durante o processo fermentativo .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Perfil fermentativo da silagem e recuperação de matéria seca .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Composição química-bromatológica das silagens .....</b>	<b>51</b>
3.4	CONCLUSÃO .....	57
3.5	REFERÊNCIAS .....	58
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ensilagem é um método de conservação das culturas forrageiras, através da fermentação controlada em condições de anaerobiose e acidez. O produto resultante da fermentação da planta forrageira é denominado de silagem, utilizado como alimento volumoso na alimentação dos ruminantes (NOVAES *et al.*, 2004). A técnica de confecção de silagem foi muito difundida como estratégia de estocagem de forragem para os períodos de escassez de pastagens em decorrência da estacionalidade produtiva das forrageiras nos sistemas extensivos de produção. Atualmente é uma prática comum na maioria das propriedades, tanto em sistemas produtivos extensivos como nos sistemas produtivos mais intensivos e tecnificados, que exigem o fornecimento de forragem conservada ao longo do ano (FASOLO; CARVALHO, 2021).

Dentre as diversas espécies de forrageiras e formas que podem ser ensiladas, o uso da planta inteira do milho tem sido a principal forma de conservação de forragem em propriedades de produção de leite e carne (DANIEL *et al.*, 2019). O milho é bastante recomendado para ser ensilado devido suas características agrônomicas e fermentativas, pois apresenta elevada produção por área e composição bromatológica que preenche os pré-requisitos para confecção de boa silagem, com adequadas características nutricionais e boa aceitação pelos animais (RIBEIRO JUNIOR, *et al.*, 2011).

Na confecção da silagem, durante o processo fermentativo, há a atuação das bactérias fermentativas, que utilizam os carboidratos solúveis em água produzindo ácidos orgânicos, principalmente o ácido láctico responsável pelo declínio do pH, limitando o crescimento de microrganismos indesejáveis, contribuindo com a conservação do material ensilado (MUCK, 2010; KUNG JR., 2018). Dessa forma, pode-se constatar que entre os princípios fundamentais do processo de produção da silagem está a manutenção de condições anaeróbicas durante a ensilagem, rápido declínio no valor do pH e a presença de bactérias produtoras de ácido láctico.

Para produzir silagem de qualidade é necessário que o processo fermentativo do material ocorra da maneira mais eficiente possível, minimizando perdas de matéria seca e energia, e preservando o valor nutritivo (McDONALD *et al.*, 1991; TOMICH *et al.*, 2012). Falhas no processo fermentativo podem resultar em perdas de matéria seca e princípios nutritivos e, conseqüentemente, em silagens de baixa qualidade nutricional (SILVA *et al.*, 2017). A fim de evitar ou reduzir a ocorrências destas perdas, pode ser realizado o uso de aditivos (NEUMANN *et al.*, 2010).

Os aditivos são substâncias que, quando adicionadas à forragem no momento da ensilagem, tem objetivo de melhorar o padrão fermentativo da matéria ensilada, restringir a fermentação secundária, melhorar a estabilidade aeróbia, e oferecer maior retorno na produção animal em relação ao custo de sua utilização (YITBAREK; TAMIR, 2014). Ou seja, são produtos inseridos durante o processo de ensilagem com objetivo de auxiliar ou modificar o processo fermentativo, reduzir perdas e enriquecer o valor nutritivo e, conseqüentemente, melhorar a aceitabilidade, a digestibilidade e o consumo.

Existe uma grande variedade de produtos utilizados como aditivos em silagens para melhorar a qualidade, no entanto deve-se considerar a sua eficácia e viabilidade. Destaca-se os aditivos microbiológicos, mais conhecidos como inoculantes bacterianos, são os mais utilizados com a finalidade de aumentar a população das bactérias do ácido lático e acelerar a fermentação. Além dos microbiológicos, há os aditivos químicos, como a ureia, que tem como finalidade melhorar o valor nutritivo, e o calcário, que visa melhorar a digestibilidade do material ensilado, ambos mais utilizados em silagem de cana-de-açúcar. Além disso, alguns trabalhos exploram o efeito da adição de fontes de açúcar, como melaço ou açúcar cristal, com objetivo de aumentar a disponibilidade de substratos para o desenvolvimento das bactérias fermentativas. No entanto percebe-se a carência de estudos sobre a eficiência técnica e econômica desses aditivos, e a otimização das doses recomendadas e seus efeitos no processo de fermentação, conservação e qualidade nutricional do material ensilado, sobretudo de milho.

Dessa forma, a escassez de trabalhos científicos sobre o tema, acarreta pouca informação, e justifica a experimentação sobre os efeitos de tais aditivos elencados. Diante deste contexto, o presente estudo buscou analisar a contribuição do uso de diferentes aditivos no processo fermentativo e na qualidade da silagem de milho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ENSILAGEM

Ensilagem pode ser definido como um método estratégico de conservação e armazenamento de forrageiras por meio da fermentação anaeróbica (CARDOSO; SILVA, 1995; PEDROSO, 2008). Esta estratégia supre a estacionalidade da produção apresentada pelas gramíneas tropicais, uma vez que essas apresentam maior produção nos meses quentes quando comparado com a produção nos meses frios (baixas temperaturas, disponibilidade hídrica), ocasionando épocas de vazio forrageiro, principalmente no outono e no início do inverno (DANIEL *et al.*, 2019).

No processo de ensilagem, a forrageira é cortada no momento adequado de desenvolvimento, que varia conforme a espécie forrageira, é fragmentada em partículas menores, compactada e armazenada em silos vedados (SILVA, 2001). Desta forma, a técnica de ensilagem consiste na conservação da forragem em ambiente anaeróbico, que restringe a respiração celular que continua ocorrendo após o corte da forrageira, e favorece o desenvolvimento de bactérias produtoras de ácido láctico.

A denominação silagem é empregada para designar a massa produzida por fermentação anaeróbica da planta (SILVA, 2001; PEDROSO, 2008), ou seja, silagem é uma forragem com alto teor de umidade, colhida e preservada por meio da produção de ácidos orgânicos pelo processo de fermentação anaeróbia (ALLEN *et al.*, 2011). O processo fermentativo inicia após a vedação do silo, quando há o estabelecimento das condições anaeróbicas, ausência de oxigênio, podendo ter a duração de 15 à 20 dias (TOMICH *et al.*, 2003).

Durante o processo fermentativo, as bactérias do ácido láctico utilizam como substrato os carboidratos solúveis em água, açúcares hidrossolúveis da planta, para produzir o ácido láctico, que é o principal responsável por aumentar a acidez e diminuir o pH da silagem (ROOKE; HATFIELD, 2003; KUNG JR., 2018). A redução do valor do pH, contribui para o controle do desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, como clostrídeos, enterobactérias, fungos e leveduras, responsáveis pelas perdas de valor nutritivo do material ensilado, durante a fermentação e após a abertura do silo (DANNER *et al.*, 2003). Segundo

Rodrigues *et al.* (2014) quanto mais rápido e eficiente for a produção de ácido lático, um ácido forte e não volátil, menores serão as perdas no processo fermentativo.

A produção de silagens de alta qualidade depende de vários fatores, sendo os principais deles o teor de matéria seca, a quantidade de carboidratos solúveis e a baixa capacidade tampão do material ensilado (SILVA *et al.*, 2017). Além da composição quantitativa e qualitativa da microflora epifítica presente na forrageira colhida, tamanho de partícula picada, compactação adequada e tempo de fechamento do silo podem comprometer a qualidade do produto final (SILVA *et al.*, 2017; ANJOS *et al.*, 2020). A criação e a manutenção do ambiente anaeróbico e a fermentação dos açúcares pelas bactérias produzindo os ácidos orgânicos são dois processos importantes para boa preservação e conservação da silagem (MUCK, 2010).

## 2.2 SILAGEM DE MILHO

Diversas espécies forrageiras podem ser utilizadas para o processo de ensilagem, todavia, a cultura de milho é uma das espécies mais adaptadas e utilizadas no processo de ensilagem, pois apresenta considerável produção de matéria seca e aspectos agrônômicos que permitem produzir silagens de qualidade (MELLO, 2004). Segundo Daniel *et al.* (2019) a silagem de milho é a mais comum, por apresentar alta fonte de energia quando comparada às demais gramíneas.

Milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea, pertence à família família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, planta herbácea, anual e com ciclo completo de duração de 4 a 5 meses (SILVA *et al.*, 2021). Planta de mecanismo fotossintético C4, avaliado como cereal de maior eficiência para o cultivo de grãos. Esse cereal originário da América, destina-se praticamente para o consumo animal, sendo que a maior demanda de grãos é para a indústria de ração animal (COELHO, 2018). Como forragem, a silagem de planta inteira de milho tem sido a principal fonte de forragem na dieta de ruminantes em operações intensivas ou durante parte do ano em sistemas baseados em pastagem (DANIEL *et al.*, 2019). Na pesquisa desenvolvida por Bernades e Do Rêgo (2014), verificou-se que de 260 propriedades produtoras de leite do Brasil, 82,7% usavam exclusivamente silagem de milho ou sua combinação com outras fontes forrageiras da ração.

Uma das principais vantagens da silagem é que os rendimentos de matéria seca (MS) são frequentemente mais altos do que a maioria das forragens alternativas de estação fria, com rendimento de 13 a 20 toneladas por hectare (ALLEN; COORS; ROTH, 2003). Além do alto potencial de produção de matéria seca e grãos, o milho se destaca pelo alto valor energético, composição adequada de fibra (CALONEGO *et al.*, 2011), alta aceitabilidade e digestibilidade, boa conversão alimentar, apresenta custos razoáveis de produção e fácil manejo, desde a implantação até o processo final de ensilagem (FASOLO; CARVALHO, 2021).

Relacionando aos requisitos básicos para a ensilagem, o milho apresenta condições ideais para a produção de boa silagem, como teor de matéria seca por ocasião da ensilagem entre 30% e 35%, concentração de carboidrato solúvel na matéria original acima de 3% e baixo poder tampão, que proporciona condições adequadas para boa fermentação, desta forma possibilitando a obtenção de silagens com alto valor nutricional e boa aceitação pelo animais (POSSENTI *et al.*, 2005; PASA; PASA, 2015). Segundo Silva e Machado Junior (2014), o milho possui níveis adequados de carboidratos solúveis e sua capacidade de tamponamento se mantém baixa, mantendo assim o pH constante, auxiliando de forma favorável à fermentação dentro do silo, consequentemente obtendo silagem de qualidade. No geral, as silagens de milho apresentam bom valor nutricional conforme os dados obtidos por Faria *et al.* (2020), que objetivou avaliar a composição bromatológica de 220 amostras de silagens produzidas no Brasil (sem aditivo), coletadas durante o período de 2004 à 2015 (Tabela 1).

Tabela 1. Composição Bromatológica de 220 amostras de silagens de milho produzidas no Brasil, 2004 à 2015.

Variáveis	MS	PB (% da MS)	FB (% da MS)	MM (% da MS)	EE (% da MS)	FDN (% da MS)	FDA (% da MS)	Cel (% da MS)	Lig (% da MS)
Valores	28,8	8,8	22,3	5,6	2,2	49,2	30,5	26,2	3,0
Médios	42,9	12,5	25,9	6,9	3,5	57,2	42,0	28,5	5,5

FONTE: Elaboradora pelo autor; Dados obtidos nos estudos de Faria *et al.* (2020).

De acordo com Allen, Coors e Roth (2003) vários fatores podem influenciar a qualidade da silagem de milho, como escolha do híbrido para o plantio, densidade da cultura, condições de crescimento, grau de maturidade e umidade da cultura quando colhida, e as condições de ensilagem (tamanho de corte de partícula, compactação, vedação do silo) e por fim o processo de fermentação da massa ensilada (FASOLO; CARVALHO, 2021). Entretanto, é a eficiência

do processo fermentativo que irá garantir a qualidade da silagem e promover a conservação do valor nutritivo.

### 2.3 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SILAGEM

A escolha do híbrido no momento do plantio é de fundamental importância, assim recomendam-se que cultivares que apresentem alta percentagem de grãos, fibras de melhor digestibilidade e alta produtividade de massa, associado às características agronômicas favoráveis aos sistemas de produção (ALLEN; COORS; ROTH, 2003). Destaca-se que a proporção de grãos do material ensilado afeta diretamente a qualidade nutritiva do produto final, através da redução do teor de fibra, aumento da digestibilidade da matéria orgânica e do valor energético, pois dois terços do NDT provêm das espigas. Silagem de milho com alto valor nutritivo, deve apresentar de 40 a 50% de grãos da MS total da planta ensilada (DEMINICIS *et al.*, 2009).

Um aspecto muito importante na confecção de silagem de milho é o corte da planta no momento adequado, pois o ponto de colheita é parâmetro fundamental para a qualidade da silagem e depende, essencialmente, da maturidade da planta e de sua umidade. De acordo com Silva e Machado Junior (2014) o ponto ideal de colheita do milho para silagem de planta inteira está entre 30 e 35% de matéria seca, com a textura do grão de milho de pastosa ao ponto farináceo, pois neste estágio há grande quantidade de açúcares solúveis, o que proporciona adequada fermentação microbiana. Além disso, quando colhido precocemente o milho tem maior perda de valor nutritivo devido à redução do acúmulo do amido nos grãos e baixa concentração de energia, enquanto a forrageira colhida posterior ao ponto ideal recomendado tem menor valor nutricional devido ao aumento das concentrações de fibras e a redução da digestibilidade do amido (MANDIĆ *et al.*, 2021)

Segundo Santos *et al.* (2013) o teor de matéria seca da forrageira a ser ensilada interfere tanto no processo de confecção como no processo de fermentação da silagem. O baixo teor de matéria seca é apontado como problema, pois a umidade elevada da forragem ensilada resulta em produção excessiva de efluentes, que além de dificultar o manejo, lixivia nutrientes altamente digestíveis, e reduz o valor nutritivo das silagens (SANTOS *et al.*, 2013). Além disso, em silagens muito úmidas (<30% MS) há o favorecimento da proliferação das bactérias

indesejáveis, como os clostrídios, que pode resultar em degradação excessiva de proteínas, perda de MS, e produção de amins biogênicas (putrescina, cadaverina, tyramina e histamina) (KUNG JR., 2018).

Para plantas com o teor de MS acima de 35%, o corte e a picagem tornam-se mais difíceis, pois possuem o tecido vegetal mais lignificado, com fibras mais resistentes, que dificultam a manutenção de padrão uniforme do tamanho de partículas (CAMPOS *et al.*, 2002). Partículas maiores e desuniformes reduzem a densidade de compactação, dificultando a expulsão do ar da massa de forragem, retardam o processo fermentativo, pois o crescimento das bactérias do ácido láctico é reduzido, e a acidificação ocorre mais lentamente devido a menor quantidade de ácido produzido (KUNG JR., 2018). Portanto, qualquer equívoco relacionado ao corte tardio ou precoce é prejudicial à qualidade da silagem e ao posterior aproveitamento pelo animal (GIACHINI *et al.*, 2020).

Outro aspecto a ser considerado, é o tamanho das partículas que a forrageira é triturada, uma vez que a fragmentação favorece a compactação da massa e facilita a retirada de oxigênio, o que determina melhor fermentação, pois aumenta a interação entre o substrato e os microrganismos (RIBEIRO *et al.*, 2009). Partículas maiores que 20 mm irão causar problemas fermentativos na silagem, principalmente por ineficiência na compactação (KONONOFF *et al.*, 2003), entretanto, partículas com tamanho inferior a 20 mm determinam maior eficiência de compactação da massa ensilada, diminuindo os gradientes de temperatura entre meio ambiente e silagem, e podem aumentar a disponibilidade de carboidratos solúveis e estimular a proliferação de bactérias homoláticas desejáveis (NEUMANN *et al.*, 2007).

Além disso, o tamanho da partícula pode influenciar no desempenho produtivo dos animais. Considerando que na dieta dos ruminantes é de fundamental importância o fornecimento de fibras para manter as funções fisiológicas do rúmen e a atividade de ruminação, o fornecimento de silagem com partículas muito pequenas podem causar problemas metabólicos, mas por outro lado, tamanho de partícula demasiadamente grande reduz o consumo e o desempenho dos animais (KONONOFF *et al.* 2003).

Para produzir silagem de boa qualidade, o material vegetal fragmentado deve ser compactado para retirada de ar e vedado no menor intervalo de tempo possível, para retirar o oxigênio e garantir condições anaeróbias para preservação dos nutrientes. Segundo Velho *et al.* (2007) a maior densidade de compactação permite melhor conservação dos glicídios solúveis, menor alteração dos carboidratos estruturais e menor proteólise na silagem, aspectos que favorecem a aceitabilidade e o consumo da silagem.



Quanto mais eficiente for a compactação, maior será a densidade (em kg de matéria verde (MV)/ m<sup>3</sup>) no silo, sendo recomendadas densidades médias de 600 a 700 kg/m<sup>3</sup> de MV ou 180 a 210 kg/m<sup>3</sup> de MS (SANTANA *et al.*, 2020), pois além do melhor aproveitamento da capacidade do silo, haverá significativa redução das perdas. Segundo Kung Jr. (2018) a rápida remoção do ar evita o crescimento de bactérias aeróbicas indesejáveis que podem competir com as bactérias benéficas produtoras do ácido lático. Quanto mais rápido for o enchimento do silo, a compactação e a vedação, menores serão as perdas de MS. Senger *et al.* (2005) descrevem que a forragem fragmentada deve ser bem compactada, cerca de 650 kg/ m<sup>3</sup> de MV, objetivando condição anaeróbia à fermentação a fim de que as características qualitativas da silagem sejam bastante similares às do material original. Após a compactação, a última etapa do processo de ensilagem é a vedação, com o objetivo de proporcionar ambiente para que as bactérias anaeróbicas iniciem o processo fermentativo com a produção de ácidos, ocasionando a queda do pH, e dessa forma, evitando o crescimento de microrganismos indesejáveis (PEDROSO, 1998; KUNG, 2010).

## 2.4 PROCESSO FERMENTATIVO

Para obtenção da silagem final de boa qualidade, é necessário que ocorra boas condições de fermentação no seu processo. O processo de fermentação é dividido em quatro fases: fase aeróbica, fase anaeróbica, fase de estabilidade e descarga. Cada fase há ação de inúmeros microrganismos, alguns atuando de maneira benéfica, enquanto outros afetam negativamente o processo de fermentação, o que pode resultar em muitas perdas no produto final (FASOLO; CARVALHO, 2021).

A primeira fase do processo fermentativo, denominada de fase aeróbia, ou seja, há a presença de O<sub>2</sub>, acontece no primeiro e segundo dia após o fechamento do silo (SANTOS; ZANINE, 2006), e o pH oscila de 5,0 à 6,0, a depender da forrageira ensilada (KUNG JR., 2018). Nesta fase, há a intensa respiração das células vegetais, utilizando o oxigênio do ar e os carboidratos solúveis presente no material vegetal, produzindo dióxido de carbono, calor e água (SILVA *et al.*, 2017; MACÊDO *et al.*, 2017). Enquanto houver a presença de oxigênio, há continuação da respiração das células vegetais e a proteólise (PEDROSO, 2008). Além disso,

ocorre o desenvolvimento de microrganismos aeróbios ou aeróbicos facultativos, como fungos, leveduras e algumas bactérias, que acarretará consumo de carboidratos solúveis. Nesse período a perda de carboidratos pela respiração ou pela fermentação dos microrganismos aeróbicos terá efeito na preservação da silagem e afetará diretamente o valor nutritivo da silagem, pois a perda de açúcares reduz o teor de energia da forragem e aumenta a concentração dos constituintes fibrosos (PEDROSO, 2008). A respiração nesta fase não somente poderá causar perdas de MS, como também induzir a processos decorrentes do aumento da temperatura, como é o caso da reação de Maillard, na qual aminoácidos e açúcares se complexam, tornando-se indisponíveis (MACÊDO *et al.*, 2017). Como forma de minimizar ou reduzir perdas, deve-se acelerar o processo de enchimento, compactação adequada do silo e buscar ter vedação imediata e eficiente (PEDROSO, 2008).

Com o esgotamento do oxigênio no interior do silo, inicia a segunda fase, conhecida como fase de fermentação ativa. Nesta fase, as bactérias do ácido lático crescem rapidamente, se tornando dominante, fermentam açúcares em ácidos, e reduzem o pH da forragem para valores de 4,0 a 4,5 (MUCK, 2010). O tempo de fermentação pode variar entre 10 à 14 dias e depende, principalmente, do teor de carboidratos solúveis, da capacidade tampão e do teor de umidade da forragem. Durante essa fase, os microrganismos anaeróbios fermentam hexoses (glicose e frutose) e pentoses (ribose e xilose), produzindo etanol, ácidos graxos voláteis (AGV), ácido lático e CO<sub>2</sub> (ROOKE; HATFIELD, 2003). Os ácidos orgânicos produzidos nesta fase irão atuar na conservação da forragem, entre eles, os mais comumente quantificados para avaliação da qualidade de silagem são os ácidos lático, acético, propiônico e butírico (MACÊDO *et al.*, 2017).

O ácido lático, produto final preferido de fermentação no silo, pois é um ácido forte (pK<sub>a</sub> 3,86), atua na queda rápida do pH no interior do silo, proporcionando condições de inativação de crescimento de microrganismos indesejáveis (KUNG JR. *et al.*, 2018). O ácido lático encontrado com maior concentração em silagem de qualidade, é produzido pelos microrganismos anaeróbicos, bactérias lácticas homofermatativas ou pelas heterofermentativas (MUCK, 2010). As bactérias homoláticas produzem apenas o ácido lático, provocam decréscimo mais rápido do pH, enquanto as bactérias lácticas heterofermentativas convertem os açúcares em ácido lático, etanol, ou o ácido acético, adicionados ao CO<sub>2</sub>, como produtos finais da fermentação (McDONALD *et al.*, 1991; PEDROSO 2008). Entre as bactérias lácticas heterofermentativas, das quais, a mais comum é a *Lactobacillus buchneri*, produzem elevadas concentrações de ácido acético. A presença do ácido acético também é desejável no material

ensilado, pois atua de forma antifúngica, inibindo o desenvolvimento de fungos filamentosos e leveduras, melhorando assim a estabilidade aeróbica da silagens (DANNER *et al.*, 2003).

Além das bactérias do ácido lático heterofermentativas, o ácido acético pode ser produzido pelas enterobactérias e até mesmo em menor proporção por alguns gêneros de clostrídios. A produção deste ácido resulta na perda adicional de CO<sub>2</sub>, reduzindo a recuperação de matéria seca (MUCK, 2010). Enterobactérias são microrganismos que competem por substrato com bactérias lácticas no início do processo de fermentação. O principal produto da fermentação das enterobactérias é o ácido acético, porém, elas também produzem amônia por meio de várias reações de desaminação (McDONALD *et al.*, 1991). No entanto, a redução do pH abaixo de 5,0, por sua vez restringe a atividade das enterobactérias, desta forma, a população de enterobactérias geralmente permanece ativa durante as primeiras horas de ensilagem (12-24 horas) (PEDROSO, 2008).

Há a atuação das bactérias propiônicas (*Propionibacterium*) que convertem glicose e ácido lático em ácido propiônico e acético. O ácido propiônico é produzido em baixíssimas concentrações (<0,1%) no decorrer do processo fermentativo, e tem potencial antifúngico sendo eficaz no controle de microrganismos indesejáveis. Em silagens com concentrações mais elevadas (>0,3-0,5%), pode ter ocorrido fermentação pelos *Clostridium propionicum* (KUNG JR. *et al.*, 2018).

A presença do ácido butírico é indicativo da presença e desenvolvimentos de clostrídios, microrganismos indesejáveis na silagem, pois a atuação destes microrganismos acarreta perdas acentuadas de matéria seca e energia da forragem original durante o processo fermentativo (MACÊDO *et al.*, 2017). A concentração de ácido butírico é positivamente correlacionado à redução da aceitabilidade e do consumo da forragem (TOMICH *et al.*, 2003). Os clostrídios presente nas silagens são divididos em três grupos: a) clostrídios proteolíticos, que fermentam principalmente os aminoácidos, produzindo vários compostos na sua catabolização, sendo os mais significativos amônia, aminas e dióxido de carbono; b) O grupo *Clostridium* que fermenta carboidratos; c) grupo *C. tyrobutyricum* que fermenta alguns açúcares, principalmente o ácido lático produzindo ácido butírico, ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono (MUCK, 2010). Segundo Jonsson (1991) o crescimento clostridial nas silagens é estimulado por altas temperaturas de armazenamento, baixo conteúdo de matéria seca, baixo conteúdo de carboidratos, alta capacidade tampão da cultura e atraso na vedação.

A fase de fermentação ativa se prolonga no processo de ensilagem até o crescimento de microrganismos seja completamente inibido por alto nível de ácido (baixo pH). Valores de pH

3,8 a 4,2, inativa até as bactérias produtoras de ácido lático e o material ensilado é estável com atividade biológica praticamente nula, enquanto o silo estiver corretamente vedado (PEDROSO, 2008), assim inicia a terceira fase, denominada de fase de estabilidade, que na ausência de entrada de oxigênio o material permanecerá estável até a abertura do silo. Nesta fase, bactérias do ácido lático dominam a massa ensilada devido à produção dos ácidos orgânicos, e a maior concentração do ácido lático mantém o material ensilado conservado (MACÊDO *et al.*, 2017).

A fase final, fase de descarga, é caracterizada pela abertura dos silos e sua exposição a elevadas concentrações de O<sub>2</sub> (SANTOS; ZANINE, 2006). Durante esta fase, silagens de boa qualidade permanecerão estáveis e inalteradas na composição, isso dependerá da estabilidade aeróbia, presença dos ácidos na silagem. Porém em contato com o oxigênio, o primeiro grupo de microrganismos a se desenvolver na silagem será as leveduras, capazes de crescer em pH 3,5, consumindo o ácido lático e aumentando o pH da silagem, e desta forma proporcionam condições para o crescimento de outros microrganismos aeróbicos, como fungos. Com o desenvolvimento de fungos, poderá ocorrer a produção de micotoxinas na silagem, que poderá ocasionar efeitos negativos na saúde do animal que a consome (MUCK, 2010).

## 2.5 USO DE ADITIVOS

São denominados aditivos produtos que podem ser adicionado às forrageiras durante o processo de ensilagem com objetivo de melhorar a fermentação, impedir fermentações secundárias e prevenir a produção de ácido butírico, reduzir perdas de matéria seca, melhorar a recuperação de energia e a estabilidade da silagem e contribuir com a preservação de nutrientes durante ou após a fermentação (KUNG JR. *et al.*, 2003; YITBAREK; TAMIR, 2014).

Segundo Kung Jr. *et al.* (2003) os aditivos podem atuar no processo fermentativo inibindo o crescimento de microrganismos aeróbios (especialmente aqueles associados à instabilidade aeróbia, por exemplo, leveduras assimiladoras de lactato), inibindo o crescimento de organismos anaeróbios indesejáveis (por exemplo, enterobactérias e clostrídios) e inibindo a atividade de proteases e desaminases vegetais e microbianas. Podem também melhorar o fornecimento de substratos fermentáveis para bactérias de ácido lático com o fornecimento ou liberação nutrientes para estimular o crescimento desses microrganismos benéficos ou, até mesmo, alterando as condições de ensilagem para otimizar a fermentação, como os produtos absorventes de umidade. Outra forma de ação seria promover o aumento da população das

bactérias fermentativas lácticas através da adição desses microrganismos para obter fermentação eficiente e, conseqüentemente, obter produtos finais benéficos que estimulem a ingestão e a produtividade dos animais (KUNG JR. *et al.*, 2003).

Conforme a sua finalidade ou atuação, estes produtos podem ser classificados em três grupos de aditivos distintos: aditivos químicos, aditivos microbianos e sequestrantes de umidade (NUSSIO; SCHMIDT, 2004). Outros autores (McDONALD *et al.*, 1991; KUNG JR. *et al.*, 2003, MUCK *et al.*, 2018) classificam em quatro categorias com base em seus efeitos na preservação da silagem: estimulantes da fermentação, inibidores da fermentação, inibidores de deterioração aeróbica e nutrientes e absorventes.

Existe uma gama de produtos utilizados como aditivos para conservação da forragem, e a escolha do mesmo deve ser baseada na forrageira a ser ensilada e suas características (SCHMIDT *et al.*, 2014). No momento da escolha do aditivo, alguns fatores devem ser considerados, como por exemplo: disponibilidade na aquisição do produto; apresentar facilidade de manejo; não deixar resíduos tóxicos, eficiência em promover fermentação, contribua na redução de perdas de matéria seca, propicie melhoria da qualidade higiênica da silagem, restrinja a fermentação secundária (atuação de bactérias clostrídicas ou enterobactéria), melhore a estabilidade aeróbica, aumente o valor energético ou proteico em relação à silagem sem aditivos, custo compatível com a qualidade promovida no produto final, e ofereça o maior retorno em produção animal em relação ao custo apresentado pelo uso do aditivo (HENDERSON, 1993; NEUMANN *et al.*, 2010).

Apesar da vasta gama de produtos que podem ser usados como aditivos, há escassez de estudos que buscam observar os resultados da sua utilização em silagem de milho. A maioria dos estudos sobre a utilização de aditivos em silagem de milho avaliam o uso de produtos microbiológicos (inoculantes comerciais). Apesar do assunto ser bastante explorado na comunidade científica, o número de trabalhos que permite comparações devidas para a exploração adequada dos efeitos de aditivos microbianos, ainda pode ser considerado modesto, e os resultados são, em geral, insuficientes, para o estabelecimento de posições conclusivas sobre o assunto (ZOPOLATTO *et al.*, 2009).

Segundo Neumann *et al.* (2010) a obtenção de silagem de qualidade não constitui apenas em utilizar aditivos, mas todos os cuidados exigidos na implantação da lavoura (tratos culturais), momento certo de corte, fragmentação do material, tipo de silo, tempo de fechamento do silo, compactação e vedação do silo. Portanto, a composição nutricional da silagem dependerá de muitos fatores que só podem ser controlados via gestão. A adição de aditivos na

silagem não fará a forragem de má qualidade em boa silagem, mas podem ajudar a transformar forragem de alta qualidade em silagem de excelente qualidade.

### **2.5.1 Aditivos microbiológicos**

#### **2.5.1.1 Inoculante bacteriano**

A utilização de aditivo microbiológico tem como objetivo aumentar a população de microrganismos e favorecer a fermentação do material ensilado (TOMIC, 2012). Naturalmente, as forrageiras à campo, contém muitos tipos de bactérias, chamadas bactérias epífitas e fungos, sendo algumas benéficas e outras prejudiciais ao processo fermentativo (KUNG JR. *et al.*, 2003; KUNG JR., 2018). A adição de inoculantes microbianos na silagem visa proporcionar rápido crescimento das bactérias benéficas (láticas), dominando no processo fermentativo e suprimindo a população das bactérias epifíticas, ou microrganismos indesejáveis que causam perdas de matéria seca pela fermentação ineficiente dos açúcares, resultando em alto teor de matéria seca e recuperação de energia (KUNG JR. *et al.*, 2003; KUNG JR., 2018).

Na produção de silagem, os inoculantes microbianos utilizados como aditivos compreendem as bactérias homofermentativas, heterofermentativas, ou a combinação dessas (ZOPOLLATTO *et al.*, 2009; SCHMIDT *et al.*, 2014). Destaca-se que a associação dos dois grupos se torna vantajoso pelo potencial sinérgico das ações dos múltiplos organismos presentes (KUNG, 2018), pois as homofermentativas produzem alto teor de ácido láctico na silagem, enquanto a inoculação com bactérias heterofermentativas proporcionam altos níveis de ácido acético (DANNER *et al.*, 2003).

O grupo das bactérias homofermentativas é caracterizado por proporcionar taxa de fermentação mais rápida, menor proteólise, maior concentração de ácido láctico, menores teores de ácidos acético e butírico, menor teor de etanol, e maior recuperação de energia e matéria seca (ZOPOLLATTO *et al.*, 2009). Os inoculantes homofermentadores contêm bactérias como *Lactobacillus plantarum*, *pediococcus e lactococcus*, fermentam carboidratos solúveis em água em ácidos orgânicos, particularmente ácido láctico, que acidifica rapidamente a

silagem, baixam rapidamente o pH para valores próximos a 4,0, inibe o crescimento de bactérias indesejáveis, evita maior quebra do açúcar e da proteína na forragem, e inibe o crescimento de bactérias indesejáveis (KENILWORTH; WARWICKSHIRE, 2012; SCHMIDT *et al.*, 2014).

Segundo Yitbarek e Tamir (2014) quando comparadas com silagens não inoculadas, as silagens tratadas com números adequados de bactérias lácticas homofermentativas viáveis devem apresentar menores valores de pH e concentrações de ácido acético, ácido butírico e nitrogênio amoniacal, mas maiores teores de ácido lático. Quando eficaz, a inoculação microbiana com bactérias homofermentativas pode melhorar a recuperação da matéria seca em 3,0-5,0% e evitar fermentações clostridiais, mas como desvantagem, inoculantes compostos apenas por bactérias homofermentativas melhoram somente 33% da estabilidade aeróbia das silagens, e em muitos casos até prejudicam, provavelmente em virtude do menor teor de ácido acético e outros produtos finais antifúngicos (KUNG JR., 2018).

O segundo tipo, formado por bactérias heterofermentativas obrigatórias, produz ácido lático, acético e propiônico com capacidade de aumentar a estabilidade aeróbia das silagens quando expostas ao ar (SCHMIDT *et al.*, 2014). Os inoculantes que contêm as bactérias heterofermentativas, *Lactobacillus buchneri* e *Lactobacillus brevis*, resulta em uma fermentação mais lenta do que os inoculantes homofermentadores.

As bactérias heterofermentativas utilizam ácido lático e glicose como substrato para produzir ácido acético e propiônico, os quais são efetivos no controle de fungos, sob baixo pH (ZOPOLLATTO *et al.*, 2009). Ranjit, Taylor e Kung Jr. (2002) verificaram que a aplicação de *L. buchneri* 40788 aumentou significativamente a estabilidade aeróbia do milho, aumentando a concentração do ácido acético com diminuição do número de leveduras.

Filya, Sucu e Karabulut (2006) ao avaliarem o efeito da inoculação em silagem de milho, verificaram que as silagens aditivadas com inoculantes com *Lactobacillus buchneri* apresentaram maiores concentrações de ácido acético melhoraram significativamente a estabilidade aeróbia das silagens de milho, enquanto os inoculantes BAL homofermentativos melhoraram a fermentação homolática e prejudicaram a estabilidade aeróbia das silagens de milho. Fasolo e Carvalho (2021) observaram que o tratamento com associação dos inoculantes *Lactobacillus buchneri* e *Lactobacillus plantarum* e o tratamento *Lactobacillus plantarum* e *Propionibacterium acidipropionici* apresentaram melhores resultados para MS, matéria mineral, extrato etéreo e os teores de proteínas, elencando que a associação de inoculantes auxilia de maneira positiva na grande maioria das características da silagem de milho.

Entretanto, Silva e Machado Junior (2014), verificaram que o uso de inoculante microbiano em silagem de milho proporcionou relevante acréscimo para a matéria seca e diminuição dos valores de fibra em detergente neutro, mas alteração não significativa para os teores de proteína bruta.

Ressalta que a maioria dos inoculantes disponíveis comercialmente contém um ou ambos os tipos de bactérias de ácido lático. É possível encontrar inoculantes nas formulações em pó ou em líquido, sendo as formulações em pós secos misturados com água imediatamente antes de usar (o uso de água clorada pode ser prejudicial para o inoculante se os níveis excederem mais de 1,5 a 2,0 ppm). Os inoculantes aplicados na forma líquida podem ser mais vantajosos porque as bactérias são adicionadas com sua própria umidade para ajudar a acelerar a fermentação. Além disso, cuidados com o armazenamento, refrigerado ou congelados (conforme a indicação do produto comercial) umidade, oxigênio e luz solar podem diminuir a estabilidade dos inoculantes, resultando em contagens viáveis mais baixas no produto que não atender às garantias da etiqueta (KUNG JR., 2018).

### **2.5.2 Aditivos químicos**

A utilização de aditivos químicos na silagem pode auxiliar na melhoria da qualidade, tempo de conservação, redução de perdas ou até mesmo para corrigir o teor de fibra de materiais que passaram do ponto para confecção de silagens (NASCIMENTO *et al.*, 2016). Segundo Yitbarek e Tamir (2014) a utilização de aditivos químicos é uma alternativa para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos conservados, seja pela maior recuperação de matéria seca ou pela melhoria da digestibilidade dos alimentos, favorecendo a aceitabilidade pelos animais.

Entre os principais produtos utilizados em silagem como aditivo químico, destacam-se a ureia ( $\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$ ), o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ), o benzoato de sódio ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ ), o pirissulfito de sódio ( $\text{NaS}_2\text{O}_5$ ), o ácido fórmico ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ), o formol ( $\text{HCO}_2$ ) e misturas compostas por formol e ácido fórmico (NEUMANN *et al.*, 2010).

Entre os aditivos químicos, os principais apresentam características alcalinas que interferem na fermentação de silagens, alterando o pH e, conseqüentemente, a composição da microbiota, o que favorece ou inibe grupos de microrganismos (NASCIMENTO *et al.*, 2016). Segundo Henderson (1993), produtos alcalinos alteram a exposição da celulose e hemicelulose



complexadas na parede celular do material utilizado, modificam o perfil fermentativo inibindo o crescimento de determinados grupos de microrganismos e promovem o aumento do teor de matéria seca, reduzindo perdas.

#### 2.5.2.1 Ureia

A ureia é um aditivo recomendado para silagem de culturas com baixa proteína bruta, como por exemplo no milho, e sua ação além de aumentar nível de proteína, reduz a deterioração aeróbica, contribuindo com a preservação de qualidade da silagem (KAISER, 2004). O milho apresenta baixo teor de proteína bruta quando ensilado com nível de matéria seca entre 30 e 35%, a adição de ureia na silagem de milho vem a incrementar o valor nutritivo da silagem (NEUMANN *et al.*, 2010). Ferrari Júnior *et al.* (1987) verificaram que adição de 0,5% de ureia no processo de ensilagem do milho elevou o teor de proteína bruta da silagem de 7,77% para 12,74%, o que contribuiu para apresentar balanço positivo de nitrogênio.

Entre as vantagens do uso da ureia em silagem de milho, Costa *et al.* (2017) elencam que o produto é de fácil aquisição, proporciona menores perdas de matéria seca e carboidratos solúveis, e estimula a fermentação láctica. No entanto, necessita cuidados de utilização, pois em quantidades elevadas pode causar problemas de intoxicação nos animais. Pires *et al.* (2010) ressalta que para resultado eficiente da utilização da ureia como aditivo no tratamento da forragem, deve-se considerar a quantidade do aditivo utilizado, o teor de umidade do material, o período de tratamento, a temperatura ambiente, as características químicas da cultura e a presença da enzima urease. Além disso, em virtude da ureia aumentar a quantidade de compostos nitrogenados na silagem, os animais devem ser gradativamente adaptados ao consumo da silagem tratada com ureia (NEUMANN *et al.*, 2010).

Em trabalhos da literatura, encontram-se muitas pesquisas realizadas com a utilização da ureia como aditivo em silagem de cana-de-açúcar. O uso de ureia como aditivo em ensilagem da cana é em função de sua disponibilidade, solubilidade em água favorecendo a aplicação e correção do teor de proteína bruta da silagem. Dias *et al.* (2014) ao avaliar o efeito da adição de ureia em ensilagem de cana-de-açúcar verificaram aumento nos teores de matéria seca e proteína bruta, redução nos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e melhoramento a digestibilidade *in vitro* da MS e FDN. Os autores sugerem a recomendação de utilização de 30

g/ kg de ureia na ensilagem de cana-de-açúcar. Resultados similares foram obtido por Sousa-Alves *et al.*(2020), que também observaram redução nos teores de fibras (FDA e FDN) e lignina nas silagens de cana-de-açúcar aditivada com ureia, e elevação dos teores de proteína bruta, extrato etéreo e degradabilidade efetiva. Segundo Lala *et al.* (2010) o uso em silagem pode melhorar a digestibilidade, pois a amônia pode alterar algumas das ligações entre hemicelulose e outras partes da parede celular vegetal.

Estudos verificam também efeitos positivos da inclusão da ureia na ensilagem de sorgo. Araujo (2017) verificou que a adição de 20 g/ kg de ureia em silagem de sorgo promoveu mudanças na composição bromatológica das silagens e produção de ácidos orgânicos com redução da produção de etanol. Santos *et al.* (2018) verificaram que a adição de 0,5% e 1,0% de ureia à silagem de sorgo é suficiente para melhorar a estabilidade aeróbica, e o nível 2,0% de ureia pode ser usado para melhorar a fermentação, reduzindo as perdas na silagem de sorgo sem comprometer a produção de ácido láctico. Além disso, as silagens tratadas com ureia aumentaram linearmente o teor de nitrogênio amoniacal e proteína bruta, e reduziram linearmente o teor de etanol.

O aumento do nitrogênio amoniacal ocorre em razão das reações entre a ureia com a forragem ensilada. A produção de amônia (NH<sub>3</sub>) é devido a presença da enzima uréase (cataliza a hidrólise da ureia em dióxido de carbono e amônia), resultando na transformação parcial da ureia em amônia no decorrer do processo fermentativo da silagem (NEUMANN *et al.*, 2010). A amônia tem a capacidade de elevar o pH, solubilizar os componentes da parede celular, além de atuar sobre o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis, agindo como antimicrobiano (KUNG JR. *et al.*, 2003). Tal efeito foi verificado por Santos *et al.* (2018), em que a inclusão nos níveis de 0,5% e 1,0% de ureia em silagem de sorgo inibiu o desenvolvimento de fungos e leveduras envolvidos na deterioração aeróbica. Portanto, a adição da ureia além de elevar os níveis proteicos da forrageira ensilada, pode atuar no processo fermentativo, alterar a composição química e estabilidade aeróbica do material ensilado.

#### 2.5.2.2 Açúcar cristal

Também no grupo de aditivos químicos, há os denominados estimulantes de fermentação, que estimulam a microflora pelo fornecimento de substrato, nesse grupo cita-se

adição de melaço, de açúcar, fontes de amido ou pectina (SCHMIDT *et al.*, 2014). Adição de melaço ou fontes de açúcar no processo de ensilagem é utilizada para acelerar e aumentar a produção de ácido láctico no processo fermentativo (SILVA *et al.*, 2017). A utilização de fontes de açúcares na silagem tem como objetivo favorecer o desenvolvimento das bactérias lácticas produtoras de ácido láctico, responsável pela rápida diminuição do pH, minimizando a proteólise e proliferação de microrganismos indesejáveis (LALA *et al.*, 2010).

Desta forma, supõe-se que favorecendo o aumento da população das bactérias homofermentativas com a disponibilidade de fontes de sacarose, resultaria em eficiente fermentação e, conseqüentemente, menores perdas de matéria pela atuação de microrganismos indesejáveis no processo. No entanto, é pouco estudado a utilização de açúcares em silagens, especialmente no milho. Apesar da carência, os poucos estudos publicados no meio acadêmico relatam efeitos contrários ao esperado, como Zanette *et al.* (2012) observaram que a silagem de milho aditivada com 2,3% de açúcar refinado comercial apresentou menor recuperação de matéria seca que a silagem sem aditivo. Rodrigues Neto *et al.* (2001) ao avaliarem o efeito da adição de aditivos em silagem de subproduto de pupunha, verificou que a adição de 2,5% de açúcar não resultou em alteração de MS e não teve efeito positivo na qualidade final do produto. Entretanto, FÜHR (2020) verificou que a utilização de açúcar mascavo como aditivo na silagem de sorgo forrageiro contribuiu para melhorar o valor nutricional elevando os teores de matéria seca, matéria orgânica, carboidratos totais e diminuindo teores de matéria mineral, fibra em detergente ácido e fibra em detergente neutro.

### 2.5.2.3 Calcário

Calcário ou carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) é uma substância tamponante que pode ser utilizado na formulação de dietas com alta proporção de concentrado, visando manter o pH ruminal constante e atividade dos microrganismos potencializada, aumentando a digestão da fibra para melhor desempenho animal (GASTALDELLO JUNIOR *et al.*, 2010; GALVANI *et al.*, 2008). Apesar da escassez de estudos sobre a dinâmica do calcário no processo fermentativo das silagens de forrageiras tropicais, a utilização desse produto na ensilagem tem a capacidade

de reduzir os constituintes da parede celular por meio da hidrólise alcalina, alterando o pH e a pressão osmótica e auxiliando, assim, para a preservação dos nutrientes após abertura dos silos. Além do mais, proporciona aumento na produção de ácido lático e promove a inibição do metabolismo de microrganismos indesejáveis (RABELO *et al.*, 2013).

Amaral *et al.* (2009), verificaram que a adição da cal virgem ou do calcário no momento da ensilagem de cana-de-açúcar melhora o padrão fermentativo das silagens e, de forma complementar, o uso desse aditivo químico reduz a produção de etanol, as perdas gasosas e de carboidratos solúveis da silagem da cana-de-açúcar. Tian *et al.* (2020) observaram que a aplicação de carbonato de cálcio promoveu aumento do pH e teores de ácidos orgânicos, e inibiu a reprodução das bactérias aeróbicas e leveduras, melhorando assim a capacidade aeróbia e estabilidade da silagem com alta umidade. Cavali *et al.* (2010) verificaram que adições acima de 10 g / kg de óxido de cálcio na cana-de-açúcar resultou em maior recuperação de matéria seca de massa armazenada e aumento da população das bactérias de ácido lático, além de menor quantidade de leveduras, reduziu as perdas por gases e efluentes, indicando boa fermentação, e as silagens com 15 g / kg de óxido de cálcio resultaram em maior população de bactérias de ácido lático. Desta forma, o calcário pode ser um aditivo promissor nas silagens de milho, sendo necessários estudos para verificar seus efeitos.

## 2.6 REFERÊNCIAS

ALLEN, V. G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E. J.; HODGSON, J.; KOTHMANN, M.; LI, X.; MCIVOR, J.; MILNE, J.; MORRIS, C.; PEETERS, A.; SANDERSON, M. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, 66, p. 2-28, 2011.

ALLEN, M. S.; COORS, J. G.; ROTH, G. W. Corn silage. **Silage Science and Technology**, v. 42, p. 547-608, 2003.

ANJOS, A. J.; COUTINHO, D. N.; FREITAS, C. A. S.; SENA, H. P.; MATA, B. C.; OLIVEIRA, G. M.; RAIMUNDI, T. A. J. Potentials and challenges in making silages using tropical forages. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 9, p. 129-136, 2020.

ARAÚJO, M. L. G. M. L. **Impacto da ureia no processo fermentativo da silagem de sorgo e o seu uso em dietas para cordeiros**. 2017. 169 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) –Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal da Bahia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Salvador, 2017.

BERNARDES, T. F.; DO RÊGO, A. 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.

CALONEGO, J. C.; POLETO, L. C.; DOMINGUES, F. N.; TIRITAN, C. S. Yield and growth of maize in different plant arrangements. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 12, p. 84-90, 2011.

CAMPOS, F. P. D.; LANNA, D. P. D.; BOSE, M. L. V.; BOIN, C.; SARMENTO, P. Degradabilidade do capim-Elefante em diferentes estágios de maturidade avaliada pelo método in vitro/gás. **Scientia Agricola**, v. 59, p. 217-225, 2002.

CARDOSO, E. G.; DA SILVA, J. M. Silos, silagem e ensilagem. **Embrapa Gado de Corte-Séries anteriores (INFOTECA-E)**, 1995.

CAVALI, J.; PEREIRA, O. G.; VALADARES FILHO, S. D. C.; SANTOS, E. M.; CARVALHO, G. G. P. D.; SANTOS, M. V.; PORTO, M. O. P.; RODRIGUES, J. F. Bromatological and microbiological characteristics of sugarcane silages treated with calcium oxide. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 7, p. 1398-1408, 2010.

COELHO, J. D. Produção de grãos – feijão, milho e soja. **Caderno Setorial ETENE**, v.3, n. 51, p.1-14, 2018.

COSTA, R. Vantagens no uso de aditivos em silagem de milho. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 1, n. 1, p.1-6, 2017.

DANIEL, J. L. P.; BERNARDES, T. F.; JOBIM, C. C.; SCHMIDT, P.; NUSSIO, L. G. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. **Grass and Forage Science**, v. 74, n. 2, p. 188-200, 2019.

DANNER, H.; HOLZER, M.; MAYRHUBER, E.; BRAUN, R. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, n. 1, p. 562-567, 2003.

DEMINICIS, B. B.; VIEIRA, H. D.; JARDIM, J. G.; DO CARMO ARAÚJO, S. A.; NETO, A. C.; DE OLIVEIRA, V. C.; DA SILVA LIMA, E. Silagem de milho- Características agronômicas e considerações. REDVET. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 10, n. 2, p. 1-6, 2009.

DIAS, A. M.; ÍTAVO, L.C.V.; ÍTAVO, C. C. B. F.; BLAN, L. R.; GOMES, E. N. O.; SOARES, C. M.; LEAL, E. S. NOGUEIRA, E.; COELHO, E. M. Ureia e glicerina bruta como aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 66, n. 6, p. 1874-1882, 2014.

FARIA, T. F. R.; PINESE, F.; GIMENES, F. M. A.; DEMARCHI, J. J. A. A.; CAMPOS, F. P.; PREMAZZI, L. M.; MATTOS, W. T.; GERDES, L. Chemical composition of commercial corn silage produced in Brazil. **Archivos de Zootecnia**, v. 69, n. 265, p. 156-163, 2020.

FASOLO, D. J.; CARVALHO, A. F. G. Uso de diferentes inoculantes bacterianos isolados e em associação para silagem de milho. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, n. 27, Edição Especial, p. 1-20, 2021.

FERRARI JÚNIOR, E.; DE ANDRADE, J. B.; BRAUN, G. Utilização do calcário, gesso e ureia como aditivos para silagem de milho. **Boletim de Indústria Animal**, v. 44, n. 2, p. 359-367, 1987.

FÜHR, C. A. **Valor nutricional, características fermentativas e microbiológicas da silagem de sorgo BRS 658 com o uso de aditivos**. 2020. 67 F. Dissertação de Mestrado; (Programa de Pós-graduação em Zootecnia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon - PR, 2020.

FILYA, İ.; SUCU, E.; KARABULUT, A. The effect of *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability and ruminal degradability of maize silage. **Journal of Applied Microbiology**, 101, p. 1216–1223, 2006.

GALVANI, D. B.; PIRES, C. C.; WOMMER, T. P.; OLIVEIRA, F. D.; BOLZAN, A. M. S.; FRANÇOIS, P. Carcass traits of feedlot crossbred lambs slaughtered at different liveweights. **Ciência Rural**, v. 38, n. 6, p. 1711-1717, 2008.

GASTALDELLO JUNIOR, A. L.; PIRES, A. V.; SUSIN, I.; MENDES, C. Q.; FERREIRA, E. M.; MOURÃO, G. Desempenho e características de carcaça de cordeiros alimentados com dietas contendo alta proporção de concentrado adicionadas de agentes tamponantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 3, p. 556-562, 2010.

GIACHINI, J. C.; BARRETA, D. A.; DANIELI, B.; SCHOGOR, A. L. B. Adequação da silagem de milho para uso em propriedades leiteiras familiares. **Ciência Animal**, v. 30, n. 1, p. 23-35, 2020.

HENDERSON, N. Aditivos de silagem. **Zootecnia e Tecnologia**, v. 45, n. 1, p. 35-56, 1993.

JONSSON, A. Growth of *Clostridium tyrobutyricum* during fermentation and aerobic deterioration of grass silage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 54, n. 4, p. 557-568, 1991.

KAISER, A. G. **Silage additives**. Chapter 7 in *Successful Silage*. Kaiser, A.G., Piltz, J. W., Burns, H. M., Griffiths, N. W. (eds). Dairy Australia and New South Wales Department of Primary Industries. New South Wales, Australia, 2004.

KONONOFF, P. J., HEINRICHS, A. J., BUCKMASTER, D. R. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 5, p. 1858–1863, 2003.

KUNG JR., L.; STOKES, M. R.; LIN, C. J. Silage additives. **Silage Science and technology**, v. 42, p. 305-360, 2003.

KUNG JR, L. Silage fermentation and additives. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 26, n. 3-4, p. 61-66, 2018.

KUNG JR., L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; R. J. SCHMIDT, R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**. v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

LALA, B.; PEREIRA, V.; POSSAMAI, A.; DINIZ, P.; SILVA, S.; GRANDE, P. Aditivos no processo de ensilagem/Silage process additives. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 4, n. 3, p. 175-183, 2010.

MACÊDO, A. J. S.; SANTOS, E. M.; de OLIVEIRA, J. S.; PERAZZO, A. F. Microbiologia de silagens: Revisão de literatura. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 18, n. 9, p. 1-11, 2017.

MANDIĆ, V.; BIJELIĆ, Z.; KRNJAJA, V.; ĐORĐEVIĆ, S.; BRANKOV, M.; MIĆIĆ, N.; STANOJKOVIĆ, A. Harvest time effect on quantitative and qualitative parameters of forage maize. **Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 31, n. 1, p. 103-107, 2021.

MELLO, R. Silagem de milho, sorgo e gramíneas tropicais. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 1, n. 1, p. 48-58, 2004.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340p.

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

MUCK, R. E.; NADEAU, E. M. G.; McALLISTER, T. A.; CONTRERAS-GOVEA, F. E.; SANTOS, M. C.; KUNG JR., L. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3980-4000, 2018.

NASCIMENTO, T. V. C.; CARVALHO, G. G. P. de; DE FREITAS JÚNIOR, J. E.; DE SOUZA, W. F. Volumosos tratados com aditivos químicos: valor nutritivo e desempenho de ruminantes. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 252, p. 593-604, 2016.

NEUMANN, M.; MUHLBACH, P. R. F.; NÖRNBERG, J. L.; OST, P. R.; RESTLE, J.; SANDINI, I. E.; ROMANO, M. A. Características da fermentação da silagem obtida em diferentes tipos de silos sob efeito do tamanho de partícula e da altura de colheita das plantas de milho. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 847-854. 2007.

NEUMANN, M.; OLIBONI, R.; OLIVEIRA, M. R.; FARIA, M. V.; UENO, R. K.; REINERH, L. L.; DURMAN, T. Chemical additives used in silages. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 3, n. 2, p. 197-207, 2010.

NOVAES, L. P.; LOPES, F. C. F.; CARNEIRO, J. C. Silagem: Oportunidades e pontos críticos. Juiz de Fora/MG, **Embrapa, Comunicado Técnico** 43, 2004.

NUSSIO, L.G.; SCHMIDT, P. Tecnologia de produção e valor alimentício de silagens de cana-de-açúcar. In: Simpósio sobre produção e utilização de forragens conservadas, 2, 2004, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 2004.

PASA, C.; PASA, M. C. *Zea mays* L. e a produção de massa seca. **Biodiversidade**, v. 14, n. 3, p. 35- 45, 2015.

PEDROSO, A. F. **Princípios da Produção e Manejo de Silagens**. 2008. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/zootecnia/forragens/artigos/PRINCIPIOS%20DA%20PRODUCAO%20E%20MANEJO%20DE%20SILAGENS.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

PEDROSO, A. de F. Silagem-princípios básicos-produção-manejo. In: Embrapa Pecuária Sudeste-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: CRUZ, GM da; MONTEIRO NOVO, AL Curso: produção e manejo de silagem. Resumo... São Carlos: EMBRAPA-CPPSE, 1998. p. 11-40., 1998.

PIRES, A. J. V.; CARVALHO, G. G. P. de; RIBEIRO, L. S. O. Chemical treatment of roughage. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, suplemento especial, p. 192-203, 2010.

POSSENTI, R. A.; FERRARI JUNIOR, E.; BUENO, M. S.; BIANCHINI, D.; LEINZ, F. F.; RODRIGUES, C. F. Parâmetros bromatológicos e fermentativos das silagens de milho e girassol. **Ciência Rural**, v. 35, n. 5, p. 1185-1189, 2005.

RABELO, F. H. S.; REZENDE, A. V.; RABELO, C. H. S.; NOGUEIRA, D. A.; SILVA, W. A.; VIEIRA, P. F.; SANTOS, W. B. Consumo e desempenho de ovinos alimentados com silagens de cana-de-açúcar tratadas com óxido de cálcio e cloreto de sódio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 4, p.1158-1164, 2013.

RIBEIRO, J. L.; NUSSIO, L. G.; MOURÃO, G. B.; QUEIROZ, O. C. M.; SANTOS, M. C.; SCHMIDT, P. Efeitos de absorventes de umidade e de aditivos químicos e microbianos sobre o valor nutritivo, o perfil fermentativo e as perdas em silagens de capim-marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 2 p. 230-239, 2009.

RIBEIRO JUNIOR, C. S.; SALCEDO, Y. T. G.; AZEVEDO, R. A.; DELEVATTI, L. M.; MACHADO, M. Uso de silagem de milho no balanceamento de dietas para vacas leiteiras. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, p. 1010-1018, 2011.

RODRIGUES NETO, A. J.; BERGAMASCHINE, A. F.; ISEPON, O. J.; ALVES, J. B.; HERNANDEZ, F. B. T.; MACEDO, M. P. Efeito de aditivos no valor nutritivo de silagens feitas com subproduto da extração do palmito de pupunha (*Bactris gasipaes* HBK). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 4, p. 1367-1375, 2001.

RODRIGUES, P. R.; DEMINICIS, B. B.; FARIA, B. P.; OLIVEIRA, M. C.; MONTEIRO, L. F. S.; COSTA, F. Q.; VIEIRA, B. C. R.; MOREIRA, V. R. Silagens de cana de açúcar in natura e com aditivos, para alimentação de ruminantes. DEMINICIS, B. B.; MARTINS, C. B. In: **Topicos especiais em ciência animal**. p. 322-332, 2014.

ROOKE, J. A.; HATFIELD, R. D. Biochemistry of ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. (Eds.). *Silage Science and Technology*. Madison: American Society of Agronomy; Crop Science Society of America; **Soil Science Society of America**, 2003. p. 251-304.

SANTANA, J. C. S.; DA COSTA, A. B. G.; COSTA, C. M., GURGEL, A. L. C.; CAMARGO, F. C.; MACHADO, W. K. R., SILVA, M. G. P. da; DIAS, A. M. Densidade e



tamanho de partículas na qualidade de silagens de forrageiras tropicais: uma revisão. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 2, p. 310-324, 2020.

SANTOS, E. M.; ZANINE, A. de M. Silagem de gramíneas tropicais. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n. 1, p. 32-45, 2006.

SANTOS, S. F. DOS; GONÇALVES, M. F.; RIOS, M. P.; RODRIGUES, R. D.; GOMES, L. R.; RODRIGUES, G. G.; DE SOUZA, R. R.; FERREIRA, I. C. Principais tipos de silos e microrganismos envolvidos no processo de ensilagem. **Veterinária Notícias**, v. 19, n. 2, p. 140-152, 2013.

SANTOS, A. P. M. D.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S. D.; RIBEIRO, O. L.; PERAZZO, A. F.; MARTINS ARAÚJO PINHO, R.; SILVA MACÊDO, A. J. da; PEREIRA, G. A. Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (*Sorghum bicolor*) silage. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2018.

SCHMIDT, P.; SOUZA, C.M.; BACH, B.C. Uso estratégico de aditivos em silagens: Quando e como usar? In: JOBIM, C.C.; CECATO, U.; CANTO, M.W.; BANKUTI, F.I (eds.), SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 5.ed., Maringá, 2014. **Anais...** Maringá: UEM, p. 243-264, 2014.

SENGER, C. C. D.; MÜHLBACH, P. R. F.; SÁNCHEZ, L. M. B.; NETTO, D. P.; LIMA, L. D. D. Composição química e digestibilidade 'in vitro' de silagens de milho com distintos teores de umidade e níveis de compactação. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1393-1399, 2005.

SILVA, J. de M. Silagem de forrageiras tropicais. **Embrapa Gado de Corte**. Campo Grande, MS, nº 51, ago. 2001.

SILVA, C. O.; MACHADO JUNIOR, P. C. Efeito da adição de inoculante bacteriano sobre a qualidade da silagem de milho (*Zea mays* L.). **Revista Científica de Medicina Veterinária do UNICEPLAC**, v. 1, n. 1, p. 31-45, 2014.

SILVA, T. C. da; DA SILVA, L. D.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S. Importance of the fermentation to produce high-quality silage. **Fermentation Processes**, v. 1, p. 3-21, 2017.

SILVA, D. F.; GARCIA, P. H. M.; SANTOS, G. C. L.; FARIAS, I. M. S. C.; PÁDUA, G. V. G.; PEREIRA, P. H. B.; SILVA, F. E.; BATISTA, R. F.; GONZAGA-NETO, S.; CABRAL, A. M. D. Características morfológicas, melhoramento genético e densidade de plantio das culturas do sorgo e do milho: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 72-81, 2021.

SOUSA-ALVES, W.; RIGUEIRA, J. P. S.; ALMEIDA-MOURA, M. M.; DE-JESUS, D. L.; MONÇÃO, F. P.; *et al.* Características fermentativas e valor nutricional da silagem de cana-de-açúcar aditivada com dois tipos de ureia. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 33, n. 3, p. 182-194, 2020.

TIAN, P.; VYAS, D. NIU, D.; ZUO, S.; JIANG, D.; XU, CH. Effects of calcium carbonate on the fermentation quality and aerobic stability of total mixed ration silage. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 29, p. 167-174, 2020.

TOMICH, T. R.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C. TOMICH, R. G. P.; BORGES, I. **Características para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação.** Corumbá: Embrapa Pantanal (Documentos, 57), 20 p., 2003.

TOMICH, T. R. Qualidade na produção de silagens. In Simpósio Mineiro de Nutrição de Gado de Leite, **Anais. Belo Horizonte: FEPMVZ**, 2012, p. 87-114, 792 2012.

VELHO, J. P.; MÜHLBACH, P. R. F.; NÖRNBERG, J. L.; VELHO, I. M. P. H.; GENRO, T. C. M.; KESSLER, J. D. Composição bromatológica de silagens de milho produzidas com diferentes densidades de compactação. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1532-1538, 2007.

YITBAREK, M. B.; TAMIR, Birhan. Silage Additives: Review. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 4, n. 5, p. 258-274, 2014.

ZANETTE, P. M.; NEUMANN, M.; FARIA, M.V. FARIA, M. V.; UENO, R. K., MARAFON, F.; DURMAN, T. Valor nutricional e perdas durante a fermentação de silagens de milho (*Zea mays*) com açúcar ou inoculante. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 2, p. 178-189, 2012.

WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation.** New York: Microbiology series.1984, 350p.

ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J. L. P.; NUSSIO, L. G. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, suplemento especial, p. 170-189, 2009.

### 3 CAPÍTULO II. PERFIL FERMENTATIVO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA SILAGEM DE MILHO COM INCLUSÃO DE ADITIVOS QUÍMICOS OU MICROBIOLÓGICO

#### RESUMO

Objetivou-se avaliar o uso de diferentes aditivos na ensilagem de milho (*Zea mays* L.). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos. Os aditivos ureia, açúcar cristal e calcário foram incorporados na proporção de 3,0% do peso do material verde a ser ensilado, além do uso de inoculante bacteriano ou silagem sem aditivo. Foram produzidos oito sacos de silagem para cada tratamento, dos quais um diferente por dia foi utilizado nos dias: um, quatro, sete, dez e quatorze do processo fermentativo para mensuração de pH. Três sacos de silagem de cada tratamento foram abertos após 60 dias de ensilagem para avaliação do teor dos ácidos orgânicos, nitrogênio amoniacal e análises bromatológicas. Para o pH no final do processo fermentativo, os maiores valores foram verificados para o aditivo calcário, seguido da silagem aditivada com ureia, as quais apresentaram maior participação de ácido láctico, de 19,06 ppm para calcário e 18,95 ppm para ureia. As maiores concentrações de ácido acético foram observadas nas silagens com adição com inoculante (18,49 ppm) ou sem uso de aditivo (18,46 ppm), a qual também apresentou maior produção de ácido butírico (4,19 ppm). O teor de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) foi superior na silagem com ureia (23,74 mg/dL) seguida pela silagem sem aditivo (7,54 mg/dL). Para a recuperação de matéria seca, não houve diferença (P>0,05) entre os aditivos avaliados. A adição de calcário produziu silagem com maiores valores na matéria seca (não diferindo da silagem sem aditivo), matéria mineral e lignina. A silagem com ureia apresentou maiores valores de proteína bruta e menores teores de carboidratos totais e carboidratos não fibrosos. Enquanto a silagem sem aditivo apresentou maior teor de NDT e digestibilidade. O uso de calcário ou ureia na ensilagem de milho demonstram efeito tamponante, retardam o declínio do pH e aumentam as concentrações de ácido láctico, enquanto o inoculante microbológico eleva a concentração de ácido acético. O uso do aditivos reduziram a formação de ácido butírico no processo fermentativo e o teor de carboidrato não fibroso na silagem, ao passo que o açúcar cristal reduz o teor de ácidos orgânicos e não proporciona alterações significativas na composição química e nutritiva da silagem.

**Palavras-chave:** Açúcar cristal. Calcário. Inoculante bacteriano. Padrão fermentativo da silagem. Ureia. Valor nutritivo da silagem.

#### ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the use of different additives in corn silage (*Zea mays* L.). The experimental design was completely randomized with five treatments. The urea, crystal sugar and limestone additives were incorporated in the proportion of 3% of the weight of the green material to be ensiled, in addition to the use of bacterial inoculant or silage without

additive. Eight bags of silage were produced for each treatment, of which one was used on days: one, four, seven, ten and fourteen of them to measure pH during the fermentation process. Three bags of silage from each treatment were opened after 60 days of ensiling to evaluate the content of organic acids, ammonia nitrogen and chemical analysis. For the pH at the end of the fermentation process, the highest values were verified for the limestone additive, followed by the silage with urea additive, which showed greater participation of lactic acid, 19.06 ppm for limestone and 18.95 ppm for urea. The highest concentrations of acetic acid were observed in the silages with addition with inoculant (18.49 ppm) or without the use of additive (18.46 ppm), which also presented higher production of butyric acid (4.19 ppm). The content of ammoniacal nitrogen (N-NH<sub>3</sub>) was higher in silage with urea (23.74 mg/dL) followed by silage without additive (7.54 mg/dL). For dry matter recovery, there was no difference (P>0.05) between the evaluated additives. The addition of limestone produced silage with higher dry matter values (not different from silage without additive), mineral matter and lignin. Silage with urea showed higher values of crude protein and lower levels of total carbohydrates and non-fibrous carbohydrates. While the silage without additive had higher NDT content and digestibility. The use of limestone or urea in corn silage demonstrates a buffering effect, delays the pH decline and increases lactic acid concentrations, while the microbiological inoculant increases the acetic acid concentration. The use of additives reduced the formation of butyric acid in the fermentation process and the content of non-fibrous carbohydrates in the silage, while crystal sugar reduces the content of organic acids and does not provide significant changes in the chemical and nutritional composition of the silage.

**Keywords:** Crystal Sugar. Limestone. Bacterial inoculant. Silage fermentation standard. Urea. Nutritional value of silage.

### 3.1 INTRODUÇÃO

As forrageiras são a principal fonte de alimento para os ruminantes, no entanto em decorrências de condições climáticas adversas (baixas temperaturas, redução de luminosidade ou escassez de chuvas) em alguns períodos do ano há redução de produção de biomassa e de disponibilidade de forragens. Assim, os pecuaristas devem planejar a produção das pastagens e nos períodos de maior produtividade conservar essas forrageiras através da técnica de ensilagem para os períodos críticos.

Desta forma, a utilização de forragens conservadas, especialmente a silagem de milho, é uma prática presente em muitas propriedades, a fim de suprir a carência de alimentos em períodos críticos, como épocas de escassez das pastagens ao longo do ano (SEVERO *et al.*, 2020). O principal objetivo da ensilagem é maximizar a conservação dos nutrientes originais na colheita da forragem, para que o produto final, a silagem, possa apresentar boa qualidade ao ser empregada para alimentação animal posteriormente. Portanto, na ensilagem busca-se obter

um alimento final estável com alta recuperação de matéria seca, energia e nutrientes altamente digestíveis em comparação com a cultura fresca (KUNG JR., 2018).

Animais de alta produção tem demanda e exigência de alto valor nutritivo, assim o fornecimento do volumoso de melhor qualidade, capaz de suprir as necessidades de animais com alto potencial genético, ou categorias de maiores exigências nutricionais se torna requisito, pois melhora a qualidade da dieta além de reduzir o custo de produção, com a diminuição da suplementação com concentrado (ROSA *et. al*, 2020). Ou seja, o fornecimento de silagem de boa qualidade, impactará na produção leiteira e no desempenho animal e na economicidade do sistema.

A silagem de qualidade é resultante de material forrageiro bem ensilado, com processo fermentativo eficiente e rápido declínio de pH (McDONALD; HENDERSON; HERON, 1991; JOBIM; NUSSIO, 2013). Falhas no processo fermentativo podem resultar em perdas de matéria seca e princípios nutritivos, e baixa estabilidade aeróbica. Além disso, a silagem de baixa qualidade terá menor aceitabilidade pelo animal, com diminuição do consumo e, conseqüentemente, menor desempenho animal e lucro líquido da fazenda (KUNG JR., 2018). A fim de evitar ou reduzir a ocorrência dessas perdas, podem ser utilizados aditivos químicos ou microbiológicos no processo de ensilagem (NEUMANN *et al.*, 2010).

Aditivos são produtos adicionados no momento de ensilagem capazes de alterar o processo fermentativo e a conservação da silagem. Entre as diversas finalidades do uso de aditivos destaca-se a utilização de produtos para melhorar a composição de nutrientes da silagem, reduzir as perdas de armazenamento, aumentar a população de bactérias desejáveis, promover rápida fermentação, reduzir as perdas de armazenamento, evitar a fermentação por clostrídios, reduzir as populações de leveduras para tornar as silagens mais estáveis aeróbicamente e melhorar o desempenho animal (YITBAREK; TAMIR, 2014; MUCK *et al.*, 2018). Existe uma gama de produtos ou substâncias que podem ser usados como aditivo, no entanto há carência de estudos sobre a eficiência desses.

Neste contexto, a busca por alternativas que possam melhorar o processo fermentativo e a qualidade nutricional da silagem, como os inoculantes bacterianos ou aditivos químicos, devem ser constantes, assim são necessários mais estudos para verificar e quantificar a eficiência destes produtos na conservação das características da silagem. A fim de contribuir para reduzir a carência de resultados de pesquisa relacionado com o efeito do uso de aditivos em silagem de milho, objetivou-se com este estudo avaliar o processo fermentativo e a

qualidade da silagem de milho confeccionada com os diferentes aditivos: ureia, açúcar, calcário ou inoculante microbiano.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus Realeza*. O município de Realeza está situado na região Sudoeste Paranaense, Brasil, à altitude de 520 m, 25° 46' de latitude Sul e 53° 31' de longitude Oeste. O clima predominante na região conforme a classificação de Köppen é o subtropical úmido (Cfa), com verão quente apresentando temperatura maior que 22°C e nos meses de inverno varia de -3 a 18 °C (ALVARES *et al.*, 2013). O solo caracteriza-se como Latossolo Vermelho Distroférrico típico com textura argilosa (EMBRAPA, 2011). O experimento foi realizado durante o período de setembro de 2019 a janeiro de 2021, sendo realizados dois anos de coleta de dados.

Anteriormente a implantação do experimento foi realizada análise física e química do solo. Conforme análise granulométrica realizada, o solo da área experimental classificado como tipo 3, muito argiloso, com percentual de 17,50% de areia, 17,50 % silte e 65% de argila. A análise química, a coleta foi de 0-20 cm e os resultados obtidos estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental UFFS, Realeza.

Análise de solo										
Fósforo (mg/dm <sup>3</sup> )	M.O (g/dm <sup>3</sup> )	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Complexo Sortivo							
			H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	Al	V
----- cmol/ dm <sup>3</sup> -----									%	
11,25	26,23	4,70	7,20	0,49	3,66	1,58	5,73	12,93	2,86	44,32

\*Fonte: autor, 2021.

A área utilizada para o plantio do milho apresentava 50 metros de comprimento por 6,0 metros de largura (60 m x 5,0 m), totalizando 300 m<sup>2</sup>. O plantio da lavoura no primeiro ano de avaliação foi realizada no dia 30 de setembro, sendo que prévio ao estabelecimento da cultura de milho a área foi arada, realizada a aplicação de 3,0 toneladas de calcário/ha, e posteriormente

gradeada para destorroamento, nivelamento do solo e eliminação de planta daninhas. No segundo ano de avaliação, a implantação da lavoura ocorreu no dia 06 de novembro. O plantio foi realizado com a densidade de semeadura de 55.000 plantas/ hectare, com espaçamento entre linhas de 45 cm, realizado com semeadora hidráulica de arrasto acoplada a trator. Após o plantio, a área foi adubada com cama de frango, na proporção de 10 toneladas/ ha. Uma amostra do adubo foi coletada e encaminhada para laboratório para determinação de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio). A cama de frango foi caracterizada com 17,77 (g kg<sup>-1</sup>) de nitrogênio, 25,13 (g kg<sup>-1</sup>) de fósforo e 9,85% (g kg<sup>-1</sup>) de potássio.

Para o plantio não foram empregadas sementes de híbridos de milho geneticamente modificados. O controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual com a utilização de roçadeiras e capinas manuais. Para o controle de lagarta do cartucho e insetos foi empregado o uso de *Bacillus thuringiensis* (concentração de 32 g/kg) na proporção de 500 g/ ha, associado a Azadiractina (concentração 2,4 g/L) na proporção de 500 mL/ ha, ambos aplicados na proporção de 150 L de calda por hectare. Em cada ano de cultivo foram realizadas duas aplicações, cerca de 30 e 60 dias após o plantio. Não foi realizada a aplicação de herbicidas, inseticidas e fungicidas químicos, ou seja, o cultivo foi realizado de forma orgânica.

Quando as plantas atingiram o ponto para ensilagem, com os grãos em ponto farináceo, que foram 100 ou 98 dias após o plantio no primeiro e segundo ano, respectivamente, prévio a colheita, foi realizado a avaliação para a caracterização da lavoura. O número de plantas foi mensurado através da contagem do número de plantas presentes em dois metros lineares, sendo para tal, avaliados 15 pontos distintos na lavoura. Para estimar a produtividade de matéria verde (MV) da lavoura, dez feixes, cada qual com cinco plantas cortadas a 25 cm do solo, foram colhidos aleatoriamente e pesados, e seu peso multiplicado pela população de plantas.

Foram escolhidas aleatoriamente 50 plantas para realizar as seguintes mensurações: altura da planta (mensurada do nível do solo até a altura de inserção da última folha da planta (folha bandeira); diâmetro de colmo (mensurado no colmo da planta a 25 cm do nível do solo, com o auxílio de paquímetro digital); e contagem número de folhas (realizada através da contagem do número de folhas por planta acima do nível de 25 cm do solo). As plantas avaliadas foram cortadas, encaminhadas ao laboratório da UFFS e posteriormente separadas em seus componentes físicos: colmo, folhas, grãos e outras (bráctea, sabugo e panícula). Os componentes físicos das plantas acima descritos foram pesados separadamente a fim de saber a participação de cada componente na matéria verde ensilada. Após a separação, os componentes foram alocados separadamente em sacolas de papel, pesados e postos em estufa

de ar forçado a 55 °C até atingirem peso constante para estimar a participação dos componentes na matéria seca do material a ser ensilado. A produtividade da lavoura e a composição física do material ensilado estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Produtividade da lavoura de milho, composição física do material ensilado e matéria seca da forrageira ensilada.

Variáveis	Valor	Erro-padrão
Número de plantas por hectare	56.800	1.009,2
Produção matéria verde, kg matéria verde/ ha	51.458,7	1.479,5
Produção matéria seca, kg matéria seca/ ha	17.660,4	387,9
Altura planta, m	2,32	0,02
Diâmetro do colmo, mm	23,41	0,4
Número de folhas verdes e secas	12,42	0,27
Colmo, % MS	35,19	1,08
Folha, % MS	13,17	0,4
Grão, % MS	33,45	1,82
Outras (Bráctea, Sabugo, Panícula), %	18,15	0,83
MS no momento do fechamento, %	34,65	0,01

\*Tabela elaborada pelos autores.

Após a avaliação da lavoura, todas as plantas foram colhidas manualmente, a altura de 25 cm do nível do solo, e fragmentadas na ensiladeira acoplada ao trator. Para estimar o teor de matéria seca do material no momento da ensilagem, foram coletadas amostras do material triturado, as quais foram armazenadas em sacos de papel, pesadas e postas em estufa de ar forçado a 55 °C até peso constante. Posteriormente, o material triturado foi armazenado em bolsas de silagem com o auxílio de máquina empacotadora e compactadora de silagem. As bolsas de silagem, com 200 micras de espessura, foram compactadas com densidade equivalente a 550 kg/ m<sup>3</sup>, semelhante à densidade de compactação em silos trincheira ou de superfície, com cerca de 12 kg de material por bolsa, e hermeticamente fechadas com o uso de lacres plásticos.

Durante o processo de empacotamento foram adicionados ao material picado diferentes aditivos, sendo esses: ureia; açúcar cristal; calcário; aditivo microbiano; e sem aditivo. Os aditivos ureia, açúcar cristal e calcário foram incorporados na proporção de 3,0% do peso do material verde a ser ensilado. O aditivo microbiano utilizado foi o inoculante comercial Total Silo®, que apresenta a composição, de acordo com as instruções do fabricante, bactérias lácticas *Lactobacillus plantarum* (homofermentativa), *Lactobacillus buchneri* (heterofermentativa), *Pediococcus acidipropionici* (homofermentativa), *Pediococcus acidilactici* (homofermentativa) em concentração 1,0x10<sup>9</sup> UFC/ mL. O inoculante foi incorporado na proporção 1,0 litro do aditivo diluído em 100 litros de água por tonelada de material verde para



ensilagem. Para cada aditivo avaliado foram produzidos oito sacos de silagem, dos quais três foram pesados para se obter o peso das bolsas de silagem ao fechamento.

No momento da confecção da silagem foi realizada a avaliação do pH do material triturado. Para mensuração do pH da silagem foi empregada a metodologia descrita por Silva e Queiroz (2006), que consiste na diluição de 9,0 gramas da amostra fresca em 60 mL de água destilada, com leitura do pH após o repouso da amostra por 30 minutos, com a utilização de potenciômetro digital (Peagâmetro). As leituras de pH também foram realizadas ao longo do processo fermentativo da ensilagem, para cada tratamento, uma bolsa de silagem era aberta e retiradas duas amostras de silagem para avaliações. As avaliações de pH foram realizadas as 24 horas (dia 1), 96 horas (dia 4), 168 horas (dia 7), 240 horas (dia 10), 336 horas (dia 14) após a confecção da silagem. Para cada dia de avaliação do pH foi utilizado um novo saco de silagem ainda não utilizado para cada aditivo avaliado.

A análise do tamanho de partícula (Tabela 4) foi realizada segundo o método *Penn State Particle Separator*, conforme a metodologia descrita por Kononoff *et al.* (2003). Esse método utiliza um sistema de bandejas perfuradas com diferentes diâmetros (19 mm; 8,0 mm; 4,0 mm; e fundo), que separam certa quantidade de forragem estratificada após a movimentação do conjunto. Para tal avaliação, no dia da confecção da silagem, foram coletadas três amostras do material triturado, com cerca de 1,0 kg cada, as quais foram pesadas com balança eletrônica. Seguindo a metodologia, após a pesagem inicial, a amostra era colocada sobre a bandeja superior da peneira e iniciado a agitação sistematizada. A agitação era realizada sobre uma superfície plana e lisa, e consistia em oito séries de cinco agitações vigorosas (a cada cinco agitações o conjunto de peneiras era rotacionado 90°), totalizando 40 movimentos. As partículas retidas em cada peneira foram pesadas, tendo seu valor dividido pelo peso total da amostra e posteriormente multiplicado por 100, para obter os valores em porcentagem.

Tabela 4. Tamanho de partícula e retenção de partícula em peneira *Penn State Particle Size* do material triturado para silagem de milho.

Diâmetro da peneira	Material Retido	Proporção de referência/ Literatura <sup>1</sup>
>19 mm	22,93%	3-8%
8,0 a 19 mm	62,38%	45-65%
8,0 a 4,0 mm	5,34%	30-40%
<4,0 mm	9,30%	<5%

\*Tabela elaborada pelos autores.

<sup>1</sup> Heinrichs; Kononoff, (2004).

Após a armazenagem das silagens por cerca de 60 dias, foi novamente realizada a pesagem das bolsas, para o cálculo do índice de recuperação de matéria seca (RMS), obtido pelo método proposto por Jobim *et al.* (2007), usando a seguinte equação:

$$\text{RMS (\%)} = (\text{MFf} \times \text{MSf}) / (\text{MFi} \times \text{MSi}) \times 100$$

em que: RMS – taxa de recuperação de matéria seca (%); MFf – massa de forragem na abertura (kg); MSf – teor de matéria seca da forragem na abertura (% MS); MFi – massa de forragem no fechamento (kg); MSi – teor de matéria seca da forragem no fechamento (% MS). Após a pesagem, foi realizada a abertura de três sacos de silagem por tratamento, sendo o conteúdo da extremidade da bolsa, assim como o material das laterais das bolsas descartados. Parte da silagem coletada foi submetida a prensagem com o auxílio de prensa mecânica, para extração do suco da silagem, o qual foi previamente filtrado com auxílio de gaze. No suco coletado, 9,0 mL, foi acrescido 1,0 mL de ácido sulfúrico 20%, sendo a amostra congelada a -18 °C, e posteriormente, conforme metodologia de Silva e Queiroz (2006), determinado o conteúdo de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), por destilação com óxido de magnésio e cloreto de cálcio, empregando solução receptora de ácido bórico e titulação com ácido clorídrico a 0,1 N.

Outra parte do suco coletado, cerca de 8,0 mL, foram acondicionados em recipientes contendo 2,0 mL da solução com ácido metafosfórico a 20% e congelados a -18 °C para avaliação dos teores de ácidos orgânicos (lático, acético, propiônico e butírico), por cromatografia gasosa. As amostras de suco de silagem com a solução de ácido metafosfórico foram centrifugadas por 10 minutos à 5.000 rpm, para a decantação de possíveis sedimentos presentes na amostra. Após as amostras foram filtradas através filtro para seringa membrana Pes 0,45 µm e acondicionadas em frascos Vials de 2,0 mL, e posteriormente foram conduzidas para a central de análises da Fundação de Apoio à Educação Pesquisa Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UTFPR.

Nos mesmos sacos de silagem utilizados para avaliação dos ácidos orgânicos e do nitrogênio amoniacal, foram coletadas cerca de 500 g de amostra do material central para análises bromatológicas. A amostra coletada foi armazenada em sacos de papel, pesada e encaminhada para estufa de ar forçado a 55 °C até atingir peso constante. Após esse período a amostra foi novamente pesada e submetida a moagem em moinho tipo Willey, sendo metade moída com peneiras de 1,0 milímetro e o restante em peneiras de 2,0 mm, e armazenadas em

recipientes plásticos apropriados, identificados e armazenados para posteriores análises bromatológicas.

No material amostrado nos sacos de silagem, triturado em 1,0 mm, foi realizada a análise de matéria seca, determinada através da secagem da amostra em estufa a 105 °C durante 16 horas. O conteúdo de cinzas foi determinado por combustão a 550 °C durante duas horas e o teor de matéria orgânica calculado subtraindo-se de 100 o conteúdo de cinzas. O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl (Método 984.13, AOAC, 1995), modificado por Kozloski *et al.* (2003). Os teores de lignina em detergente ácido foram determinados de acordo com Robertson e Van Soest (1981). As determinações de fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido foram realizadas em saquinhos de poliéster (KOMARECK, 1993). Nitrogênio insolúvel em detergente ácido e nitrogênio insolúvel em detergente neutro foram analisados de acordo com Licitra *et al.* (1996). O extrato etéreo foi determinado em sistema de refluxo com éter etílico, a 180 °C durante duas horas (AOAC, 1995). A energia digestível foi calculada segundo NRC (1996), em que 1,0 kg de nutrientes digestíveis totais (NDT) é igual a 4,4 Mcal. As amostras moídas em peneiras de 2,0 mm foram usadas para avaliação da digestibilidade *in vitro*, determinada seguindo a metodologia Tilley e Terry (1963).

Os carboidratos totais (CT) foram obtidos pela equação de Sniffen *et al.*, (1992):  $CT = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$  e carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculado pela expressão:  $CNF = 100 - (FDN + \%PB + \%EE + \%MM)$ . O teor de hemicelulose foi estimado seguindo a equação determinada pela AOAC (1995):  $HEM = FDN - FDA$ . O teor de celulose foi calculado pela equação:  $celulose = FDA - lignina$ .

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo seguinte modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + A_i + T_j + \epsilon_{ij}$$

em que:  $Y_{ij}$  representa as variáveis dependentes;  $\mu$  a média geral das observações;  $A_i$  o efeito do ano de avaliação (utilizado como co-variável);  $T_j$  o efeito do aditivo utilizado; e  $\epsilon_{ij}$  o erro residual aleatório. As médias foram classificadas pelo teste “F” e os parâmetros com efeito significativo foram comparados pelo teste de “t” de Student, com  $\alpha = 0,05$ . Para análise de contrastes ortogonal, aplicou-se o teste F, com  $\alpha = 0,05$ , na qual foi realizada a comparação da silagem sem aditivo em relação as demais silagens com a inclusão de aditivos. As variáveis

dependentes foram submetidas à análise de correlação de Pearson. As análises foram realizadas pelo programa estatístico SAS versão 9.2 (SAS, 2009).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Parâmetros de pH das silagens durante o processo fermentativo

No momento da ensilagem o material triturado apresentou pH 5,93, e durante o processo fermentativo ocorreu decréscimo do mesmo, como era esperado. Houve efeito ( $P < 0,05$ ) dos aditivos sobre os valores de pH nas silagens de milho, durante os 14 dias do processo fermentativo após o fechamento dos sacos de silagens (Tabela 5). No primeiro dia após a ensilagem, os menores valores de pH foram obtidos nas silagens com açúcar (4,15) ou inoculante (4,20), sendo assim pode-se dizer que ambos aditivos proporcionaram condições rápida para o estabelecimento das bactérias homoláticas, produção de ácido láctico. Supõe-se que o açúcar cristal comercial estimulou o crescimento das bactérias lácticas através do aumento de disponibilidade de sacarose e o inoculante proporcionou aumento da população de bactérias desejáveis no processo fermentativo, desencadeando rápido declínio de pH na fase inicial do processo fermentativo.

Tabela 5. Potencial de hidrogênio (pH) das silagens de milho produzidas com a adição de diferentes aditivos.

Variáveis	Aditivo					Erro-padrão	Valor P	
	Açúcar	Calcário	Inoculante	Sem Aditivo	Ureia		Aditivos	Contraste
pH, dia 0	5,93	5,93	5,93	5,93	5,93	0,01	1,0000	1,0000
pH, dia 1	4,15 d	5,00 a	4,20 d	4,42 c	4,67 b	0,05	<0,0001	0,1944
pH, dia 4	3,79 c	4,11 b	3,78 c	3,82 c	4,27 a	0,02	<0,0001	<0,0001
pH, dia 7	3,78 c	5,07 a	3,85 c	3,79 c	4,06 b	0,11	<0,0001	0,0028
pH, dia 10	3,77 c	4,23 a	3,85 c	3,81 c	4,10 b	0,04	<0,0001	0,0009
pH, dia 14	3,82 b	4,59 a	3,85 b	3,81 b	4,42 a	0,06	<0,0001	<0,0001

<sup>a, b, c</sup> Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem com  $P < 0,05$  pelo teste “t” de Student

Durante o processo fermentativo, os maiores valores de pH foram verificados para o aditivo calcário, seguido da silagem aditivada com ureia, o que está relacionado as características desses produtos, visto que esses são de caráter básico, que possuem ação

tamponante. Ambos aditivos são classificados, segundo Nascimento *et al.*, (2016), como aditivos químicos alcalinos e tendem a influenciar o decréscimo do pH. Segundo Kung Jr.(2018) o pH final da silagem é afetado por diversos fatores, mas está diretamente relacionado à concentração de ácido lático e capacidade tampão da cultura. Nesse caso, nesta pesquisa a capacidade tampão do aditivo teve efeito direto no valor final do pH. De acordo com Santos *et al.* (2008) maiores valores de pH em silagens tratadas com aditivos alcalinizantes são causados por seu poder tamponante, porque a dissociação aditivos químicos em átomos produzem cargas iônicas que neutralizam íons hidrogênio derivados de ácido orgânico produzido durante a fermentação. Desta forma, a ação tamponante conferem resistência à redução do pH, necessitando mais tempo para que ocorra a queda do pH e estabilização da silagem.

Melo *et al.* (2016) verificaram resultados similares, em que todas as silagens de capim Tanzânia aditivadas com calcário ou com ureia apresentaram as maiores médias de pH em relação ao controle, com valores variando entre 4,47 à 5,42, ou seja, acima da faixa de pH preconizados como ideal para silagem de qualidade. Martins *et al.* (2015), também observaram esse efeito, no qual a adição de 1,0% óxido de cálcio (CaO) em silagem de cana-de-açúcar proporcionou valor de pH mais elevado em relação aos demais aditivos avaliados.

Santos *et al.* (2021) observaram aumento linear de pH com o aumento de níveis de ureia, obtendo médias de pH de 4,12 com a adição de 2,0% deste aditivo na silagem de milho. Neste estudo, a adição de 3,0% de ureia proporcionou pH de 4,42, o que pode estar associado a maior dosagem do aditivo. O aumento dos valores de pH pela adição da ureia na silagem de milho ocorre pela transformação da ureia em amônia, que reage com a água e, conseqüentemente, forma hidróxido de amônio (NH<sub>4</sub>OH) e provoca aumento do pH, fator limitante ao desenvolvimento de leveduras (KUNG JR. *et al.*, 2003; NEUMANN *et al.*, 2010).

Segundo Tomich *et al.* (2003) a formação da amônia no processo de ensilagem impede o declínio do pH da massa ensilada e altera o curso da fermentação. Para haver conservação eficiente do material, os autores consideram que a silagem deve possuir teores menores que 10% de N-NH<sub>3</sub>/ nitrogênio total. Nesta pesquisa foram verificadas altas concentrações de N-NH<sub>3</sub> (23,74 mg/ dL – Tabela 6) para o tratamento ureia, que pode justificar o pH mais elevado.

Após os 14 dias de fermentação, as silagens tratadas com ureia e calcário diferiram estatisticamente (P<0,05) das demais, com valores de pH superiores aos estabelecidos por McDonald *et al.* (1991) que classificam as silagens de boa qualidade com pH entre de 3,8 a 4,2. Apesar dos valores de pH acima da faixa padrão preconizado pela literatura, a qualidade da mesma não foi afetada, pois houveram altas concentrações de ácido lático e baixas

concentrações de ácido butírico para silagens com esses aditivos (Tabela 6). Considerando que os microrganismos produtores do ácido butírico se desenvolvem em ambientes com pH mais elevados, e que o teor de butírico foi baixo, pode-se deduzir que não houve aumento populacional significativo dessas bactérias nessa amplitude do pH. Segundo Henderson (1993), conforme o tipo de aditivo e ou o tratamento químico adicionado no material na ensilagem, o pH da silagem pode ser superior a 4,0 sem que a qualidade do material resultante seja alterada.

Pela análise de contraste, as médias de pH da silagem sem aditivo não diferiu das silagens com aditivo apenas no primeiro dia do processo fermentativo. Nos demais dias de avaliação, verifica-se que a silagem sem aditivo apresentou menor valor de pH, o que pode ser explicado pelo fato que a inclusão dos aditivos resulta na modificação do processo fermentativo. Desta forma os produtos tamponantes como ureia e calcário, agem ocasionando maior pH final da silagem, enquanto o inoculante, por proporcionar maior produção de ácido acético, mantém valores de pH maiores, pois é um ácido fraco, e, no caso do açúcar apesar de proporcionar rápido declínio do pH na fase inicial, a menor produção de ácidos orgânicos no processo fermentativo (Tabela 6), pode justificar essa elevação das médias de pH na fase final da fermentação, sendo que a quantidade produzida de ácidos orgânicos não foi suficiente para manter a estabilidade da acidez.

### **3.3.2 Perfil fermentativo da silagem e recuperação de matéria seca**

A maior participação de ácido lático foi observada nas silagens com adição do calcário (19,06 ppm) ou ureia (18,95 ppm), com a menor concentração (9,48 ppm), para a silagem produzida com açúcar (Tabela 6) ( $P < 0,05$ ). As silagens sem aditivo ou inoculante apresentaram valores intermediários. Alta concentração de ácido lático reduz o pH e tem efeitos positivos na silagem inibindo o crescimento e atividades de bactérias indesejáveis (DRIEHUIS; OUDE ELFERINK, 2000). No entanto nesta pesquisa, os aditivos ureia e calcário, embora com altas concentrações de ácido lático, a elevada capacidade de tamponamento dos aditivos químicos alcalinos impediu a redução do pH das silagens. Segundo Jobim e Nussio (2013) quanto mais elevado for o poder tampão, será necessário maiores produções de ácido lático para que o pH atinja níveis que inibam a ação dos clostrídios.

Santos (2008) em seus estudos com cana-de açúcar verificou resultados semelhantes, no qual a adição de cal virgem e calcário calcítico promoveu silagens com maiores valores de pH e concentrações de ácido lático. O autor relata que o efeito tamponante dos aditivos estimulou a conversão dos carboidratos solúveis em ácido lático. Tal efeito também foi observado nos estudos de Klosterman *et al.* (1961), em que a adição de aproximadamente 0,5% calcário moído (36,66% de cálcio e 0,29% de magnésio) e 0,5% ureia na silagem de planta inteira de milho aumentou o teor de ácido lático da silagem resultante em 78% com base na matéria seca.

Niu *et al.* (2018) ao avaliar o efeito de aditivos na silagem de *Bromus inermis* Leyss, verificaram que a adição de farinha de milho com 1,5% de calcário interferiu no processo fermentativo, aumentou a capacidade tampão da silagem e elevou o teor de ácido lático e a estabilidade aeróbica da silagem. Os autores ao analisarem a concentração dos seis principais elementos no calcário, verificaram que as silagens com calcário apresentavam nível de Ca superior à faixa ideal com aumento significativo no conteúdo de Mg. Desta forma, correlacionaram que o aumento da concentração do Mg teve papel importante como efeito estimulante no crescimento das bactérias produtoras do ácido lático na fase inicial do processo fermentativo. Portanto para os autores, ensilar com adição de calcário pode ser uma abordagem alternativa para melhorar o desempenho da estabilidade aeróbica de silagens com baixa capacidade tampão, mas com alto teor de amido (NIU *et al.*, 2018).

Tian *et al.* (2020) também verificaram aumento no crescimento das bactérias do ácido lático e da concentração de ácidos orgânicos conforme elevaram os níveis de adição de carbonato de cálcio em silagens mista total (alfafa com a inclusão de resíduo de batata doce, farinha de milho, melaço e soja) com alta umidade (60%). Além disso, verificaram o efeito do aditivo na estabilidade aeróbica, e que o crescimento de leveduras e bactérias aeróbicas foram inibidas pela aplicação de carbonato de cálcio durante a deterioração aeróbica. Também há relatos na literatura sobre o aumento da população de bactérias produtoras de ácido lático em silagens aditivadas com ureia. Santos *et al.* (2018) verificaram que silagens de sorgo tratadas com 0,5%, 1,0% ou 2,0% de ureia, a população de bactérias de ácido lático foi maior que em silagem sem aditivo. Os autores supõem que a adição de ureia promove uma faixa de pH mais alta nas silagens, favorecendo o desenvolvimento de algumas espécies de bactérias de ácido lático (BAL). Dantas (2021) verificou que a adição de ureia em silagem de grão de milho promoveu aumento significativo na população de BAL (6,58 log UFC/ g) em relação silagem sem ureia (6,27 log UFC/ g), nos 15 dias após a ensilagem. Além disso, observaram que a

utilização de ureia nas silagens elevou os níveis de pH, reprimindo o desenvolvimento de grupos de micróbios indesejáveis, tais como leveduras e mofos, pela transformação da ureia em amônia, quando o aditivo em contato com o material é hidrolisado, com isso, permitiu maior estabelecimento de bactérias lácticas nas silagens, sugerindo maior produção de ácido láctico, cuja principal função é preservar o material ensilado. Este estudo corrobora com os resultados encontrados nessas pesquisas, mesmo não tendo avaliado a população microbiológica da silagem e a estabilidade após abertura, os resultados obtidos, como aumento do pH e da concentração de ácido láctico, condizem com outros trabalhos publicados.

Tabela 6. Concentrações dos ácidos orgânicos, nitrogênio amoniacal (mg/dL) e recuperação de matéria seca das silagens de milho com a adição de diferentes aditivos.

Variáveis	Aditivo					Erro-padrão	Valor P	
	Açúcar	Calcário	Inoculante	Sem Aditivo	Ureia		Aditivos	Contraste
Ácido láctico (ppm)	9,48 b	19,06 a	14,71 ab	14,82 ab	18,95 a	2,11	0,0139	0,7913
Ácido acético (ppm)	7,29 b	8,34 b	18,49 a	18,46 a	7,30 b	2,91	0,0053	0,0161
Ácido propiônico (ppm)	11,74	13,55	15,37	20,73	14,93	2,86	0,2508	0,0371
Ácido butírico (ppm)	2,17 b	1,38 b	2,04 b	4,19 a	0,91 b	0,57	0,0025	0,0002
Nitrogênio amoniacal (mg/ dL)	2,83 c	4,83 c	4,46 c	7,54 b	23,74 a	0,72	<0,0001	0,0813
Recuperação matéria seca (%)	86,50	80,47	84,29	83,86	80,29	1,76	0,0987	0,6284

<sup>a, b, c</sup> Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem com  $P < 0,05$  pelo teste “t” de Student ppm= partes por milhão; mg/ dL=miligramas por decilitro;

Em relação a produção de ácido acético, sua maior concentração foi observada nas silagens com adição de inoculante (18,49 ppm) ou sem uso de aditivo (18,46 ppm). A alta concentração de ácido acético demonstra a atividade das bactérias heterofermentativa e está relacionada com o aumento da estabilidade aeróbia, pois esse ácido age como inibidor de organismos de deterioração (leveduras e fungos filamentosos) (DANNER *et al.*, 2003; KUNG JR. *et al.*, 2018).

Destaca-se que o inoculante utilizado neste estudo continha na sua composição *Lactobacillus buchneri*, bactérias heterofermentativas, que segundo Muck (2010) são capazes de fermentar o ácido láctico à ácido acético, o que auxilia em explicar altas concentrações do acetato nessas silagens. No entanto na fermentação heterofermentativa há tendência de maior perda de MS, pois para cada molécula de ácido acético formado, uma molécula equivalente de dióxido de carbono é gerada (MCDONALD *et al.*, 1991). Portanto, poderia haver considerável perda de matéria seca com fermentação heterofermentativa, no entanto, observando os índices de recuperação de MS, não verifica-se esse efeito.



Aumento da concentração de ácido acético também foi observado por Ranjit, Taylor e Kung Jr. (2002), em que adição de *L. buchneri* na silagem de milho diminuiu a concentração de ácido lático, mas aumentou a concentração de ácido acético na silagem e reduziu significativamente o número de leveduras presentes na silagem. Segundo Muck *et al.* (2018) a inoculação com bactérias heterofermentativas obrigatórias tem sido adotada como estratégia para aumentar o teor de ácido acético e prolongar a estabilidade aeróbia de silagens, sendo que vários estudos já realizado demonstram a eficiência na silagem de milho.

A menor concentração de ácido acético foi verificada nas silagens com açúcar (7,29 ppm), ureia (7,30 ppm) e calcário (8,34 ppm). Baytok *et al.* (2005) observaram que a adição do melão, que é fonte de açúcar, na silagem de milho diminuiu os teores de ácido acético. Santos *et al.* (2018) verificaram que os níveis de 0,5% ou 1,0% de ureia exercem efeito inibitório sobre microrganismos produtores de ácido acético, pois houve baixa produção desse ácido nas silagens de sorgo, indicativo que a ureia favorece a redução da ação bactérias acéticas e heterofermentativas no processo fermentativo. Com os dados obtidos nesta pesquisa, pode-se inferir que os aditivos, ureia, calcário e açúcar, impactaram no crescimento desses organismos e, após abertura das silagens com esses aditivos, estarão mais propícias a deterioração em função da baixa concentração desse ácido. Segundo Kung Jr. (2018) silagens com baixa produção de ácido acético podem ser instáveis quando expostas ao ar, pois baixas concentrações desse ácido não são suficientes para inibir leveduras que assimilam o lactato.

Quanto ao teor de ácido butírico, houve diferença estatística ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos, sendo que nas silagens que receberam aditivos, as concentrações de ácido butírico foram significativamente inferiores às silagem sem aditivo. Ou seja, a maior concentração de ácido butírico obtida na silagem sem aditivo pode sinalizar maior ação de microrganismos indesejados nessas silagens, destacando-se o desenvolvimento de espécies do gênero *Clostridium* spp. A atividade desses microrganismos é indesejável por várias razões, entre elas, a perda da aceitabilidade e redução do consumo da forragem (TOMICICH *et al.*, 2003). Segundo Santos *et al.* (2010) a redução no tamanho da partícula pode promover redução na fermentação butírica, pois proporciona melhor compactação. Com base nos resultados encontrados, nas análises de *Penn State*, na primeira peneira que ficam as partículas maiores (acima de 19 mm), o percentual encontrado de 22,93%, acima do ideal (2,0-8,0%). Ou seja, a silagem produzida apresentou maior participação de partículas grandes, desta forma, possivelmente ficou maior concentração de O<sub>2</sub> dentro do silo, em função da dificuldade compactação, retardando o início do processo anaeróbico e produzindo ácido butírico. As silagens que tiveram a inclusão dos

aditivos açúcar ou inoculante estimularam a fermentação inicial, reduzindo a produção do ácido butírico, e já nas silagens com adição do calcário ou ureia apesar de apresentarem pH mais elevados, supõe que estes produtos podem agir inibindo o crescimento deste microrganismos produtores de ácido butírico, por alteração do ambiente anaeróbico.

A alta concentração de ácido butírico na silagem indica que ocorreu a atuação dos clostrídeos, resultando na degradação excessiva de proteína, grande quantidade de perda de matéria seca e desperdício de energia (KUNG, 2018), conseqüentemente esta silagem apresenta baixo valor nutricional com maiores valores de fibra (FDA e FDN) e baixa digestibilidade da matéria seca, devido a degradação de nutrientes (KUNG JR. *et al.*, 2018). No presente estudo, as silagens sem aditivo apresentaram menores valores de FDA e FDN e maiores teores NDT, o que indica que concentrações de 4,19 ppm de ácido butírico não comprometeu a qualidade das silagens sem aditivo.

Pelo contraste entre as silagens com aditivos e silagem sem aditivo, foi observado menor concentração de ácido butírico ( $P < 0,05$ ) com a adição dos aditivos, desta forma verificou-se que os aditivos proporcionaram diminuição da concentração de ácido butírico. As reduções variaram de 51% para o açúcar até 78% com a adição da ureia. O aditivo ureia foi o que promoveu menores teores de ácido butírico (0,91 ppm), este resultado que está de acordo com o encontrado nos estudos de Santos *et al.* (2021), os quais verificaram menor concentração na silagem de milho com maior participação de ureia (0,29 g/ kg MS) e maior concentração de ácido butírico na silagem sem ureia (0,39 g/ kg MS).

No processo fermentativo da silagem há também a formação do ácido propiônico, produzido pelas bactérias do ácido propiônico que convertem glicose e ácido láctico em ácido propiônico e acético (KUNG JR. *et al.*, 2018). O ácido propiônico age como um importante inibidor do crescimento de leveduras (FILYA *et al.*, 2004). Conforme os resultados obtidos, a concentração de propiônico não diferiu ( $P > 0,05$ ) entre os aditivos avaliados, com valores entre 20,77 ppm (silagem sem aditivo) e 11,74 ppm (silagem com açúcar). Mas, pela análise de contrastes, constatou-se que houve redução na concentração do ácido propiônico com a adição dos aditivos ( $P < 0,05$ ). No entanto, a quantidade de ácido propiônico produzido pelas silagens foi superior as concentrações de ácido butírico. Recomenda-se que as silagens tenham concentrações bem reduzidas deste ácido, sendo que segundo Kung Jr. *et al.* (2018) o ácido propiônico é geralmente indetectável (especialmente em silagens mais secas) ou em concentrações muito baixas ( $< 0,1\%$ ) em boas silagens. Altas concentrações de ácido propiônico

(>0,3-0,5%) são mais comumente encontradas em fermentações clostridial, provavelmente resultado de *Clostridium propionicum*.

Os teores de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) foram respectivamente de 23,74 mg/dL e 7,54 mg/dL para silagens produzidas com ureia ou sem aditivo. A adição de calcário, inoculante e açúcar resultaram em silagens com valores de N-NH<sub>3</sub> mais baixos, com médias de 4,83; 4,46 e 2,83 mg/dL, respectivamente. A adição de ureia na silagem promoveu o aumento significativo nos teores de N-NH<sub>3</sub> que pode ser explicada pela inclusão de uma fonte de amônia, pois segundo Dantas (2021) a adição deste aditivo resulta em maior concentração de N-NH<sub>3</sub> na silagem, visto que além de ser fonte de nitrogênio não proteico, atua na dinâmica fermentativa, mudando o pH da massa ensilada. Inicialmente parece indesejável a presença da amônia originada da ação da urease sobre a ureia mas, Lopes e Evangelista (2010) enfatizam que a amônia funciona como inibidor do crescimento de leveduras, o que pode refletir em menores perdas após a abertura do silo.

Os resultados encontrados por Santos *et al.* (2018) validam tal justificativa, pois esses autores observaram aumento linear nos valores de nitrogênio amoniacal a medida que elevaram os níveis de adição de ureia nas silagens de sorgo. Dantas (2021) verificou que 1,5% de ureia maximizou a disponibilidade de nitrogênio na massa ensilada, em virtude da conversão da ureia em N-NH<sub>3</sub>, ocasionado pela ureólise, atividade minimizada quando comparada a dinâmica de conversão em silagens hidratadas.

A literatura classifica a silagem como muito boa quando a concentração de N-NH<sub>3</sub> for inferior a 10%; aceitável, de 10 a 15%; e insatisfatória, com valores acima de 20% (WOOLFORD, 1984; McDONALD *et al.*, 1991). No entanto, apenas o conteúdo de nitrogênio amoniacal não é suficiente para avaliar a qualidade das silagens tratados com ureia, uma vez que tendem a ter maiores concentrações do mesmo devido à disponibilidade do nitrogênio não proteico (GONÇALVES *et al.*, 1999). Isso significa que os valores encontrados nas silagens com ureia, 23,74 mg/ dL, não pode ser usado como único indicativo para classificar a silagem como insatisfatória.

A recuperação da matéria seca (RMS) não foi influenciada (P>0,05) pela adição dos aditivos (Tabela 6), porém, no geral, os valores de perdas foram superiores ao limite estabelecido por McDonald *et al.* (1991), em que o somatório das perdas de MS inevitáveis (respiração da planta após o corte, fermentação, produção de efluentes e secagem a campo) e evitáveis (fermentações secundárias, deterioração aeróbica no armazenamento e deterioração aeróbica a partir da abertura do silo), deve atingir o limite máximo de 10%.

Santos *et al.* (2020) verificaram recuperação de matéria de seca de 96,14%; 95,67% e 95,15%, para as silagens de milho tratadas com ureia, inoculante ativado e inoculante ativado com ureia, respectivamente. Os autores associaram estes altos valores de RMS ao efeito da ação antimicrobiana da ureia, que reduz o desenvolvimento de leveduras na massa ensilada, e também ao maior número de populações de bactérias lácticas presentes no inoculante ativado. No entanto, neste estudo não foi observado essa ação pela ureia, pelo contrário, a silagem aditivada com ureia apresentou valor de recuperação de MS de 80,29%.

Conforme Santos *et al.* (2008), quanto mais baixo forem os valores de recuperação de MS, mais perdas ocorreram no processo fermentativo, as quais variaram nesta pesquisa de 19,71% a 13,5%. Zanette (2012) no seu estudo com silagem de milho colhida com 33,71% de MS, encontrou perdas de matéria seca de 14,66%, 16,99% e 11,87% para os tratamentos denominados como silagem convencional, aditivada com açúcar e silagem com inoculante bacteriano. Esses valores são inferiores aos encontrados nesta pesquisa, com valores médios de 16,14%, 13,60% e 15,53% para as silagens sem aditivo, com açúcar ou inoculante bacteriano, respectivamente. Segundo Carvalho *et al.* (2014), as perdas de matéria seca influenciam diretamente a qualidade nutritiva da silagem, pois elevam proporcionalmente os constituintes fibrosos e, conseqüentemente, reduzem a digestibilidade da matéria seca. No presente estudo, foi verificado esse efeito no aumento do FDA e FDN nas silagens aditivadas.

### **3.3.1 Composição química-bromatológica das silagens**

Os resultados da composição bromatológica da silagem estão apresentados na Tabela 7, na qual observa-se que os valores de MS variaram entre 23,56 a 27,00%, inferiores aos encontrados por Ortiz *et al.* (2021), que destacam valores de MS 29,43 a 36,70% para silagem de milho. No entanto, observou-se diminuição no teor de matéria seca com o processo de ensilagem, na pesquisa no momento de fechamento, a forrageira picada ensilada apresentava médias de MS de 34,65%, e na abertura verificou-se valores de MS inferiores a 30% para todos os tratamentos. Esses resultados corroboram com Gharechani *et al.* (2017), que observaram tendência de redução do teor de MS entre o primeiro dia de ensilagem até o 32<sup>a</sup> de fermentação. Deste modo, a redução de matéria seca pode ser justificada pela diminuição de conteúdo celular, principalmente de carboidratos solúveis, durante o processo fermentativo (WOOLFORD,

1984). Assim, os baixos teores de matéria seca da silagem deste estudo podem estar associados aos resultados verificados para as taxas de recuperação de matéria seca.

Tabela 7. Composição química e digestibilidade *in vitro* das silagens de milho produzidas com a adição de diferentes aditivos.

Variáveis	Aditivo					Erro-padrão	Valor de P	
	Açúcar	Calcário	Inoculante	Sem Aditivo	Ureia		Aditivos	Contraste
Matéria seca	25,87 b	27,00a	25,39 b	26,94a	23,56 c	0,32	<0,0001	0,0001
Matéria mineral	3,87 b	10,16 a	3,66 b	3,51 b	3,78 b	0,34	<0,0001	<0,0001
Matéria orgânica	96,12 a	89,83 b	96,34 a	96,49 a	96,22 a	0,34	<0,0001	<0,0001
Proteína bruta	7,83 bc	8,26 b	7,21 bc	6,62 c	19,55 a	0,42	<0,0001	<0,0001
Fibra em detergente ácido	24,43 a	23,89 a	24,40 a	19,79 b	24,46 a	0,44	<0,0001	<0,0001
Nitrogênio insolúvel em detergente ácido	2,17	2,18	1,70	1,86	1,95	0,19	0,3541	0,5127
Lignina	4,32 a	4,18 a	3,15 b	2,23 c	2,08 c	0,20	<0,0001	<0,0001
Fibra em detergente neutro	47,16 a	43,83 b	45,36 ab	38,99 c	47,16 a	0,81	<0,0001	<0,0001
Nitrogênio insolúvel em detergente neutro	2,05 ab	2,02 ab	1,27 c	1,67 bc	2,67 a	0,25	0,0050	0,2508
Celulose	20,11 bc	19,70 c	21,24 ab	17,56 d	22,38 a	0,47	<0,0001	<0,0001
Hemicelulose	22,72 a	19,94 bc	20,96 b	19,20 c	22,69 a	0,51	<0,0001	<0,0001
Extrato etéreo	2,60 b	1,77 d	2,61 b	2,99 a	2,36 c	0,07	<0,0001	<0,0001
Carboidratos totais	85,68 a	79,79 b	86,50 a	86,87 a	74,29 c	0,55	<0,0001	<0,0001
Carboidratos não fibrosos	38,52 bc	35,96 c	41,14 b	47,87 a	27,13 d	1,09	<0,0001	<0,0001
NDT	70,73 b	71,11 b	70,75 b	73,98 a	70,71 b	0,31	<0,0001	<0,0001
Digestibilidade	74,60 ab	67,58 b	71,34 b	78,26 a	77,69 a	1,87	0,0022	0,0152

\*Médias seguidas de letras diferentes, na linha, diferem ( $P < 0,05$ ) pelo teste “t” de Student.

As silagens com ureia apresentaram menor teor de matéria seca (23,56%) com baixo valor de recuperação de MS (80,29%), provavelmente associado a maior produção de ácido láctico, em função do poder tampão do aditivo. De acordo com Yitabarek e Tamir (2014), o nitrogênio não proteico atua como tampão durante a fermentação, exigindo produção extra de ácido láctico para diminuir o pH, aumentando assim a perda de matéria seca. Em contrapartida, as médias de matéria seca das silagens com calcário (27,0%) ou sem aditivo (26,94%), foram superiores as demais, não diferindo estatisticamente entre si. Porém, pela análise de contraste as médias de silagem sem aditivo foram superiores a médias de MS das silagens aditivadas ( $P < 0,05$ ). Valores de MS obtidos para silagem com calcário estão de acordo com os observados na literatura, como o citado por Florentino *et al.* (2020), que verificou que as silagens de cana-

de-açúcar ensilada aditivadas com 2,0% de calcário calcítico ou com 2,0% de cal virgem apresentaram maiores porcentagem de matéria seca em relação às aditivadas com ureia.

Houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre as silagens avaliadas para matéria mineral e matéria orgânica. O menor teor de matéria orgânica observado na silagem de milho com calcário como aditivo provavelmente é resultado da maior concentração de matéria mineral que o aditivo proporcionou. Resultados similares foram encontrados por Romão *et al.* (2018) em que à adição de CaO promoveu aumento do teor de matéria mineral nas silagens de cana-de-açúcar. Esse aumento nos valores de cinzas está relacionado ao fato do aditivo ser de origem mineral e apresentar grande proporção desta fração em sua totalidade (AMARAL *et al.*, 2009).

Uma das vantagens da adição de calcário é que, por si só, pode suprir a necessidade de cálcio recomendado na dieta. No entanto precisa ter cuidado em suprir a exigência líquida de Ca e manter o equilíbrio entre Ca e P (fósforo) na dieta. Segundo a recomendação da NRC (2000) a exigência líquida diária de Ca para manutenção é de 15,4 mg/ kg de peso corporal, porém a dieta deve obedecer a relação entre cálcio e fósforo adequada (2:1), caso contrário em situações de desequilíbrio, altos valores de Ca aliados a baixos valores de P provocam maior excreção urinária de Ca, uma vez que se não houver fósforo circulante suficientemente disponível para a deposição óssea, o Ca disponível, que seria depositado juntamente com o P, se torna excedente e é excretado via urina (GIONBELLI *et al.*, 2010). Apesar do conteúdo de Ca não ter sido determinado nesta pesquisa, se faz necessário tal avaliação, pois é de grande importância a determinação do teor de Ca, para que a quantidade desse mineral adicionado à mistura de minerais possa ser ajustado para evitar interferir com a razão Ca: P da dieta.

A concentração de proteína bruta diferiu entre as silagens ( $P < 0,05$ ), sendo superior na silagem com ureia, associado ao fato desse aditivo apresentar 45% de nitrogênio na sua composição. A proteína bruta é importante indicativo de qualidade de silagem e o seu teor foi melhorado significativamente com a adição de ureia no processo de ensilagem, assim, sugere-se que seu uso em silagens de milho pode corrigir o baixo teor de proteína da forragem colhida. Esse efeito foi observado também por Carlotto (2019), no qual a inclusão de 0,5% de ureia na silagem de milho promoveu aumento de PB para 9,49%, enquanto a silagem sem aditivo apresentou 6,45% de PB.

A exceção da silagem sem aditivo, as demais silagens apresentaram teor de proteína bruta próximos ao mínimo recomendado por Van Soest (1994), de 70 g/ kg, ou seja 7,0%, valor considerado como limite inferior para adequada manutenção da fisiologia do rúmen. Os valores observados para a silagem sem aditivo são inferiores aos observados pelos estudos de Faria *et*

*al.* (2020), que analisaram 220 amostras de silagem de milho no período de 2004 à 2015, e obtiveram médias entre 8,8 à 12%. Pela análise de contrastes, constatou-se que o teor de proteína bruta foi aumentada com a adição dos aditivos ( $P < 0,0001$ ), todos os aditivos tiveram efeito positivo nesta variável avaliada comparando com as médias da silagem controle.

Em relação à fração fibrosa, foram observadas diferenças estatísticas nos valores de fibra em detergente ácido (FDA) das silagens com os diferentes aditivos ( $P < 0,05$ ). A silagem sem aditivo apresentou o menor valor para essa fração (19,79%), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, os quais apresentaram na média 24,30% de FDA. Os valores encontrados são inferiores aos obtidos por Faria *et al.* (2020), de 30 à 42% de FDA.

Os teores da fração fibra em detergente neutro (FDN) variaram entre 38,99% à 47,16%, dentro da amplitude de variação de 36 a 50%, citada por Oliveira *et al.* (2002). Menores valores de FDN podem estar relacionados ao melhoramento genético do milho, que busca produzir híbridos destinados a produção de silagem, com redução do teor de fibra e aumento de outras frações. A redução do teor de FDN na silagem também pode ser ocasionada pela elevação da altura de corte no momento da ensilagem (FARIA, *et al.*, 2020).

O teor de FDN da silagem sem aditivo foi inferior ( $P < 0,05$ ) as demais silagens (Tabela 7), associado ao fato que nas silagens produzidas com emprego de aditivos, os aumentos dos teores de FDA e FDN provavelmente estão relacionados ao consumo de carboidratos solúveis durante a fermentação. Segundo Balieiro Neto *et al.* (2007) o consumo de carboidratos solúveis por microrganismos ocasiona elevação proporcional da fração fibrosa e reduz o valor nutritivo da silagem. Na presente pesquisa, o aumento das frações fibrosas proporcionou redução do NDT, pois o FDA ( $r = -0,9998$ ) e o FDN ( $r = -0,9726$ ), ambos com  $P < 0,0001$ , apresentaram correlação negativa com o NDT.

Esse maior consumo de carboidratos solúveis durante a fermentação, não está necessariamente relacionado a ocorrências de fermentações indesejáveis, mas pode estar relacionado a maior produção dos ácidos orgânicos. Verifica-se que, as silagens com ureia ou calcário, por terem sido aditivadas com produtos alcalinos, apresentaram maior produção de ácido láctico para proporcionar a queda do pH, que proporcionou maior consumo de carboidratos solúveis e, conseqüentemente, foram silagens que apresentaram elevados teores de FDN.

Bravo- Martins *et al.* (2006) verificaram que a adição de 1,0% de ureia reduziu os teores de FDN e lignina e aumentou os teores de FDA em silagem de cana-de-açúcar. Zanette *et al.* (2012) observaram tendência na redução das médias de FDN em silagens de milho com a adição de aditivos, com médias de FDN de 53,41% para silagem sem aditivo, 50,30% para silagem

aditivada com açúcar e 48,39% para silagens com inoculante, sem diferirem entre si. Ribas *et al.* (2021) observaram que o conteúdo de FDN foi maior para silagem de milho inoculado com 11C33 (46,72%) em relação a silagem sem aditivo (41,00%).

Houve diferença significativa entre os teores de celulose e hemicelulose ( $P < 0,05$ ). Os teores de celulose da silagem com ureia foram superiores (22,38%), sem diferir da silagem com inoculante (21,24%), com menor participação na silagem que não recebeu aditivos (17,56%). A celulose é o componente estrutural que representa a maior parte da FDA e seu aproveitamento pelo animal depende do grau de lignificação da fração (VAN SOEST, 1994). Os maiores teores de hemicelulose (Tabela 7) foram observados nas silagens com ureia ou calcário, em virtude da maior concentração de fibra na parede celular, pois a hemicelulose foi obtida a partir da diferença do FDN e FDA (BALIEIRO NETO *et al.*, 2007). De acordo com Hunt *et al.* (1993), durante o processo fermentativo pode ocorrer hidrólise da hemicelulose, pois no decorrer do processo fermentativo com o esgotamento dos carboidratos solúveis, as bactérias lácticas podem utilizar hemicelulose como fonte de substrato para a fermentação (ROCHA, 2018).

Para a lignina, fração não digestível da planta, a silagem sem aditivo ou com adição de ureia apresentaram os menores teores, 2,23 e 2,08% respectivamente, e diferiram estatisticamente das demais. Esses valores são inferiores aos encontrados por Faria *et al.* (2020), que encontraram teores de lignina entre 5,5 a 3,0%.

Não houve efeito dos aditivos sobre os teores nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), porém houve sobre o nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN), no qual os teores na silagem com ureia foi superior ao das silagens com inoculante ou sem aditivo, com comportamento intermediário nas silagens com calcário ou açúcar. Segundo Oladosu *et al.*, (2016) altas concentrações de NIDN indicam alto nível de dano por calor na proteína e baixo teor de energia. Segundo Melo (2016) o aumento do teor de NIDN em silagens de capim Tanzânia com aditivo ureia e/ou calcário, ocorreu em função da adição dos aditivos alcalinizantes que interferiram na queda inicial do pH, desencadeando a ocorrência de fermentações secundárias no início do processo fermentativo.

A adição dos aditivos reduziu as concentrações de extrato etéreo nas silagens. Os teores médios variaram entre 1,77 a 2,99%, estão dentro da faixa de valores verificados por Ortiz *et al.* (2021) que foi de 1,39 a 3,49%. Segundo Khan *et al.* (2012), valores de 2,1 a 3,8% são considerados adequados para boa silagem de milho. Segundo Silva Macêdo *et al.* (2017) o teor de extrato etéreo está relacionado à produção de ácidos orgânicos da silagem e sua maior produção promove aumento da sua participação nas silagens.



O teor de carboidratos totais (CHOT) reduziu com a adição de aditivos ureia ou calcário, com valores de 74,29% para ureia e 79,79% para calcário, enquanto as silagens com uso de açúcar (85,68%), inoculante (86,50%) ou sem aditivo (85,68%) foram semelhantes entre si. Pelo teste de contraste, as médias de CHOT das silagens aditivadas foram menores que a sem aditivo ( $P < 0,0001$ ). Melo *et al.* (2016) também observaram redução no teor de carboidratos totais com a adição dos aditivos na silagem de capim, e associaram essa redução ao aumento gradual e simultâneo dos teores de extrato etéreo e cinzas. Nesta pesquisa o conteúdo de matéria mineral esteve inversamente correlacionado ao teor de carboidratos totais ( $r = -0,3360$ ;  $P = 0,0087$ ).

O teor de carboidratos não fibrosos (CNF) foi menor nas silagens com ureia ou calcário ( $P < 0,05$ ), provavelmente, em função da maior produção de ácido lático no processo fermentativo, pois os carboidratos são utilizados como substratos na produção dos ácidos orgânicos (MUCK, 2010). Os resultados encontrados estão de acordo com Dantas (2021) que observou menores teores de CNF para silagem com ureia (686 g/ kg) quando comparada a silagem sem ureia (731 g/ kg), o autor relacionou esta redução a fermentação dos açúcares durante o período fermentativo, que teve influência direta na redução dos carboidratos não fibrosos.

Esperava-se que a adição do açúcar aumentasse CFN, porém isso não foi verificado nos resultados. A superioridade do teor de CNF encontradas para as silagens sem aditivo (47,87%) indica que teve menos perda e possivelmente terá melhor valor energético, sendo na presente pesquisa o NDT esteve diretamente relacionada ao teor de carboidratos não fibrosos ( $r = 0,8468$ ;  $P < 0,0001$ ).

Os teores médios de NDT foram de 73,98% (silagem de milho sem aditivo), 71,11% (aditivo calcário), 70,75% (inoculante), 70,73% (aditivo açúcar) e 70,71% (aditivo ureia). O NDT superior para a silagem produzida sem aditivo pode estar associado ao fato dos aditivos elevarem o FDA e FDN. Entretanto ressaltamos que, embora o NDT nas silagens com aditivos sejam inferiores à silagem sem aditivo, seus valores estão na faixa de amplitude de 67,19 à 72,99% de NDT relatado por Ortiz *et al.* (2021). Ressalta-se que, quanto maior for o NDT, melhor será a digestibilidade e, conseqüentemente, o consumo das silagens. Conforme Nussio (1993) o valor energético da silagem está relacionado a proporção de grãos na matéria seca, a recomendação é que a silagem de qualidade deva conter o percentual de 40 à 50% de grãos do total da fração de MS. Observando os dados desta pesquisa, o material ensilado apresentou

proporção de 33,45% de grãos da MS total (Tabela 3), que apesar de estar abaixo do indicado pela literatura, a silagem com essa fração de grãos apresentou teor de NDT considerável.

As silagens produzidas com ureia ou sem aditivo apresentaram valores de digestibilidade *in vitro* da MS (DIVMS) superiores as silagens aditivadas com calcário ou inoculante, com comportamento intermediário para a silagem produzida com açúcar. No entanto, pela análise de contraste, as médias da silagem sem aditivo foram superiores as médias de todos os tratamentos que tiveram adição de aditivos ( $P < 0,01$ ), a adição dos aditivos reduziu a digestibilidade *in vitro*, o que pode ser explicado pelo aumento dos componentes fibrosos. A redução da digestibilidade com a adição dos aditivos citados difere do observado por alguns autores, como Balierio-Neto *et al.* (2007), que observaram aumento da digestibilidade com doses crescentes de óxido de cálcio na silagem de cana-de-açúcar, e por Silva *et al.* (2005), que verificaram maiores valores de DIVMS nas silagens tratadas com inoculante em relação as silagens sem aditivos.

### 3.4 CONCLUSÃO

O uso de aditivos na ensilagem de milho interfere no processo fermentativo e na composição química da silagem. O uso de calcário ou ureia na ensilagem de milho demonstram efeito tamponante, retardam o declínio do pH e aumentam as concentrações de ácido lático, enquanto o inoculante microbiológico eleva a concentração de ácido acético.

O uso de aditivos reduz a formação de ácido butírico no processo fermentativo e o teor de carboidrato não fibroso na silagem, ao passo que o açúcar cristal reduz o teor de ácidos orgânicos e não proporciona alterações significativas na composição química e nutritiva da silagem.

Silagens produzidas sem a inclusão de aditivos apresentam menores concentrações de fibra em detergente ácido ou neutro e maior teor de NDT.

### 3.5 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMARAL, R. C. do; PIRES, A. V.; SUSIN, I.; NUSSIO, L. G.; MENDES, C. Q.; GASTALDELLO JUNIOR, A. L. Cana-de-açúcar ensilada com ou sem aditivos químicos: fermentação e composição química. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 8, p. 1413-1421, 2009.
- AOAC. Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. Official methods of analysis of AOAC International. 16. ed., 1995.
- BALIEIRO NETO, G.; SIQUEIRA, G. R.; REIS, R. A.; NOGUEIRA, J. R.; ROTH, M. de T. P.; ROTH, A. P. de T. P. Óxido de cálcio como aditivo na ensilagem de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 5, p. 1231-1239, 2007.
- BRAVO-MARTINS, C. E. C.; CARNEIRO, H.; CASTRO-GOMÉZ, R. J. H.; FIGUEIREDO, H. C. P.; SCWAN, R. F. Chemical and microbiological evaluation of ensiled sugar cane with different additives. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, p. 499-504, 2006.
- BAYTOK, E.; AKSU, T.; KARSLI, M. A.; MURUZ, H. The effect of formic acid, molasses and inoculant as silage additives on corn composition and ruminal fermentation characteristics in sheep. **Journal of Veterinary Animal Science**, v. 29, p. 469- 474, 2005.
- CARLOTTO, A. H. **Qualidade e perdas fermentativas de silagem de milho (zea mays) tratado com aditivo bacteriano, glicerina bruta e ureia**. 2019. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação Agronomia) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, PR, 2019.
- CARVALHO, F. A. L. D.; QUEIROZ, M. A. Á.; SILVA, J. G. D., VOLTOLINI, T. V. Características fermentativas na ensilagem de cana-de-açúcar com maniçoba. **Ciência Rural**, v. 44, n. 11, p. 2078-2083, 2014
- DANNER, H.; HOLZER, M.; MAYRHUBER, E.; Braun, R. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 69, n.1, p. 562-567, 2003.
- DANTAS, É. E. M. **Palma forrageira como aditivo associada à ureia em silagem de grão de milho**. 2021. 55 F. Dissertação de Mestrado; (Programa de Pós-graduação em Ciência Animal), Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Patos (PB), 2021.
- DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, S. J. W. H. The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. **Veterinary Quarterly**, v. 22, n. 4, p. 212-216, 2000.

EMBRAPA. **Caracterização dos solos em áreas experimentais em grevêlea, no estado do Paraná.** Colombo: Embrapa, 33 p., 2011.

FARIA, T. F. R.; PINESE, F.; GIMENES, F. M. A.; DEMARCHI, J. J. A. A.; CAMPOS, F. P.; PREMAZZI, L. M.; MATTOS, W. T.; GERDES, L. Chemical composition of commercial corn silage produced in Brazil. **Archivos de Zootecnia**, v. 69, n. 265, p. 156-163, 2020.

FERRARI JUNIOR, E.; POSSENTI, R. A.; LIMA, M. L. NOGUEIRA, J.; ANDRADE, J. B. Características, composição química e qualidade de silagens de oito cultivares de milho. **Boletim de Indústria Animal**, v. 62, n. 1, p.19-27, 2005.

FILYA, I.; SUCU, E.; KARABULUT, A. The effect of *Propionibacterium acidipropionici*, with or without *Lactobacillus plantarum*, on the fermentation and aerobic stability of wheat, sorghum and maize silages. **Journal of Applied Microbiology**, v. 97, p. 818-826, 2004.

FLORENTINO, L.; NASCIMENTO, I.; SANTOS, R.; BORCHAT, K.; OLIVEIRA, A.; SILVA, M. Análise das perdas em silagem de cana-de-açúcar submetida a diferentes tipos de aditivos químicos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, p. 22-31, 2020.

GIONBELLI, M.P.; MARCONDES, M.I.; VALADARES FILHO, S.C.; PRADOS, L.F. Exigências nutricionais de minerais para bovinos de corte. In: VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados. **BRCORTE 2 ed.** Viçosa: UFV, 2010. 193p.

GHARECHAH, J.; KHARAZIAN, Z. A.; SARIKHAN, S.; JOUZANI, G. S.; AGHDASI, M.; HOSSEINI SALEKDEH, G. The dynamics of the bacterial communities developed in maize silage. **Microbial Biotechnology**, v. 10, n. 6, p. 1663-1676, 2017.

HEINRICHS, A. J.; KONONOFF, P. J. Evaluating particle size of forages and TMRs using the New Penn State Forage Particle Separator. **Department of Dairy and Animal Science**, The Pennsylvania State University, 2004.

HENDERSON, N. Silage additives. **Animal Feed Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 35-56, 1993.

HUNT, C.W.; KEZAR, W.; HINMAN, D.D. et al. Effects of hybrid and ensiling with and without a microbial inoculant on the nutritional characteristics of whole-plant corn. **Journal Animal Science**, v.71, n.1, p.38-43, 1993.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G.; REIS, R.A.; SCHMIDT, P. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, suplemento especial, p.101-119, 2007.

JOBIM, C. C.; NUSSIO, L. G. Princípios básicos da fermentação na ensilagem. In: REIS, R. A.Ç BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. **Forragicultura – Ciência, tecnologia e gestão de recursos forrageiros.** Jaboticabal: Editora FUNEP, 2013. 714p.

LOPES, J.; EVANGELISTA, A. R. Características bromatológicas, fermentativas e população de leveduras de silagens de cana-de-açúcar acrescidas de ureia e aditivos absorventes de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 5, p. 984-991, 2010.

KHAN, N. A.; CONE, J. W.; FIEVEZ, V.; HENDRIKS, W. H. Causes of variation in fatty acid content and composition in grass and maize silages. **Animal Feed Science and Technology**, v. 174, n. 1-2, p. 36-45, 2012.

KLOSTERMAN, E. W.; MOXON, A. L.; JOHNSON, R. R.; SCOTT, H.W.; STAVERN, J.V. Feeding value for fattening cattle of corn silages treated to increase their content of organic acids. **Journal of Animal Science**, v. 20, n. 3, p. 493-496, 1961.

KOMAREK, A. R. A fiber bag procedure for improved efficiency of fiber analyses. **Journal of Dairy Science**, v. 76, supl. 1, n. 6, p. 250-259, 1993.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; BUCKMASTER, D. R. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 5, p. 1858-1863, 2003.

KOZLOSKI, G. V.; PEROTTONI, J.; CIOCCA, M. L. S.; ROCHA, J. B.T.; RAISER, A. G.; SANCHEZ, L. M. B. Potencial nutritional assessment of dwarf elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Mott) by chemical composition, digestion and net portal flux of oxygen in cattle. **Animal Feed Science Technology**, v. 104, p. 29-40, 2003.

KUNG JR, L.; STOKES, M. R.; LIN, C. J. Silage additives. **Silage Science and technology**, v. 42, p. 305-360, 2003.

KUNG JR, L. Silage fermentation and additives. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 26, n. 3-4, p.61-66, 2018.

KUNG JR, L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHMIDT, R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4020-4033, 2018.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science Technology**, v. 57, p. 347-358, 1996.

LOPES, J; EVANGELISTA, A. R; ROCHA, G. P. Valor nutricional da silagem de cana - de - açúcar acrescida de uréia e aditivos absorventes de umidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 4, p. 1155-1161, 2007.

MARTINS S. C. S. G., CARVALHO G. G. P., PIRES A. J. V., SILVA R. R., LEITE L. C., PEREIRA F. M., MOTA A. D., NICORY I. M. C. E CRUZ C. H. Parâmetros qualitativos de silagens de cana tratadas com ureia e óxido de cálcio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 1135-1144, 2015.

McDONALD, P.; HENDERSON, A.R.; HERON, S. J. E. The biochemistry of silage. 2ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340p.

MELO, M. J. A. F., BACKES, A. A., FAGUNDES, J. L., MELO, M. T., SILVA, G. P.; FREIRE, A. P. L. Características fermentativas e composição química da silagem de capim Tanzânia com aditivos. **Boletim de Indústria Animal**, v. 73, n. 3, p. 189-197, 2016.

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

MUCK, R. E.; NADEAU, E. M. G.; MCALLISTER, T. A.; CONTRERAS-GOVEA, F. E.; SANTOS, M. C.; KUNG JR., L. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 3980-4000, 2018.

NASCIMENTO, T. V. C.; CARVALHO, G. G. P.; FREITAS JUNIOR, J. E.; SOUZA, W. F. Volumosos tratados com aditivos químicos: Valor nutritivo e desempenho de ruminantes. **Archivos de Zootecnia**, v. 65, n. 252, p. 593-604, 2016.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle** 7.ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242p.

NEUMANN, M.; OLIBONI, R.; OLIVEIRA, M. R.; FARIA, M. V.; UENO, R. K.; REINERH, L. L.; DURMAN, T. Chemical additives used in silages. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 3, n. 2, p. 197-207, 2010.

NIU, D. Z.; ZHENG, L.; ZUO, S. S.; JIANG, D. Effects of maize meal and limestone on the fermentation profile and aerobic stability of smooth bromegrass (*Bromus inermis* Leyss) silage. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 3, p. 622-629, 2018.

OLADOSU, Y.; RAFII, M. Y.; ABDULLAH, N.; MAGAJI, U.; HUSSIN, G. RAMLI, A.; MIAH, G. Fermentation quality and additives: a case of rice straw silage. **BioMed Research International**, v. 2016, p. 1-14, 2016.

OLIVEIRA, M. D. S.; SOUZA, B. A. C.; TORRES, R. Composição químico-bromatológica de onze cultivares de milho. **ARS Veterinária**, v. 18, n. 2, p. 158-166, 2002.

ORTIZ, S.; MARTIN, T.; FULANETI, F. S.; VALDOVINO, V. C. Silos experimentais e a composição bromatológica de silagem de milho e sorgo. **Vivências**, v. 17, n. 33, p. 229-242, 2021.

RANJIT, N. K.; TAYLOR, C. C.; KUNG JR, L. Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation, aerobic stability and nutritive value of maize silage. **Grass and Forage Science**, v. 57, n. 2, p. 73-81, 2002.

RIBAS, T. M. B.; NEUMANN, M.; HORST, E. H.; CRISTO, F. B.; JUNIOR, E. S. S.; PONTAROLO, G. B. *et al.* Effect of 11CFT and 11C33 inoculants on the chemical and fermentation composition, and aerobic stability of corn silage during the feed out period. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 395-410, 2021.

ROBERTSON, J. B.; VAN SOEST, P. J. The detergent system of analysis. In: JAMES, W.P.T.; THEANDER, O. (Eds). **The analysis of dietary fibre in food**. Marcel Dekker: New York. 1981. p.123-158.

ROMÃO, C. O.; DE CARVALHO, G. G. P.; TOSTO, M. S. L.; SANTOS, S. A.; PIRES, A. J. V.; MARANHÃO, C. M.; RUFINO, L. M. de A.; CORREIA, G. S.; OLIVEIRA, P.A de.

Nutritional profiles of three genotypes of sugarcane silage associated with calcium oxide. **Grassland Science**, v. 64, n. 1, p. 16-28, 2018. ROSA, C. P.; KUNZ, D. W.; STEFFLER, A. D.; GRELLMAN, D. K.; BACK, P. I. K.; GUERRA, D. Influência do espaçamento de semeadura do milho na produtividade de silagem e grãos no Rio Grande do Sul. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 4, p. 33-42, 2020.

SANTOS, M. C.; NUSSIO, L. G.; MOURÃO, G. B.; SCHMIDT, P.; MARI, L. J.; RIBEIRO, J. L. Influência da utilização de aditivos químicos no perfil da fermentação, no valor nutritivo e nas perdas de silagens de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 9, p.1555-1563, 2008.

SANTOS, M.V. F.; GÓMEZ CASTRO, A.G.; PEREA, J. M. *et al.* Fatores que afetam o valor nutritivo das silagens de forrageiras tropicais. **Archivos de Zootecnia**, v. 59, p. 25-43, 2010.

SANTOS, A. P. M. dos; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S. de; RIBEIRO, O. L.; PERAZZO, A. F.; PINHO, R. M. A.; SILVA MACÊDO, A. J. da; PEREIRA, G. A. Effects of urea addition on the fermentation of sorghum (*Sorghum bicolor*) silage. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2018.

SANTOS, A. P. M. dos; SANTOS, E.M.; ARAÚJO, G. G. L. dos; OLIVEIRA, J. S. d.; ZANINE, A. d. M.; PINHO, R.M.A.; CRUZ, G. F. d. L.; FERREIRA, D. d. J.; PERAZZO, A.F.; PEREIRA, D.M.; SANTOS, F. N. d. S. Effect of inoculation with preactivated *Lactobacillus buchneri* and urea on fermentative profile, aerobic stability and nutritive value in corn silage. **Agriculture**, v. 10, n. 8, p. 1-14, 2020.

SANTOS, A. P. M. dos; SANTOS, E. M.; SILVA DE OLIVEIRA, J.; PINTO DE CARVALHO, G. G.; GARCIA LEAL de ARAÚJO, G.; MOURA ZANINE, A.; MARTINS ARAÚJO PINHO, R.; FERREIRA, D. de J.; DA SILVA MACEDO, A. J.; PEREIRA ALVES, J. Effect of urea on gas and effluent losses, microbial populations, aerobic stability and chemical compositivo of corn (*Zea mays* L.) silage. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo**, v. 53, n. 1, p. 309-319, 2021.

SAS, 2009. SAS INSTITUTE. **SAS/STAT User's Guide: statistics**. 2.ed. Version 9.2, Cary, NC 2009.

SEVERO, I. K.; MÜLLER, S. S.; MISSIO, R. L.; ELEJALDE, D. A.G.; RIEGER, R. D.; MORAES, G. K. de. Corn silage harvested at different heights and addition of microbial and enzymatic inoculant. **Revista de Ciências Agrárias: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 63, p.1-7, 2020.

SILVA, A. V.; PEREIRA, O. G.; GARCIA, R.; VALADARES FILHO, S. D. C.; CECON, P. R.; FERREIRA, C. L. D. L. F. Composição bromatológica e digestibilidade in vitro da matéria seca de silagens de milho e sorgo tratadas com inoculantes microbianos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 6, p. 1881-1890, 2005.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 235p, 2006.

SILVA MACÊDO, A. J.; SANTOS, E. M.; OLIVEIRA, J. S.; PERAZZO, A. F. Produção de silagem na forma de ração à base de palma: Revisão de Literatura. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 18, p. 1-11, 2017.

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, D.J.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, n. 12, p.3562-3577, 1992.

TIAN, P.; VYAS, D. NIU, D.; ZUO, S.; JIANG, D.; XU, CH. Effects of calcium carbonate on the fermentation quality and aerobic stability of total mixed ration silage. **Journal of Animal and Feed Sciences**, v. 29, p. 167-174, 2020.

TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two stage technique for the in vitro digestion of forage crops. **Journal of the British Grass and Society**, v. 18, p. 104-111, 1963.

TOMICH, T. R.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C.; TOMICH, R. G. P.; BORGES, I. **Características para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 20p. (Documentos, 57).

VAN SOEST, P. J. **Nutrition and ecology of the ruminant**. 2 ed., Ithaca: Cornell University Press, 476p., 1994.

WEISS, W. P.; CONRAD, H. R.; St. PIERRE, N.R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v. 39, n. 1-2, p. 95-110, 1992.

WOOLFORD, M. K. **The Silage Fermentation**. Marcel Dekker Inc.: NY, USA; 1984.

YITBAREK, M. B.; TAMIR, B. Silage Additives: Review. **Open Journal of Applied Sciences**, v. 4, n. 5, p. 258-274, 2014.

ZANETTE, P. M.; NEUMANN, M.; FARIA, M.V. FARIA, M. V.; UENO, R. K., MARAFON, F.; DURMAN, T. Valor nutricional e perdas durante a fermentação de silagens de milho (*Zea mays*) com açúcar ou inoculante. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 2, p. 178-189, 2012.



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação proposta permitiu obter mais informações sobre a eficiência do uso de aditivos no processo fermentativo e na qualidade nutricional da silagem de milho. A incorporação dos aditivos na silagem de milho interferiram no processo fermentativo e na composição química e nutricional da silagem. Sendo que:

- A adição de calcário ou ureia proporcionaram maiores valores de pH e teores de ácido láctico e menores valores do ácido butírico.
- O inoculante elevou as concentrações de ácido acético, que possivelmente contribuiu com a estabilidade aeróbica da silagem.
- A adição do açúcar, nível 3,0%, não promoveu alterações relevantes tanto no processo fermentativo como na composição bromatológica da silagem. Pode-se inferir que o açúcar cristal é uma fonte de substrato não atrativa para as bactérias do ácido láctico homofermentativas ou heterofermentativas, pois nestas silagens ocorreu menores concentrações de ácido láctico e acético, e possivelmente menores populações destes microrganismos.
- A ureia pode ser indicada como aditivo proteico, pois proporcionou a elevação do teor de proteína na silagem de milho, porém elevou os teores de nitrogênio amoniacal;
- A silagem sem adição de aditivo apresentou o NDT superior aos demais, o que justifica que a adoção de práticas de manejo à campo e na confecção da silagem (colheita no momento correto, picagem e vedação) garante a ocorrência do processo fermentativo satisfatório com conservação do teor nutritivo.

Sugere-se a continuação da pesquisa avaliando o efeito de tais aditivos na composição microbiológica e na estabilidade aeróbia da silagem. Posteriormente a ampliação da investigação na avaliação no consumo e desempenho animal com a inclusão das silagens aditivadas na dieta. Desta forma, poderiam ser obtidos resultados mais abrangentes para o desenvolvimento de metodologias mais eficientes e de menor custo para que o produtor rural possa utilizar na propriedade.