

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DO PROCESSAMENTO MECÂNICO E TEMPOS DE ESTOCAGEM NO  
VALOR NUTRITIVO DE SILAGENS DE SORGO PLANTA INTEIRA**

MARIA HELENA DE OLIVEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Zootecnia como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Mestre.

BOTUCATU-SP

Janeiro – 2021



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA  
CAMPUS DE BOTUCATU

**EFEITO DO PROCESSAMENTO MECÂNICO E TEMPO DE ESTOCAGEM NO  
VALOR NUTRITIVO DE SILAGENS DE SORGO PLANTA INTEIRA**

MARIA HELENA DE OLIVEIRA  
Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. Ciniro Costa  
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Roberto de Lima Meirelles

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Zootecnia como parte  
das exigências para obtenção do título de  
Mestre.

BOTUCATU-SP  
Janeiro – 2021

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.

O48e Oliveira, Maria Helena de  
Efeito do processamento mecânico e tempos de  
estocagem no valor nutritivo de silagens de sorgo  
planta inteira / Maria Helena de Oliveira. --  
Botucatu, 2021  
49 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual  
Paulista (Unesp), Faculdade de Medicina  
Veterinária e Zootecnia, Botucatu  
Orientador: Ciniro Costa  
Coorientador: Paulo Roberto de Lima Meirelles

1. Sorgo. 2. Silagem. 3. Processamento mecânico.  
4. Dias de  
estocagem. 5. Conservação de plantas forrageiras. I.

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Maria Helena de Oliveira – nascida em 22 de agosto de 1993, na cidade de Laranjal Paulista/SP, filha de Marcelo Valdrighi de Oliveira e Edilene Ponce do Amaral. Iniciou os estudos no ano 2000 no ensino fundamental da escola “E.M. João Salto” do município de Laranjal Paulista/SP e concluiu o ensino médio no “Colégio Criar” localizado no município de Tietê/SP no ano de 2010. Ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras, Câmpus de Lavras, em janeiro de 2014 e graduou-se em dezembro de 2018. Durante a graduação foi bolsista IC/FAPEMIG no período de 2014 – 2015 e atuou como monitora da disciplina “Análise de Alimentos para Animais” no período de 2015 a 2017. De fevereiro de 2017 a janeiro de 2018 realizou estágio curricular obrigatório na propriedade Reynolds Livestock, localizada na cidade de Dodgeville - WI - EUA. Em março de 2019 iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - FMVZ/UNESP - Câmpus de Botucatu, onde foi bolsista pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/Capes. Atua na área de Manejo e Conservação de Plantas Forrageiras.

### **Dedico**

Aos meus pais, Edilene Ponce do Amaral e Marcelo Valdrighi de Oliveira, pelo amor e apoio incondicionais.

Aos meus melhores amigos, meus irmãos Ana Elisa de Oliveira Alho e Marcelo Valdrighi de Oliveira Filho.

Ao meu avô Luiz Ponce do Amaral (*in memoriam*), meu eterno anjo da guarda.

À toda minha família por todo o apoio e torcida.

## AGRADECIMENTOS

À Deus e a todos os amigos espirituais que me acompanham e iluminam meu caminho.

Ao Prof. Dr. Ciniro Costa, por ter aceitado ser meu orientador, pela confiança e pela paciência durante esses 2 anos.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto de Lima Meirelles pela coorientação e apoio na condução das análises deste experimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior/Capes, pela concessão da bolsa de estudo

Ao Dr. André Michel de Castilhos pela enorme contribuição, pela paciência e por sempre se fazer disponível em auxiliar e sanar dúvidas.

Ao PhD Cristiano Magalhães Pariz pela contribuição e conhecimentos transmitidos.

Aos alunos de pós graduação durante meus anos de iniciação científica, PhD Rafael Gomes, PhD Beatriz Carvalho e PhD Tatiane Fernandes. A admiração pelo trabalho de vocês me fez conhecer a beleza da experimentação. Sigo apoiada em vossos ombros, meus gigantes!

Ao amigo/irmão Sillas Mayron, por toda ajuda, conselhos e apoio desde os tempos da graduação. Saudades da rotina nos laboratórios, estudos e comilanças compartilhados.

Ao Claudemir Seisdedos, meu querido “padrinho” e funcionário do Setor de Forragicultura e Pastagens da FMVZ/Unesp – Câmpus de Botucatu. Obrigada pelas conversas, pelo apoio, pelos risos e principalmente pela proteção.

Ao meu namorado Júlio Henrique Pena, por todo o apoio e por ser a tradução das palavras amor, companheirismo, compreensão e respeito.

A amiga Gisele Setznagl, técnica do Laboratório de Bromatologia da FMVZ/Unesp – Câmpus de Botucatu, pela amizade, apoio e auxílio na condução das análises.

Ao amigo Henrique Cordeiro pelo apoio na condução de parte desde experimento.

To the best people I have ever met, Jeremiah, Gayle, Cora, Henry and Gunner Litteral. Thanks for saving me and teaching me about love and empathy. I hope I will see you guys again!

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia: Daniel Martins de Souza, Renata Tardivo, Juliana da Silva Barros, Tiago Gutemberg de Jesus Gomes, Giane Aguiar da Silva e Bruno de Barros da Silva Cardoso; e a todos os estagiários do Setor de Forragicultura e Pastagem da FMVZ/Unesp - Câmpus de Botucatu pela amizade, compreensão e ajuda durante o curso.

A todos os discentes, e funcionários da FMVZ, sem os quais seria impossível a realização deste trabalho.

*O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001*

Gratidão!

"Esquece todo o mal, a justiça é de Deus"

Pelo Espírito Emmanuel

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### CAPÍTULO 2

- Figura 1.** Interação entre processamento e dias de estocagem para proteína bruta. Efeito processamento  $P = 0,80$ ; Efeito dias de estocagem  $P < 0,01$ ; Efeito da interação processamento e dias de estocagem  $P = 0,01$ . \* indica diferença entre processamento no desdobramento do dia ( $P < 0,05$ ). ..... 38
- Figura 2.** Interação entre processamento e dias de estocagem para amido. Efeito processamento  $P = 0,02$ ; Efeito dias de estocagem  $P < 0,01$ ; Efeito da interação processamento e dias de estocagem  $P < 0,01$ . \* indica diferença entre processamento no desdobramento do do dia ( $P < 0,05$ ). ..... 39

**LISTA DE TABELAS****CAPÍTULO 2**

- Tabela 1.** Precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas mensais durante o período experimental e nos últimos 60 anos no município de Botucatu/SP ..... 33
- Tabela 2.** Composição química, parâmetros fermentativos e de perdas durante o processo fermentativo das silagens de acordo com o efeito principal observado para processamento e dias de estocagem do material ..... 37
- Tabela 3.** Percentual de partículas retidas no conjunto de peneiras da Penn State de acordo com o efeito principal observado para processamento e dias de estocagem do material ..... 41

**LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E SÍMBOLOS**

CE	Condutividade elétrica
CNF	Carboidratos não fibrosos
DISMS	Digestibilidade “ <i>in situ</i> ” da matéria seca
DIVMS	Digestibilidade “ <i>in vitro</i> ” da matéria seca
DM	Dry matter
EE	Extrato etéreo
GM	Green matter
IRMS	Índice de recuperação da matéria seca
IVDMD	“ <i>In vitro</i> ” dry matter digestibility
MM	Matéria mineral
MS	Matéria seca
NDT	Nutrientes digestíveis totais
PB	Proteína bruta
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMS	Produtividade de massa seca
PMV	Produtividade de massa verde
PSPS	Penn State Particle Separator

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
CAPÍTULO 1.....	1
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
INTRODUÇÃO .....	2
1.    Ensilagem .....	3
2.    Ensilabilidade de Culturas .....	4
3.    Cultura do Sorgo.....	5
4.    Silagens de Sorgo .....	6
5.    Grãos de sorgo .....	7
6.    Processamento mecânico .....	7
7.    Tempos de estocagem.....	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	10
CAPÍTULO 2.....	17
RESUMO: .....	18
ABSTRACT: .....	19
INTRODUÇÃO .....	20
MATERIAL E MÉTODOS .....	21
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
CONCLUSÃO .....	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
CAPÍTULO 3.....	36
IMPLICAÇÕES .....	36

## **CAPÍTULO 1**

### **CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a ensilagem de forrageiras para a alimentação animal é uma técnica utilizada por produtores rurais desde o final do século XIX. Atualmente, esta prática vem sendo largamente utilizada como reserva de forragem de alto valor nutritivo para utilização em períodos secos, entretanto, sistemas tecnificados de criação de bovinos leiteiros utilizam esta estratégia durante todo o ano, visando fornecer alimento de alto valor nutritivo para o rebanho (BERNARDES; DO RÊGO, 2014), garantindo constância na produção de leite e qualidade do produto final.

Culturas como milho (*Zea Mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) possuem valor nutritivo e ensilabilidade semelhantes (BOLSEN et al., 2003), o que tem contribuído para o aumento do uso de sorgo por produtores rurais. No Brasil, essas duas culturas são as mais utilizadas para a confecção de silagens, com o milho e sorgo ocupando, respectivamente, o primeiro e segundo lugar no ranking das fontes volumosas utilizadas para bovinos leiteiros (BERNARDES; DO RÊGO, 2014) e a primeira e sexta posição para bovinos de corte (PINTO; MILLEN, 2018).

O sorgo é uma cultura anual destacando-se pela adaptação a regiões de baixa precipitação pluviométrica e altas temperaturas (NASIDI et al., 2010), sendo também um excelente substituto ao milho por apresentar menor custo de produção, alto potencial produtivo (McCARY et al., 2020) e maiores teores de proteína bruta no grão (MORAES et al., 2013). Porém, devido ao tamanho reduzido dos grãos de sorgo, uma grande porcentagem pode passar intacta pelo sistema digestório de animais ruminantes (MARTIN; PEEL, 2013), reduzindo seu aproveitamento.

O processamento mecânico de plantas de milho já é uma realidade em inúmeras propriedades, aumentando a disponibilização de amido para a fermentação no silo, bem como no trato digestório do animal, o que reduz a porcentagem de grãos intactos presente nas fezes (FERRARETTO; SHAVER, 2012). Entretanto, devido ao tamanho reduzido dos grãos de sorgo o processamento durante a ensilagem se torna um desafio, uma vez que os equipamentos existentes no mercado são majoritariamente projetados para grãos de milho.

O incremento em digestibilidade de silagens de culturas graníferas processadas se dá pela ruptura do pericarpo e da matriz amido-proteína, que é resultado da redução no tamanho médio de partícula, e aumento da superfície de contato para adesão microbiana (JOHNSON et al., 1999). Além disso, maiores tempos de estocagem tem demonstrado efeito positivo na digestibilidade do material ensilado, resultado da degradação das prolaminas na matrix proteica

do amido do milho (FERNANDES, 2014), e do sorgo (FERNANDES et al., 2020).

## 1. Ensilagem

No Brasil, a ensilagem, quando comparada a fenação, é a prática mais utilizada para preservar as características nutritivas de culturas agrícolas destinadas a alimentação animal (BERNARDES; SIQUEIRA, 2015). Esse processo tem início a partir do corte da planta com consequente ruptura celular e liberação de açúcares (ROTZ; MUCK, 1994; BORREANI et al., 2018). Posteriormente, ocorrerá um processo natural de colonização e fermentação realizado por bactérias lácticas sob condições de anaerobiose (PAHLOW et al., 2003; SCHMIDT, HALL, CHARLEY, 2017), havendo metabolização dos açúcares e produção de ácidos orgânicos com consequente queda do pH da massa ensilada.

O processo de ensilagem, embora pareça simples, envolve um complexo processo bioquímico e microbiológico, dividido didaticamente em 4 fases distintas (WEINBERG; MUCK, 1996), a fase aeróbia, fase de fermentação ativa, fase estável e fase de desabastecimento na abertura do silo.

A fase aeróbia compreende o momento do abastecimento do silo até algumas horas após a vedação. A duração desta fase é extremamente dependente da qualidade da compactação e vedação do silo e perdura até haver total esgotamento do oxigênio da massa pela respiração celular da planta e dos microrganismos aeróbios e anaeróbios facultativos. Nesta fase, as enzimas da planta ainda permanecem ativas devido o pH do meio se encontrar na faixa de 6,0 a 6,5, valor este considerado normal para plantas forrageiras frescas (McDONALD et al., 1991).

A fase de fermentação ativa se inicia com a colonização ou “lag-phase”, fase de curta duração que ocorre poucas horas entre a fase aeróbia e a fase de fermentação ativa (JOBIM; NUSSIO, 2013). É neste período que os microrganismos anaeróbios, principalmente as bactérias lácticas epifíticas se proliferam e dão início a produção de ácidos orgânicos com consequente queda do pH do meio (VAN SOEST, 1994). Essa fase é caracterizada pela ausência de oxigênio, podendo durar de uma a quatro semanas (MUCK; PITT, 1993).

A fase estável é caracterizada por uma baixa atividade de microrganismos, não ocorrendo grandes mudanças desde que a silagem esteja em boas condições de vedação para se manter em anaerobiose. Nesta fase a silagem já se encontra pronta para o consumo animal (JOBIM; NUSSIO, 2013).

A fase de desabastecimento ou fase de alimentação ocorre quando o silo é aberto e parte da massa é novamente exposta ao oxigênio atmosférico, favorecendo o desenvolvimento de

microrganismos aeróbios indesejáveis (DRIEHUIS; OUED ELFERINK, 2000). A deterioração aeróbia no painel do silo é condicionada a uma baixa taxa de desabastecimento do mesmo, e se inicia a partir da colonização da massa por leveduras. Esses microrganismos consomem açúcares e ácidos da fermentação causando aumento de temperatura e do pH (PAHLOW et al., 2003), o que possibilita o desenvolvimento de outras classes de microrganismos deterioradores (McDONALD, 1991) como fungos filamentosos, *Bacillus* e outras bactérias aeróbias.

Inúmeros são os fatores que interferem na condução do processo de ensilagem. Características intrínsecas à planta forrageira como o estágio de maturação, conteúdo de açúcares fermentescíveis, poder tampão e população de bactérias lácticas epifíticas; aliadas ao manejo adequado na ensilagem, como tamanho de partículas, compactação, vedação, e taxa de desabastecimento do silo (DEMARCHI, 2001; FERRARETO, SHAVER, LUCK, 2018), se bem manejados, irão garantir o sucesso da prática.

## 2. Ensilabilidade de Culturas

Características intrínsecas às plantas de milho (*Zea Mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) favorecem a sua conservação na forma de silagem. Ambas culturas possuem valor nutritivo e ensilabilidade semelhantes (BOLSEN et al., 2003), onde, com 30 a 40% de matéria seca (MS), possuem alta concentração de carboidratos solúveis e baixo poder tampão.

A qualidade da silagem sofre influência direta do teor de matéria seca (MS) da planta, que é determinado pelo estágio fisiológico da cultura (ROMERO et al., 2015). Silagens com altos teores de umidade no momento da ensilagem favorecem o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis (AMARAL; NUSSIO, 2011), bem como causa perdas por efluentes, já que compostos como açúcares, nitrogênio, ácidos orgânicos, vitaminas e minerais podem ser lixiviados em conjunto com a água (SCHMIDT, HALL, CHARLEY, 2017). Elevados teores de matéria seca, por sua vez, causam porosidade da massa e dificuldade de compactação (JOBIM et al., 2007), além de proporcionar menor concentração de água para os processos fermentativos no silo (WHITER; KUNG, 2001).

O grau de maturidade da planta no momento do corte, além de influenciar a qualidade do processo fermentativo durante a estocagem também impacta na digestibilidade da fração fibrosa, uma vez que em estádios tardios de maturação a planta apresenta maior lignificação da fração fibrosa, diminuindo a digestibilidade do material (DI MARCO et al., 2002). Em contrapartida haverá maior deposição de amido no grão (McCARY et al., 2020), porém com menor disponibilidade para ser aproveitado pelo animal (FERRARETO; SHAVER, 2012),

cabendo ao nutricionista escolher o ponto que melhor atenda a categoria animal que se deseja alimentar.

O poder tampão, ou capacidade tampão de uma forrageira pode ser elucidado como sendo a sua resistência a variações de pH do meio (referência). A queda do pH durante a ensilagem deve acontecer o mais rápido possível para inibir o crescimento de microrganismos deterioradores diminuindo assim as perdas de matéria seca.

Preconiza-se que a colheita de plantas para ensilagem seja feita após mensuração da matéria seca, entretanto em condições de campo, a mesma pode ser realizada mediante observação visual da linha do leite nos grãos para o milho e por meio do esmagamento dos grãos na palma das mãos, para o sorgo. Os pontos de grão leitoso-farináceo e grão duro, podem ser observados quando após fricção do grão de sorgo contra a palma da mão produzir pouco ou nenhum líquido, respectivamente (GERIK et al., 2015).

### **3. Cultura do Sorgo**

O Sorgo é uma cultura agrícola pertencente à família *Poaceae*, gênero *Sorghum* e espécie *Sorghum bicolor* (L.) Moench. De origem africana, mais especificamente da África Oriental (Etiópia e/ou Sudão) (DE WET, 1967), é uma planta de ciclo fotossintético C<sub>4</sub>, de dia curto e com altas taxas fotossintéticas, tendo sua temperatura ótima de crescimento entre 33 a 34 °C (MAGALHÃES et al., 2008).

Quando comparado a outros cereais, o sorgo se destaca por sua maior resistência a condições de déficit hídrico e altas temperaturas, a qual pode ocorrer por meio de dois mecanismos denominados escape e tolerância (MAGALHÃES et al., 2008). O escape se dá pelo seu sistema radicular profundo e ramificado, extremamente eficaz na captação de água do solo e a tolerância devido ao seu poder de murcha (hiberna) e recuperação após períodos em condições adversas (MAGALHÃES et al., 2008) o que também se deve à superioridade de resposta dos genes de aquaporina nas raízes e folhas da cultura (HASAN et al., 2017).

Existem no mercado inúmeras opções de híbridos de sorgo com aptidões diversas, os quais podem ser granífero, silageiro, vassoura, sacarino, pastejo e biomassa. Os híbridos granífero e silageiro, de porte baixo e médio, respectivamente, são os mais escolhidos para a confecção de silagens por conciliarem bom valor nutritivo e produção de forragem, fato este que se deve ao porte e proporção dos componentes da planta, os quais irão impactar diretamente na qualidade nutritiva do produto final (ZAGO, 2001).

Os híbridos com aptidão para produção de grãos estão se tornando ótimas opções para

a confecção de silagens (YANG et al., 2019; CATTANI et al., 2017; BEHLING NETO et al., 2017; BERNARD; TAO, 2015; COLOMBINI et al., 2012; NEUMANN et al., 2001). Isto ocorre, pois, híbridos com maiores proporções de grãos elevam o valor nutritivo do alimento devido a presença do amido nos grãos (SILVA et al., 2011; KAISER et al., 2004), o que dilui as frações fibrosas da planta e conseqüentemente, aumenta a DIVMS dos materiais (DI MARCO et al., 2009; PESCE et al., 2000; WHITE et al., 1991).

#### **4. Silagens de Sorgo**

A substituição de silagens de milho por silagens de sorgo é uma estratégia utilizada por produtores no Brasil, principalmente em área sujeitas a condições adversas de temperatura e precipitação ou como medida para reduzir os custos com a alimentação, visto que os custos de produção em toneladas por hectare do sorgo são inferiores ao milho. Ambas culturas apresentam ensilabilidade e valor nutritivo semelhantes e a substituição total de silagens de milho por silagens de sorgo pode ser realizada sem causar diminuição na produtividade para vacas leiteiras (YANG et al., 2019; CATTANI et al., 2017; BERNARD; TAO, 2015; COLOMBINI et al., 2012) e novilhos de corte em terminação (NEUMANN et al., 2001).

Behling Neto et al. (2017) e Colombini et al. (2012), avaliando o valor nutritivo de silagem entre o sorgo granífero e o sorgo forrageiro detectaram maior teor da fração fibrosa na silagem de sorgo forrageiro, em comparação ao híbrido granífero, o que é resultado do efeito de diluição causado pela maior participação dos grãos na massa ensilada proveniente do híbrido de aptidão granífera. Além disso, híbridos de aptidão para grãos apresentam porte mais baixo, com menor proporção das frações fibrosas provenientes do colmo e folhas da planta.

O principal entrave na utilização de silagens de sorgo na alimentação animal se dá pela maior taxa de passagem e perda de grãos intactos nas fezes dos animais, devido ao tamanho reduzido dos grãos e também pela maior vitreosidade de seu endosperma periférico (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986), o que dificulta a ação dos microrganismos. O esmagamento por meio de processamento mecânico é uma técnica muito utilizada no intuito de expor o amido presente nos grãos para a fermentação e apresenta comprovada eficácia em melhorar o valor nutritivo de silagens de cereais (JOHNSON et al., 1999), sendo largamente utilizada no milho (OLIVEIRA et al., 2020; HARA; TANIGAWA, 2010, SILVEIRA et al., 2014; KOZAKAI et al., 2007) e pouco explorada no sorgo (JOHNSON et al., 2017; HERRERA-SALDANA et al., 1990; McALLISTER et al., 1990).

## 5. Grãos de sorgo

Os grãos de sorgo são compostos por três estruturas físicas, o pericarpo, endosperma e gérmen. O pericarpo é a camada mais externa do grão e sua função é agir como um revestimento protetor do endosperma e do gérmen. O endosperma é o sítio onde o amido fica localizado e pode ser dividido em dois tipos, o farináceo e o vítreo, e o gérmen é a fração mais interna correspondendo a estrutura germinativa da semente (ROONEY; SERNA-SALDIVAR, 1991).

O endosperma do grão de sorgo é constituído por amido organizado na forma de grânulos (ECKHOFF; PAULSEN, 1996), e perfaz cerca de 70% de seu peso seco de amido (SANG et al., 2008). A diferença entre os tipos de endosperma, vítreo ou farináceo se dá pela diferença na ligação das proteínas (kafirinas) aos grânulos de amido, as quais são fortemente ligadas no endosperma vítreo e fracamente ligadas no endosperma farináceo (SHULL et al., 1990), o que facilita o ataque microbiano e conseqüentemente a digestibilidade do material.

As kafirinas são prolaminas, proteínas de reserva correspondente às zeínas do milho, com função de reserva de nitrogênio para os cereais. Ambas proteínas são hidrofóbicas e apresentam alta resistência a digestão, entretanto, no sorgo esta é mais acentuada (HOLDING, 2014), devido a menor digestibilidade de proteínas que circundam seu endosperma periférico (ROONEY; PFLUGFELDER, 1986). Além disso, no sorgo a presença de taninos também é um fator limitante, pois este componente existe em maiores concentrações nos grãos. De acordo com Magalhães et al. (1997) os taninos se ligam fortemente a proteínas, celulose, amido e minerais, reduzindo o consumo e digestibilidade do alimento e diminuindo o desempenho animal (BARROS et al., 2012; MOLINA et al., 2003).

## 6. Processamento mecânico

O processamento mecânico visando a quebra dos grãos de silagens de planta inteira de cereais tem sido utilizado na intenção de promover maior qualidade de silagens, as quais são ensiladas mais facilmente e apresentam maior grau de digestibilidade do amido e das fibras no produto final (JOHNSON et al., 1999). Moagem, quebra e laminação de grãos são técnicas de processamento de baixo custo, podendo ser realizadas em nível de campo (LOPES, 2016).

Na literatura existe um grande número de trabalhos que apontam a efetividade do processamento mecânico em promover incremento do valor nutritivo de silagens de planta inteira de milho (OLIVEIRA et al., 2020; SILVEIRA et al., 2014, FERRARETTO; SHAVER, 2012; HARA; TANIGAWA, 2010; KOZAKAI et al., 2007; JOHNSON et al., 1999). O

processamento mecânico promove maior facilidade de compactação e expulsão de ar na massa, fazendo com que o processo fermentativo inicie rapidamente. Além disso, devido a exposição dos grânulos de amido causado pelo esmagamento, a quebra das prolaminas por ação de enzimas microbianas resulta maior degradação ruminal do amido (HOFFMAN et al., 2011; JOHNSON et al., 1999) e da fibra (JOHNSON et al., 1999).

Em silagens de milho, o processamento mecânico também é uma ótima estratégia para melhorar a digestibilidade da silagem colhidas em estágio de maturidade avançado (OLIVEIRA et al., 2020; JOHNSON et al., 1999). Aumentando a janela de colheita do material para um ponto onde haverá maior deposição de amido no grão.

A quebra e exposição do amido dos grãos aumenta a digestibilidade do amido no rúmen e no trato posterior, sendo o grau de digestibilidade inversamente proporcional ao grau de processamento do mesmo (DIAS JUNIOR et al., 2016). Trabalhos como o de Herrera-Saldana et al. (1990) e McAllister et al. (1990) demonstraram que taxa de degradação do sorgo é menor em comparação com grãos de outros cereais como milho, trigo, cevada e aveia, sendo também a razão pela qual o sorgo é o cereal mais responsivo ao processamento (THEURER, 1986). McAllister et al. (1990) avaliaram a degradabilidade “*in situ*” da MS (DISMS) de grãos de cevada, milho, sorgo e trigo, os quais foram deixados inteiros ou cortados pela metade. Depois de 48 h de incubação, os grãos íntegros foram praticamente indigestíveis, apresentando médias de 11, 14, 19 e 23% de DISMS, respectivamente para cevada, milho, sorgo e trigo. Já os grãos cortados pela metade apresentaram, respectivamente 50, 31, 25 e 13% DISMS após 12 h de incubação.

Grãos de sorgo por serem mais indigestíveis devem ser submetidos a algum tipo de processamento mecânico (HERRERA-SALDANA et al., 1990; McALLISTER et al., 1990), entretanto, processar os grãos contidos em silagens de planta inteira de sorgo é um desafio em nível de campo (McCARY et al., 2020), principalmente no Brasil, onde 90,4% dos produtores ainda realizam a colheita com o auxílio de colhedoras tracionadas por trator (BERNARDES; DO RÊGO, 2014), as quais não são dotadas de rolos processadores tipo cracker.

## **7. Tempos de estocagem**

Uma das premissas básicas da conservação de forragens é que, após a ensilagem o silo seja mantido fechado por no mínimo 4 semanas, e que após esse período o processo fermentativo já esteja estável. Entretanto, estudos mais recentes tem relatado o incremento em digestibilidade do amido que ocorre quando silagens de milho são submetidas a períodos de estocagem mais

duradouros (SALVATI, 2019; DER BEDROSIAN et al., 2012; HOFFMAN et al., 2011). Isso ocorre pois durante a estocagem do material enzimas microbianas atuam na quebra das prolaminas o que possibilita maior degradação ruminal do amido (HOFFMAN et al., 2011).

Junges et al. (2017), avaliando silagens de grão úmido de milho e milho reidratado esiladas por 90 dias, testaram a contribuição de enzimas, bactérias, fungos e ácidos orgânicos em solubilizar a matriz protéica durante o processo de estocagem do material. Para os autores a contribuição de cada fator é 60, 30, 5 e 5 % para atividade bacteriana, enzimas presentes nos grãos, fungos e ácidos orgânicos, respectivamente.

Der Bedrosian et al. (2012), ensilaram híbridos de milho com 32 e 41% MS por 0, 45, 90, 180, 270 e 360 dias e observaram que a digestibilidade “*in vitro*” do amido aumentou em função do aumento dos dias de estocagem. Os autores não constataram nenhuma alteração na concentração de FDN e FDA, o que contrasta com os resultados de Herrmann et al. (2011), que reportaram teores de 42,7 e 36,9% FDN respectivamente para a forragem fresca e para silagens estocadas por 365 dias.

Salvatti (2019) avaliou silagens de planta inteira de milho de endosperma duro (Flint) com tamanhos de partícula de 3, 6 e 9 mm; e 6, 12 e 18 mm por meio de colhedoras tracionadas por trator e autopropelidas, respectivamente. As silagens foram estocadas por 0, 35 e 140 dias e o resultado observado foi redução do tamanho de partícula dos grãos nas silagens de planta inteira colhidas por ambas colhedoras em função de maiores tempos de estocagem.

Para silagens de sorgo, Fernandes et al. (2020) observaram aumento linear na digestibilidade “*in situ*” do amido de silagens de sorgo forrageiro e sorgo sudão ao aumentar o tempo de estocagem de 15 para 90 dias. Robison (2018) também observou efeito positivo do aumento do tempo de estocagem na digestibilidade de silagens de sorgo forrageiro. Entretanto o autor avaliou o sorgo em 2 estádios de maturação do grão (farináceo e duro), submetidos ou não ao processamento mecânico dos grãos e em 4 tempos de estocagem (0, 30, 60, 120), constatando aumento na digestibilidade “*in situ*” da PB e do amido com o aumento dos dias de estocagem do material.

## **8. Perspectivas de estudo**

O aumento da digestibilidade da silagem por meio de práticas de manejo, como seleção de híbridos, processamento de grãos e longos períodos de estocagem têm sido amplamente estudado no milho, entretanto, são escassos na literatura dados sobre a aplicação destas técnicas em silagens de sorgo.

Nossa hipótese é de que o processamento de grãos aliado ao avanço dos dias em anaerobiose resultará em silagens mais nutritivas por apresentarem maior digestibilidade do amido. Por essa razão, o objetivo deste trabalho foi avaliar a efetividade do processamento mecânico e dias de estocagem no valor nutritivo de silagens de planta inteira de sorgo granífero. Para isso, foram avaliadas silagens de sorgo de planta inteira submetidos ou não ao processamento mecânico antes da estocagem e estocados por cinco períodos ao longo do tempo, 35, 70, 105, 140 e 175 dias.

A presente pesquisa resultará no capítulo 2, intitulado “**Efeito do processamento mecânico e tempos de estocagem no valor nutritivo de silagens de planta inteira de sorgo**”, o qual será submetido à revista “**Acta Scientiarum - Agronomy**”, conforme as suas regras de publicação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, R. C.; NUSSIO, L.G. **Fungos e micotoxinas em silagens**. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2011, Maringá. Anais... Maringá: Ed. Sthampa, p. 221-250. 2011.

AMON, I. **Crop production in dry regions**. Vol. II: Systematic treatment of the principle crops. Barnes & Noble Books, New York. 1972.

BARROS, F.; AWIKA, J. M.; ROONEY, L.W. Interaction of tannins and other sorghum phenolic compounds with starch and effects on in vitro starch digestibility. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 46, p. 11609-11617, 2012.

BEHLING NETO, A.; REIS, R. H. P. D.; CABRAL, L. D. S.; ABREU, J. G. D.; SOUSA, D. D. P.; SOUSA, F. G. D. Nutritional value of sorghum silage of different purposes. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 41, n. 3, p. 288-299, 2017.

BERNARD, J. K.; TAO, S. Production response of lactating dairy cows to brachytic forage sorghum silage compared with corn silage from first or second harvest. **Journal of dairy science**, v. 98, n. 12, p. 8994-9000, 2015.

BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R.; **Silage Management practices in Brazilian beef production systems**. In: IX Simpósio de Pecuária de Corte, 2015, Lavras. Anais...Lavras: Ed. UFLA. p.79-90, 2015.

BERNARDES, T. F.; RÊGO, A. C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 97, p. 1852-1861, 2014.

BOLSEN, K. K.; MOORE, K. J.; COBLENTZ; W. K.; SIEFERS, M. K.; WHITE, J. S. Sorghum silage. **Silage science and technology**, v. 42, p. 609-632, 2003.

BORREANI, G.; TABBACO, E.; SCHMIDT, R. J.; HOLMES, B. J.; MUCK, R. E. Silage

review: Factors affecting dry matter and quality losses in silage. **Journal of Dairy Science**. Vol. 101 No. 5, p. 3952-3979, 2018.

CATTANI, M.; GUZZO, N.; MANTOVANI, R.; BAILONI, L. Effects of total replacement of corn silage with sorghum silage on milk yield, composition, and quality. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 8, n. 1, p. 15, 2017.

COLOMBINI, S.; GALASSI, G.; CROVETTO, G. M.; RAPETTI, L. Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 8, p. 4457-4467, 2012.

DEMARCHI, J. J. A. A. **Distribuição espacial das características físico-químicas e da microbiota fúngica de silagem de milho (*Zea mays*) armazenada em silos tipo trincheira**. Rio Claro, SP:2001.92 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas - Microbiologia Aplicada). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista / UNESP, 2001.

DER BEDROSIAN, M. C.; NESTOR JR, K. E.; KUNG JR, L. The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. **Journal of dairy science**, v. 95, n. 9, p. 5115-5126, 2012.

DE WET, Jan MJ; HUCKABAY, J. P. The origin of Sorghum bicolor. II. Distribution and domestication. **Evolution**, v. 21, n. 4, p. 787-802, 1967.

DI MARCO, O. N.; AELLO, M. S.; NOMEDEU, M.; VAN HOUTTE, S. Effect of maize crop maturity on silage chemical composition and digestibility (in vivo, in situ and in vitro). **Animal Feed Science and Technology**, v. 99, n. 1-4, p. 37-43, 2002.

DI MARCO, O. N.; RESSIA, M. A.; ARIAS, S.; AELLO, M. S.; ARZADÚN, M. Digestibility of forage silages from grain, sweet and bmr sorghum types: Comparison of in vivo, in situ and in vitro data. **Animal Feed Science and Technology**, v. 153, n. 3-4, p. 161-168, 2009.

DIAS JUNIOR, G. S.; FERRARETO, L.F.; SALVATI, G.G.S.; RESENDE, L.C.; HOFFMAN, P.C.; PEREIRA, M.N.; SHAVER, R.D. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. *Journal of dairy science*, v. 99, n. 4, p. 2719-2729, 2016.

DRIEHUIS, F.; WILKINSON, J.M.; OGUNADE, I.; ADESOGAN, A.T. **Silage review: Animal and human health risks from silage**. *Journal of Dairy Science*. v.101, n. 5, p. 4093-4110, 2018.

DRIEHUIS, F.; OUDE ELFERINK, S.J. The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. **Vet. Q.**v.22.p.212–216, 2000.

DUARTE, J.O. Cultivo do sorgo: Mercado e comercialização. **Sistemas de produção 2** EMBRAPA, 2010.

ECKHOFF, S. R.; PAULSEN, M. R. Maize. In HENRY, R. J. KETTLEWELL, P. S. (Ed.). *Cereal grain quality*. London:Chapman & Hall, v.3, p. 77-89, 1996.

FERNANDES, T.; PAULA, E. M.; SULTANA, H.; FERRARETTO, L. F. Influence of sorghum cultivar, ensiling storage length, and microbial inoculation on fermentation profile, N fractions, ruminal in situ starch disappearance and aerobic stability of whole-plant sorghum silage. **Animal Feed Science and Technology**, p. 114535, 2020.

FERNANDES, J. Influência de genótipo, maturidade e tempo de armazenamento na qualidade de silagens de grãos de milho com alta umidade. 2014. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2014.

FERRARETTO, L.F.; SHAVER, R.D.; LUCK, B.D. **Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting**. *Journal of Dairy Science*. v.101, n.5, p. 3937 – 3951, 2018.

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **The Professional Animal Scientist**, v. 28, n. 2, p. 141-149, 2012.

GERIK, T., B. BEAN, AND R. VANDERLIP. **Sorghum growth and development**. Texas Cooperative Extension. Acessado: 10/07/2020. <http://glasscock.agrilife.org/files/2015/05/Sorghum-Growth-and-Development.pdf>.

HARA, S.; TANIGAWA, T. Effects of length of cut and mechanical processing on utilization of corn silage harvested at the black line stage of maturity by lactating dairy cows. **Animal Science Journal**, v. 81, n. 2, p. 187-193, 2010.

HASAN, S. A.; RABEI, S. H.; NADA, R. M.; ABOGADALLAH, G. M. Water use efficiency in the drought-stressed sorghum and maize in relation to expression of aquaporin genes. **Biologia plantarum**, v. 61, n. 1, p. 127-137, 2017.

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

HERRERA-SALDANA, R. E.; HUBER, J. T.; POORE, M. H. Dry Matter, Crude Protein, and Starch Degradability of Five Cereal Grains. **Journal of Dairy Science**. v.73, n.9, p.2386-2393, 1990.

HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; IDLER, C. Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. **Bioresource technology**, v. 102, n. 8, p. 5153-5161, 2011.

HOFFMAN, P. C. et al. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science*, v. 94, n. 5, p. 2465–2474, 2011.

HOLDING, D. R. Recent advances in the study of prolamin storage protein organization and function. **Frontiers in plant science**, v. 5, n. June, p. 276, 2014.

HOUSE, L.R. 1995. **Sorghum and millets: History, taxonomy, and distribution**. p. 1-10. In D.A.V. Dendy (ed.) *Sorghum and millets: Chemistry and technology*. Am. Assoc. Cereal Chemists, SI. Paul, MN. 1995.

JOBIM, C.C.; NUSSIO, L.G. Princípios Básicos da Fermentação na Ensilagem. In: REIS, R. A.; BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G. R. (Ed.) **Forragicultura, Ciência tecnologia e gestão dos recursos forrageiros**. Jaboticabal, SP: Maria de Lurdes Brandel., p. 649- 660, 2013.

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, p. 101-119, 2007.

JOHNSON, J. R.; GOESER, J. P.; BROUK, Michael. Development of a Berry Processing Score for Sorghum Silage and Assessment of Processing Effects on Sorghum Silage Starch Digestibility. **Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports**, v. 3, n. 8, p. 9, 2017.

JOHNSON, L.; HARRISON, J. H.; HUNT, C.; SHINNERS, K.; DOGGETT, C.G.; SAPIENZA, D. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. **Journal of dairy science**, v. 82, n. 12, p. 2813-2825, 1999.

JUNGES, D.; MORAES, G.; SPOTO, M.H.F.; SANTOS, P.S; ADESOGAN, A.T.; NUSIO, L.G.; DANIEL, J.L.P. Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. **Journal of dairy science**, v. 100, n. 11, p. 9048-9051, 2017.

KAISER, A.G; PLITZ, J.W.; BURNS, H.M.; GRIFFITHS, N.W. Successful Silage. Dairy Australia NSW Department of Primary Industries, 468p. 2004.

KOZAKAI, K.; NAKAMURA, T.; KOBAYASHI, I.; TANIGAWA, T.; OSAKA, I.; KAWAMOTO, S.; HARA, S. Effect of mechanical processing of corn silage on in vitro ruminal fermentation, and in situ bacterial colonization and dry matter degradation. **Canadian journal of animal science**, v. 87, n. 2, p. 259-267, 2007.

LOPES, N. M. **Efeito de enzimas sobre a digestibilidade ruminal da silagem do grão de milho reidratado**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras, 2016.

MAGALHÃES, P.C.; DURÃES, F.O.M.; RODRIGUES, J. A. S. Cultivo do milho: Ecofisiologia. **Embrapa Milho e Sorgo**. Sistemas de Produção. versão eletrônica. 4ª Ed. ISSN1679-012X. 2008. Disponível em: [http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_4ed/manejomilho.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_4ed/manejomilho.htm) Acesso em 11/12/2011.

MAGALHÃES, P. C.; RODRIGUES, W. A.; DURÃES, FREDERICO, O.M. Tanino no grão de sorgo: bases fisiológicas e métodos de determinação. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica** (INFOTECA-E), 1997.

MARTIN, S.; K. PEEL. Using grain and forage sorghum in dairy rations in an environment of limited water resources. <http://lalfa.ucdavis.edu/symposium/proceedings/2013/13WAS-17MartinSorghumStarch.pdf>. 2013. Acessado: 15/10/2020.

McALLISTER, T. A.; RODE, L. M.; MAJOR, D. J.; CHENG, K. J.; BUCHANAN-SMITH, J. G. Effect of ruminal microbial colonization on cereal grain digestion. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 70, n. 2, p. 571-579, 1990.

McCARY, C. L.; VYAS, D.; FACIOLA, A. P.; FERRARETTO, L. F. Graduate Student Literature Review: Current perspectives on whole-plant sorghum silage production and utilization by lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 2020.

McDONALD, P.; HENDERSON, N.; HERON, S. **The biochemistry of silage**. Marlow Bucks: Chalcombe Publications, 340 p. 1991.

MOLINA, L. R.; RODRIGUEZ, N. M.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; SOUSA, B. M. Efeito do tanino na degradabilidade in situ da matéria seca e da proteína bruta de seis genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) ensilados no estágio de grão pastoso. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, n. 2, p. 203-208, 2003.

MORAES, S. D. D.; JOBIM, C. C.; SILVA, M. S. D.; MARQUARDT, F. I. Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 4, p. 624-634, 2013.

MUCK, R. E.; PITT, R.E. **Ensiling and its effect on crop quality silage**. In: SILAGE PRODUCTION FROM SEED TO ANIMAL, 67, 1993. New York. Proceedings. New York:NRAES, p.57-66, 1993.

NASIDI, M.; AKUNNA, J.; DEENI, Y.; BLACKWOOD, D.; WALKER, G. Bioethanol in Nigeria: comparative analysis of sugarcane and sweet sorghum as feedstock sources. **Energy & Environmental Science**, v. 3, n. 10, p. 1447-1457, 2010.

NEUMANN, M., et al. Avaliação da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) por meio do desempenho de novilhos de corte confinados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 30, n. 6, p. 2099-2109, 2001.

OLIVEIRA, M. H; COSTA, C.; PARIZ, C.M.; MEIRELLES, P.R.L.; ANDREOTTI, M.; CASTILHOS, A.M.; SOUZA, D.M; ULIAN, N.A. Yield and Nutritive Value of Mechanically Processed Corn Silage from An Integrated Crop-Livestock System. **Semina Ciências Agrárias...aceito pra publicação**. 2020.

OWENS, F.; ZINN, R. A.; KIM, Y. K. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. **Journal of animal science**, v. 63, n. 5, p. 1634-1648, 1986.

PAHLOW, G; MUCK, R.E.; DRIEHUIS, F. et al. Microbiology of ensiling. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H (Eds). **Silage Science and Technology**. 1 ed. Madison: American Society of Agronomy.p. 31-94, 2003.

PESCE, D. M. C.; GONCALVES, L. C.; RODRIGUES, N. M.; BORGES, I.; RODRIGUES, J. A. S. Percentage and loss of dry matter and in vitro dry matter digestibility of 20 sorghum genotypes silages. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 52, n. 3, p. 250-255, 2000.

PINTO, A. C.; MILLEN, D. D. Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. **Canadian Journal of Animal Science**, v. 99, n. 2, p. 392-407, 2018.

ROBISON, C. A. **Management Impacts on Sorghum Silage Ruminant Digestibility** 2018. 79

p. Tese de Doutorado. West Texas A&M University, Canyon, 2018.

ROMERO, J. J., CASTILLO, M; BURNS, J.C. Forage conservation techniques: silage and haylage production. NC State Extension. Acessado: 02/10/2020. <https://content.ces.ncsu.edu/forage-conservation-techniques-silage-and-haylage-production>. 2015.

ROONEY, L. W.; PFLUGFELDER, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, Champaing, v.63 p. 1607-1623, 1986.

ROONEY, L. W.; SERNA-SALDIVAR, S. O. **Sorghum**, in **Handbook of Cereal Science Thechnology** (eds K.J. LORENZ; K. KULP), Marcel Dekker, New York, NY, p 233-270, 1991.

ROTZ, C. A.; MUCK, R. E. Changes in forage quality during harvest and storage. In: FAHEY JR, G.; COLLINS, M. **Forage quality, evaluation, and utilization**, p. 828-868, 1994.

SALVATI, G. G. S. **Strategies to improve kernel processing and dairy cow performance in whole-plant corn silage based on vitreous endosperm hybrid**. 2019. 87 p. Tese. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2019.

SANG, Y.; BEAN, S.; SEIB, P. A.; PEDERSEN, J.; SHI, Y. C. Structure and functional properties of sorghum starches differing in amylose content. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 15, p. 6680-6685, 2008.

SCHMIDT, R. J.; HALL, T.; CHARLEY, R. C. **The pickle of high-acetic acid silages**. Acessado: 22/09/2020 <https://www.progressivedairy.com/topics/feed-nutrition/the-pickle-of-high-acetic-acid-silages>. 2017.

SHULL, J.M.; CHANDRASHEKAR, A.; KIRLEIS, A.W.; EJETA, G. Development of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] endosperm in varieties of varying hardness. **Food Struct.**, v.9, p.253-267, 1990.

SILVA, T. C.; SANTOS, E. M.; AZEVEDO, J. A. G.; EDVAN, R. L.; PERAZZO, A. F.; PINHO, R. M. A. Agronomic divergence of sorghum hybrids for silage yield in the semiarid region of Paraiba. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 9, p. 1886-1893, 2011.

SILVEIRA, T. F.; JÚNIOR, G. N.; SILVEIRA, J. P. F.; COSTA, C. Desempenho produtivo de novilhos Nelore confinados alimentados com silagem de milho processada. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 1, p. 39-46, 2014.

THEURER, C. Brent. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 5, p. 1649-1662, 1986.

VAN SOEST, P. J. Nutritional ecology of the ruminant. New York: Cornell University Press. 476 p.1994

WEINBERG, Z. G.; MUCK, R. E. New trends and opportunities in the development and use

of inoculants for silage. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 19, n. 1, p. 53-68. 1996.

WHITE, J.S.; BOLSEN, K.K.; POSLER, G.; NEILL, J.W. Forage sorghum silage dry matter disappearance as influenced by plant part proportion. **Animal Feed Science and Technology**, v.33, n.3, p.313-322, 1991.

WHITER, A. G.; KUNG JR, L. The effect of a dry or liquid application of *Lactobacillus plantarum* MTD1 on the fermentation of alfalfa silage. **Journal of dairy science**, v. 84, n. 10, p. 2195-2202, 2001.

WILKINSON, J.M.; BOLSEN, K.K.; LIN, C.L. History of silage. In: BUXTON, D.R.; MUCK, R.E.; HARRISON, J.H. **Silage science and technology**. Madison: ASA, CSSA, SSSA. p.1-30 (Agronomy, 42). 2003.

YANG, Y.; FERREIRA, G.; CORL, B. A.; CAMPBELL, B. T. Production performance, nutrient digestibility, and milk fatty acid profile of lactating dairy cows fed corn silage-or sorghum silage-based diets with and without xylanase supplementation. **Journal of dairy science**, v. 102, n. 3, p. 2266-2274, 2019.

ZAGO, C. P. Silagem de sorgo de alto valor nutritivo. In: CRUZ, J. C., PEREIRA FILHO, I. A. RODRIGUES, J. A. S., FERREIRA, J. J. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo**, p. 519-544, 2001.

## **CAPÍTULO 2**

O Capítulo 2 redigido conforme as normas da revista “Acta Scientiarum – Agronomy” com exceção do idioma.

## **EFEITO DO PROCESSAMENTO MECÂNICO E TEMPOS DE ESTOCAGEM NO VALOR NUTRITIVO DE SILAGENS DE SORGO PLANTA INTEIRA**

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do processamento mecânico na massa de forragem antes da ensilagem, bem como maiores tempos de estocagem de silagens de híbrido granífero de sorgo. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições, em esquema fatorial 2x5, sendo duas silagens de sorgo (com e sem processamento) e cinco tempos de estocagem (35, 70, 105, 140, 175 dias). O processamento mecânico foi realizado com rolos processadores lisos, que girando em sentido contrário proporcionaram o esmagamento da massa. A produtividade da cultura foi de 28 t MV ha<sup>-1</sup> e 11,9 t MS ha<sup>-1</sup>, demonstrando bom potencial produtivo e de diluição dos custos de produção. A contribuição dos componentes da planta colmo, folhas e panícula, foram de 9; 4,2 e 14 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A maior participação dos grãos da panícula das plantas e atraso na colheita resultou em maiores teores de MS (média 42%) no estágio farináceo-duro dos grãos, momento do corte. O processamento mecânico antes da ensilagem promoveu quebra dos grãos e causou incremento nos teores de amido das silagens, diluindo as concentrações de FDN e FDA, as quais apresentaram redução ( $P < 0,01$ ) com uso do processamento, resultando em aumento linear para NDT. O aumento dos dias de estocagem dos materiais promoveu redução das concentrações de PB e aumento do N-NH<sub>3</sub> ( $P < 0,01$ ). Os valores de pH reduziram com os dias de estocagem ( $P < 0,01$ ), apresentando médias de 3,9. As silagens submetidas ao processamento mecânico apresentaram os melhores valores para amido, FDN e FDA, resultado do esmagamento dos grãos e diluição das frações fibrosas do material. O aumento dos dias de estocagem do material resultou em silagem com melhores valores de amido e NDT além de promover redução do tamanho teórico de partículas dos materiais ensilados.

**Palavras chave:** conservação de forragem, esmagamento, sorgo granífero.

## **EFFECT OF MECHANICAL PROCESSING AND STORAGE LENGTH ON THE NUTRITIVE VALUE OF WHOLE-PLANT SORGHUM SILAGE**

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the influence of the mechanical processing of the forage mass before ensiling, as well as the length of storage for grain sorghum silages. The experimental design was completely randomized, with three replications, in a 2x5 factorial scheme, two sorghum silages (processed or not) and five storage lengths for the ensiled materials (35, 70, 105, 140, 175 days). The processed treatment was done by processor rolls which by turning in the opposite direction provided the crushing of the forage mass before ensiling. The crop productivity was 28 t GM ha<sup>-1</sup> and 12 t DM ha<sup>-1</sup>, assuring high yields and dilution of production costs. The contribution of the plant components stem, leaves and panicle was 9; 4.2 and 14 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The high percentage of grains in the panicle of the plants and delay of harvesting resulted in higher levels of DM (42%) at the time of cutting. Mechanical processing before ensiling was significant (P<0,05) in promoting grain breakage, resulting in an increase in starch and TDN content in silages and thus reducing the NDF and ADF concentrations, which also had an effect (P <0.05) for processing. The increase in storage length of the materials resulted in a reduction in the concentrations of PB and an increase in N-NH<sub>3</sub>. The pH lowered as a function of for storage length (P <0.01), means of 3.9. The silages mechanically processed showed the best values for Starch, NDF and ADF, due to the kernel breakage and dilution of the fibrous contents of the material. Storage length linearly improved starch and TDN contents and reduced the theoretical particle mean of the ensiled materials.

**Key Words:** forage conservation, grain sorghum, squeeze.

## INTRODUÇÃO

A utilização de silagens de sorgo em substituição a silagem de milho na alimentação de animais ruminantes está em expansão, o que se deve principalmente aos híbridos existentes no mercado brasileiro, que combinam alta produtividade com altas proporções de panículas (Perazzo et al., 2017). O interesse na cultura se deu primeiramente em razão do seu alto potencial produtivo e resistência a baixa precipitação pluviométrica e fertilidade do solo, quando comparada com o milho, o que ocorre devido a diferença na expressão de genes relacionados ao controle da utilização de água nas folhas e raízes do sorgo (Hasan, Rabei, Nada, & Abogadallah, 2017).

A inclusão dessa fonte volumosa na dieta de animais de alta exigência é uma realidade no cenário brasileiro, sendo a segunda fonte mais utilizada na alimentação de vacas leiteiras (Bernardes & Do Rêgo, 2014), e a sexta para bovinos de corte (Pinto & Millen, 2018). Uma série de estudos tem mostrado a preferência de híbridos graníferos de sorgo para a ensilagem (Behling Neto et al., 2017; Silva et al., 2011; Skonieski et al., 2010; Nascimento et al., 2008). Visto que estes apresentam altas proporções de panícula na planta, gerando silagens de elevado valor energético em comparação com outros materiais genéticos. Entretanto, devido ao tamanho reduzido e maior vitreosidade do endosperma periférico do grão, este apresenta alta taxa de passagem no trato digestivo, sendo frequentemente encontrados intactos nas fezes dos animais.

O incremento em digestibilidade de silagens de culturas graníferas processadas se dá pela ruptura do pericarpo e da matriz amido-proteína, que é resultado da redução no tamanho médio de partícula, e aumento da superfície de contato para adesão microbiana (Hoffman et al., 2011). O processamento mecânico de plantas de milho já é uma realidade em inúmeras propriedades, aumentando a disponibilização de amido para a fermentação no silo, bem como no trato digestório do animal, por mudar o sítio de degradação do intestino delgado para o rúmen de animais ruminantes. Além disso, maiores tempos de estocagem tem demonstrado efeito positivo na digestibilidade do sorgo (Fernades, Paula, Sultana & Ferraretto, 2020), resultado da maior degradação das prolaminas na matriz proteica.

Neste contexto, a literatura carece de experimentos que avaliem a qualidade de silagens de sorgo processadas e armazenadas por maiores períodos em anaerobiose, para que dessa forma seja possível mensurar o grau de efetividades destas práticas.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Setor de Forragicultura da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia FMVZ/UNESP – Câmpus de Botucatu/SP (22°51'01" S e 48°25'28" W, com altitude de 777 metros). A área experimental é constituída por solo tipo Latossolo Vermelho distrófico (Santos et al., 2006) com 280; 90 e 630 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa (tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso). Os dados Climáticos e de precipitação pluviométrica ocorridos no período experimental foram aferidos diariamente pela Estação Meteorológica do Setor de Climatologia da FCA localizada na Fazenda Experimental Lageado e estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas mensais durante o período experimental e nos últimos 60 anos no município de Botucatu/SP

Características climáticas	Meses					
	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.
	2018 - 2019					
Precipitação, mm	151	169	236	200	87	1,3
Temperatura máxima, °C	29,8	31,4	28,5	28,2	27,4	25,3
Temperatura mínima, °C	19,2	20,7	19,6	19,1	13,7	16,5
	Média a longo prazo (60 anos)					
Precipitação, mm	224	203	141	67	76	56
Temperatura máxima, °C	28,1	28,0	28,0	27,0	24,0	23,0
Temperatura mínima, °C	17,1	17,4	19,0	17,0	15,0	13,0

**Fonte:** Estação experimental FCA/UNESP – Botucatu, SP.

O solo da área experimental vem sendo utilizado para o cultivo anual de sorgo desde o ano agrícola 2009/2010. Previamente a semeadura, realizou-se análise química do solo da área experimental (Tabela 2). Nos meses de dezembro e janeiro de 2018 e 2019, respectivamente, o solo foi trabalhado com grade aradora com intervalo de 30 dias entre os manejos. No mês de janeiro após o manejo de aração o solo foi submetido a grade niveladora. No dia 1 de fevereiro de 2019, com o auxílio de semeadora-adubadora para SPD modelo Jumil Magnum 2580PD GII, o híbrido de sorgo 1G 233, caracterizado como precoce e granífero, foi implantado à 0,03 m de profundidade e com espaçamento entre linhas de 0,5 m obtendo um estande final de 240.000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Para a adubação mineral, foram aplicados 320 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16 na ocasião da semeadura. Posteriormente, 30 dias após a semeadura, quando as plantas atingiram o estágio 3, realizou-se a adubação mineral de cobertura aplicando-se 250 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de uréia

nas entrelinhas da cultura do sorgo, conforme recomendações de Cantarella, Raij e Camargo (1997).

A aplicação de herbicidas ocorreu no final do mês de fevereiro (22 dias após a semeadura). Utilizou-se produtos à base Atrazine ( $3.000 \text{ g ha}^{-1}$  do i.a.) visando impedir o possível desenvolvimento de plantas daninhas. A população final de plantas foi avaliada e extrapolada para hectares, determinando-se também a produtividade de matérias seca (PMS) da cultura e participação dos componentes colmo, folhas e panícula.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial ( $2 \times 5$ ), sendo processamento adicional antes da silagem (sem e com) e cinco tempos de estocagem do material. Os processamentos consistiram por: sem processamento, a planta foi apenas picada e ensilada; com processamento, a planta foi picada e submetida a esmagamento mecânico antes da ensilagem. Os tempos de ensilagem corresponderam a 35, 70, 105, 140 e 175 dias.

No dia 15 de maio, 104 dias após a semeadura, realizou-se a colheita mecanizada com o auxílio de colhedora de uma linha tracionada por trator, em altura de corte de 0,25 m da superfície do solo e picadas em tamanho teórico de partícula de 5 mm. O material a ser ensilado foi coletado diretamente do vagão forrageiro no momento da colheita e levado até o Setor de Forragicultura da FMVZ/Unesp-Botucatu. Metade da massa colhida foi ensilada imediatamente e a outra metade foi submetida ao processamento mecânico visando o esmagamento dos grãos de sorgo. O processamento mecânico foi realizado com o auxílio de rolos processadores de superfície lisa, que, girando sentido contrário, proporcionaram o esmagamento do material.

Como silos experimentais utilizou-se canos de PVC com dimensões de 400 mm de comprimento por 100 mm de diâmetro, visando comportar aproximadamente 1,8 kg de material compactado. Na base do silo foram adicionados saquinhos de tecido tnt contendo 400g de areia estéril para quantificar as perdas por efluentes geradas durante a estocagem. A massa de forragem adicionada em cada silo experimental foi compactada por 5 minutos por prensa hidráulica visando atingir densidade de  $600 \text{ kg m}^{-3}$ . Os silos foram identificados, pesados, vedados com tampas de PVC dotadas de válvulas tipo Bunsen para proporcionar a saída dos gases oriundos da fermentação e estocados no Setor de Forragicultura da FMVZ/UNESP - Campus de Botucatu, até serem abertos de acordo com os tratamentos pré-determinados.

No momento da abertura, os silos foram pesados para a determinação da produção de gases, efluentes e índice de recuperação da matéria seca (IRMS), que foram estimadas por meio de equações descritas por Jobim, Nússio, Reis e Schmidt (2007). A condutividade elétrica (CE) da silagem foi mensurada utilizando-se condutivímetro MS TecnoPON® e a separação de

partículas das silagens foi realizada com o auxílio do conjunto de peneiras Penn State Particle Separator.

Na abertura dos silos, amostras de 300 g de material de cada tratamento foram coletadas, pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas até atingir peso constante; moídas em moinho tipo Willey dotado de peneira com crivo de 1,0 mm e armazenadas em potes de polietileno devidamente identificados. As análises químicas de matéria seca (MS), extrato etéreo (EE) e nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total (N-NH<sub>3</sub>/NT) ocorreram conforme AOAC (1995). Os teores de proteína bruta (PB) foram mensurados seguindo o método micro Kjeldahl e os componentes de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), conforme van Soest, Robertson e Lewis (1991). A mensuração do conteúdo de amido das amostras foi feita com o auxílio de equipamento de espectroscopia de infravermelho próximo (FT NIRS). Os nutrientes digestíveis totais (NDT) foram estimados por meio da equação proposta por Weiss adotadas pelo NRC (2001) e a digestibilidade “*in vitro*” da MS (DIVMS) segundo protocolo da ANKOM® utilizando-se o incubador DAISYII.

Inicialmente os dados coletados foram testados quanto a normalidade com o auxílio do teste Shapiro-Wilk, demonstrando distribuição normal. Posteriormente a análise de variância e regressão das variáveis foram obtidas utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2015) versão 5.6. As médias foram avaliadas utilizando-se o teste de médias Tukey para o tipo de processamento. O fator dias foi avaliado pelo teste de regressão, os modelos estatísticos foram escolhidos de acordo com a significância (pelo teste t a 5%) e coeficientes de regressão, e de determinação (R<sup>2</sup>) e com o fenômeno biológico estudado.

O modelo estatístico em esquema fatorial em DIC para as variáveis descritas acima seguem o modelo estatístico descrito a seguir:

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

em que,

$y_{ijk}$  é o valor observado para a variável resposta da  $i$ -ésima espécie no  $j$ -ésimo substrato na  $k$ -ésima repetição, com  $i=1,2$ ;  $j=1, 2,3,4,5$  e  $k=1,2,3$ ;  $\mu$  é uma constante inerente a todas as observações;  $\alpha_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo tipo de processamento mecânico da silagem;  $\beta_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo tempo de estocagem do material;  $\alpha\beta_{ij}$  é o efeito da interação tipo de processamento x dias de estocagem;  $\varepsilon_{ijk}$  é o erro experimental.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição bromatológica das silagens de sorgo de acordo com o efeito principal dos tratamentos encontram-se na Tabela 2 e as interações significativas apresentadas na Figura 1.

Para a variável matéria seca houve efeito ( $P = 0,02$ ) em função dos dias de estocagem. Os quais ajustaram-se linearmente, demonstrando ligeiro acréscimo (0,003 % por dia) com o aumento do tempo em anaerobiose, o que é reflexo das perdas ocorridas no processo fermentativo.

Houve interação entre processamento e dias de estocagem para o teor de PB (Figura 1). As silagens sem processamento obtiveram maior teor de PB nos dias 70 e 105. As médias de ambos tipos de processamento apresentaram efeito linear, com redução na concentração de PB com o avançar dos dias de estocagem, o que pode ser resultado da proteólise devido a extensão das condições para fermentação. Os teores de PB encontrados neste trabalho são inferiores aos 10,5% MS encontrados por Behling Neto et al. (2017) avaliando dois híbridos graníferos, e foram semelhantes aos 7,58% MS do híbrido IPA 1011 (granífero) avaliado por Borba et al. (2012), o que pode estar relacionado com a diferença entre os materiais genéticos.

As concentrações de nitrogênio amoniacal ( $N-NH_3$ ) se referem ao total de proteína degradada durante o processo fermentativo, sendo que altas concentrações desta variável pode resultar em menor consumo voluntário pelos animais e baixa eficiência de síntese de proteína microbiana (Neumann et al., 2007). Os teores de  $N-NH_3$  estão abaixo dos preconizados por Kung et al. (2018) (5 a 7% do N total), em todas as condições experimentais. Houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) para tipo de processamento, com o tratamento submetido ao processamento apresentando as maiores médias. Isso se deve ao fato de o processamento causar esmagamento e extravasamento de conteúdo celular (Kozakai et al., 2007), facilitando a proteólise do material. Para tempos de estocagem, foi observado efeito linear ( $R^2 = 0,50$ ) para  $N-NH_3$ , a qual sofreu ligeiro aumento com o aumento com o avanço dos dias, seguindo um padrão inverso ao ocorrido para a variável proteína bruta, o que é resultado da maior proteólise ocorrida ao longo dos dias.

Para a variável EE houve diferença significativa ( $P < 0,05$ ) apenas para a estocagem, apresentando efeito quadrático com  $R^2 = 0,75$ . Híbridos de sorgo granífero apresentam maiores concentrações EE, o que se deve ao fato de os grãos serem ricos em gorduras, entretanto Moraes et al. (2013) não observaram diferenças nos teores de EE na folha e panícula, e planta inteira de sorgos de aptidões diversas. As médias encontradas no presente experimento (2,8% MS) estão em conformidade com os valores encontrados na literatura para silagens confeccionadas a partir de híbridos graníferos (Borba et al., 2012; Colombini, Galassi, Crovetto, & Repetti, 2012).

**Tabela 2.** Composição química, parâmetros fermentativos e perdas durante o processo de estocagem das silagens de acordo com o efeito principal observado para processamento e dias de estocagem do material

	Processamento			Estocagem					Valor de <i>P</i>			
	SP	P	EPM	35	70	105	140	175	EPM	P	E	P*E
MS, % <sup>1</sup>	40,09	40,05	0,139	39,88	40,13	39,50	40,49	40,35	0,220	0,85	0,02	0,17
PB, %	8,34	8,36	0,048	9,05	8,70	8,61	7,77	7,63	0,076	0,80	< 0,01	0,01
N-NH <sub>3</sub> /NT <sup>2</sup>	2,83	3,73	0,117	2,88	2,47	3,44	3,66	3,66	0,184	< 0,01	< 0,01	0,12
EE, % <sup>3</sup>	2,60	2,47	0,084	2,11	2,20	2,95	2,74	2,66	0,132	0,29	< 0,01	0,46
Amido, %	38,77	39,42	0,194	37,48	37,80	37,66	40,92	41,68	0,307	0,02	< 0,01	< 0,01
FDN, % <sup>4</sup>	32,56	30,36	0,492	33,51	32,51	31,91	29,86	29,51	0,777	< 0,01	< 0,01	0,08
FDA, % <sup>5</sup>	19,67	18,38	0,361	20,49	19,77	19,14	18,11	17,61	0,571	< 0,01	< 0,01	0,33
NDT, % <sup>6</sup>	79,36	78,48	0,423	77,06	78,11	78,36	80,32	80,74	0,669	0,15	< 0,01	0,78
DIVVMS,%	73,32	71,69	0,444	71,77	71,31	72,11	73,75	73,76	0,702	0,43	0,06	0,08
pH <sup>7</sup>	3,91	3,93	0,013	4,00	3,93	3,89	3,86	3,91	0,022	0,26	< 0,01	0,24
Gases, % <sup>8</sup>	0,01	0,01	0,001	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,001	0,99	< 0,01	0,14
Efluentes (kg t MV <sup>-1</sup> )	1,32	2,71	0,065	0,25	2,67	2,91	1,10	1,13	0,104	< 0,01	< 0,01	0,24
IRMS, %	95,99	95,19	0,441	95,08	95,85	95,17	97,36	95,50	0,698	0,20	0,10	0,07

Dados das interações significativas são apresentados nas figuras.

<sup>1</sup>Efeito de estocagem para MS:  $Y = 39,683625 + 0,00368x$ ;  $R^2 = 0,26$

<sup>2</sup>Efeito de estocagem para N-NH<sub>3</sub>/NT:  $Y = 2,429750 + 0,007629x$ ;  $R^2 = 0,50$

<sup>3</sup>Efeito de estocagem para EE:  $Y = 1,381250 + 0,020795x - 0,000077x^2$ ;  $R^2 = 0,74$

<sup>4</sup>Efeito de estocagem para FDN:  $Y = 34,662500 - 0,030486x$ ;  $R^2 = 0,95$

<sup>5</sup>Efeito de estocagem para FDA:  $Y = 21,252625 - 0,021218x$ ;  $R^2 = 0,99$

<sup>6</sup>Efeito de estocagem para NDT:  $Y = 76,053875 + 0,027339x$ ;  $R^2 = 0,94$

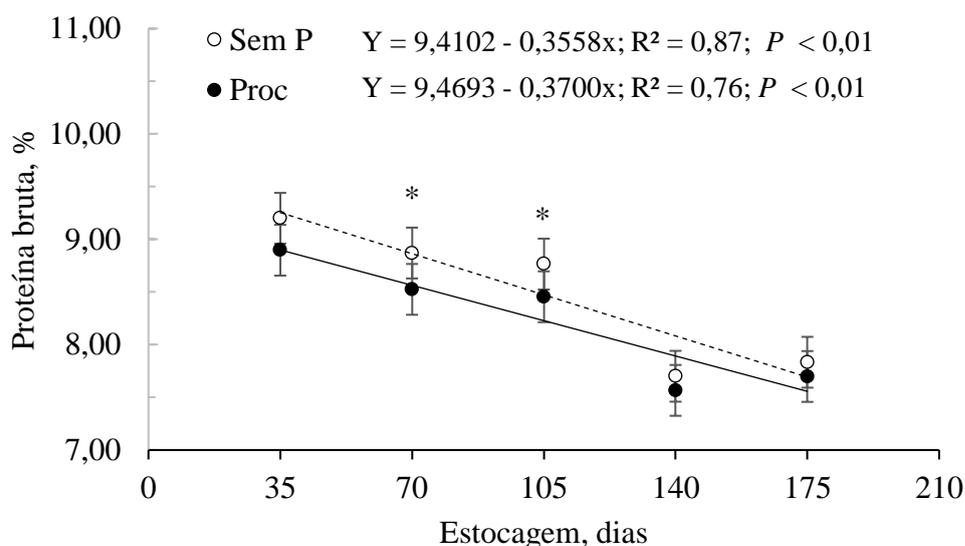
<sup>7</sup>Efeito de estocagem para pH:  $Y = 4,176500 - 0,004804x + 0,000019x^2$ ;  $R^2 = 0,98$

<sup>8</sup>Efeito de estocagem para Gases:  $Y = 0,004250 + 0,000121x$ ;  $R^2 = 0,94$

<sup>9</sup>Efeito de estocagem para Efluentes:  $Y = 2,368750 - 0,007193x$ ;  $R^2 = 0,76$

Devido a maior presença de panícula nos híbridos graníferos, estes apresentam maiores teores de amido em sua composição, o que enriquece o alimento. As médias referentes aos teores de amido sofreram efeito entre dias de estocagem x processamento ( $P < 0,01$ ). Apresentando maior concentração de amido para o tratamento sem processamento com 70 dias de estocagem, o que pode ser reflexo de uma maior proteólise e solubilização da matriz proteica dos grãos nesta abertura.

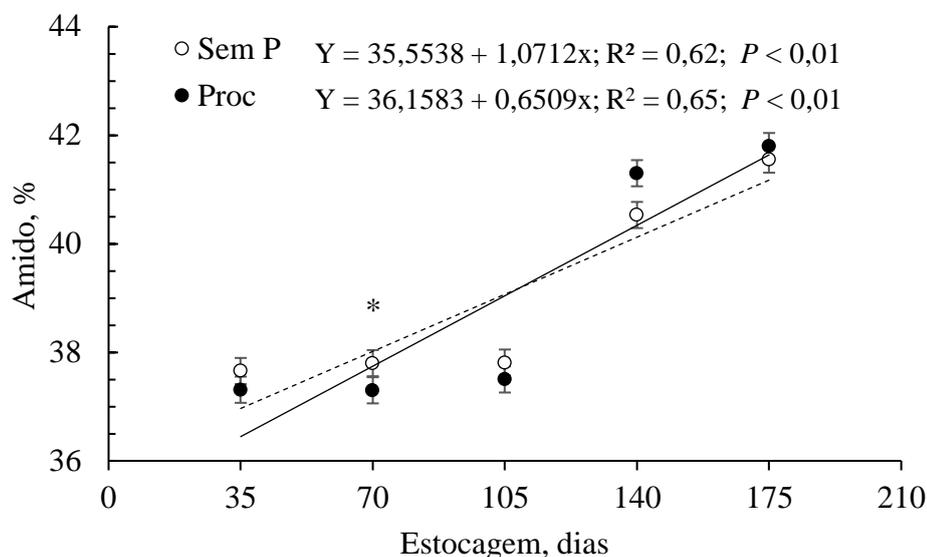
Houve diferença significativa para amido entre os tipos de processamento ( $P = 0,02$ ) (Figura 2), onde o tratamento submetido ao processamento foi superior ao tratamento sem processamento, o que se deve ao fato de o processamento causar esmagamento dos grãos e maior disponibilização do amido (Oliveira et al., 2021; Silveira et al., 2014). Para os dias de estocagem, houve aumento linear na concentração de amido com o aumento dos dias em anaerobiose, devido a solubilização da matriz proteica e desprendimento do amido presente nos grãos de sorgo (Junges et al., 2017; Hoffman et al., 2011).



**Figura 1.** Interação entre processamento e dias de estocagem para proteína bruta. Efeito processamento  $P = 0,80$ ; Efeito dias de estocagem  $P < 0,01$ ; Efeito da interação processamento e dias de estocagem  $P = 0,01$ . \* indica diferença entre processamento no desdobramento do dia ( $P < 0,05$ ).

Os resultados deste trabalho apontam para uma superioridade do material ensilado, com valores de amido semelhantes aos encontrados em híbridos de milho. Colombini et al. (2012) encontrou 31,5; 20,8 e 2,3% de amido na MS de silagens de milho, sorgo granífero e sorgo forrageiro, respectivamente, enquanto Tabacco, Piano, Cavallarin, Bernardes e Borreani (2009) encontraram médias de 30,8 e 25,9% MS, respectivamente para milho e sorgo. Essas diferenças ocorrem devido a características intrínsecas ao material genético, condições de cultivo e

sobretudo em função do teor de matéria seca no momento do corte.



**Figura 2.** Interação entre processamento e dias de estocagem para amido. Efeito processamento  $P = 0,02$ ; Efeito dias de estocagem  $P < 0,01$ ; Efeito da interação processamento e dias de estocagem  $P < 0,01$ . \* indica diferença entre processamento no desdobramento do do dia ( $P < 0,05$ ).

Para a variável FDN não houve interação ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos. Houve diferença entre os tipos de processamento, onde as silagens submetidas ao processamento apresentaram menores valores para a característica, o que se deve ao efeito de diluição dos componentes fibrosos devido a maior concentração de amido disponível no meio (Oliveira et al., 2021; Silveira et al., 2014). Para tempos de estocagem houve efeito linear de decréscimo entre as médias, o que também se deve a diluição dos componentes fibrosos com o aumento da digestibilidade do amido e extravasamento do conteúdo celular da fração vegetativa da planta no momento do processamento, uma vez que a digestibilidade da fibra não é alterada com o aumento dos dias do material em anaerobiose (Junges et al., 2017; Hoffman et al., 2011). Os teores de FDN de todos os tratamentos foi baixo (31% MS) em comparação com dados da literatura. Behling et al. (2017) e Borba et al. (2012) encontraram para a FDN médias de 38 e 46% MS, respectivamente, para híbridos graníferos e Tolentino et al. (2016) 38% para híbridos de duplo propósito.

A FDA é altamente correlacionada com a digestibilidade, uma vez que a lignina faz parte de sua composição. Não foi observada interação ( $P < 0,05$ ) para a variável FDA entre os tratamentos. Assim como observado para a FDN, houve diferença estatística ( $P < 0,01$ ) para tratamento e para estocagem, havendo menor concentração desta variável no tratamento submetido ao processamento mecânico e decréscimo linear com o avançar dos dias de

estocagem. Em todos os tratamentos a FDA esteve em baixas concentrações, assim como a FDN, o que se deve ao efeito de diluição provocado pela maior participação de grãos na massa ensilada (Junges et al., 2017; Hoffman et al., 2011).

Não foi constatada interação para os dias de estocagem e processamento ( $P > 0.05$ ) e também entre o tipo de processamento ( $P > 0.05$ ) para a variável NDT. As médias encontradas para a variável foram superiores às encontradas por Borba et al. (2012), que ao avaliarem híbridos graníferos encontraram 65,28% de MS em silagens com 31% de MS. Dessa forma, a superioridade do material genético observada neste trabalho pode estar relacionada com o maior teor de MS no momento da ensilagem. As médias tiveram efeito ( $P < 0,01$ ) para tempos de estocagem, apresentando aumento linear com o aumento dos dias de estocagem devido a solubilização da matriz proteica e maior disponibilização de amido nas silagens, seguindo o mesmo padrão observado nas variáveis anteriores.

Para a DIVMS, foi constatado aumento linear com o aumento dos dias de estocagem ( $R^2 = 0,42$ ), o que é resultado da quebra das prolaminas por ação de enzimas microbianas, resultando em maior degradação ruminal do amido (Hoffman et al., 2011). Da mesma maneira, Fernandes et al. (2020) observaram aumento linear da digestibilidade “*in situ*” de silagens de sorgo forrageiro e sorgo Sudão com o aumento dos dias de estocagem de 15 para 90 dias.

Os valores referentes a DIVMS deste trabalho foram superiores aos encontrados por Machado et al. (2012). Estes autores estudaram 3 híbridos forrageiros para a confecção de silagem e encontraram em média DIVMS de 54%. Behling Neto et al. (2017) observaram médias de 56 e 58% DIVMS para híbridos graníferos colhidos, respectivamente, na safra e na rebrota. O híbrido de duplo propósito 12F38019 avaliado por Tolentino et al. (2016) apresentou média de 74% para DIVMS, o que pode estar relacionado com a maior proporção de panícula, embora esta não tenha sido avaliada pelos autores.

Embora não tenha sido observado efeito positivo ( $P < 0,05$ ) do processamento na maioria das variáveis avaliadas, nota-se o potencial do híbrido granífero em proporcionar silagens de altíssimo valor energético. Além disso, maiores tempos de estocagem demonstraram ser eficazes em melhorar o valor nutritivo de silagens de sorgo (Fernandes et al., 2020), o que se deve a extensão do processo fermentativo, resultando em maior degradação das prolaminas na matriz proteica do grão e maior degradação ruminal (Junges et al., 2017; Hoffman et al., 2011).

Houve efeito quadrático de estocagem para a variável pH, com ponto mínimo de 3,89 aos 126 dias. Isso se deve a maior produção de ácidos e queda nos valores de pH com o aumento do tempo em anaerobiose, onde todas as médias observadas para esta variável estão em conformidade com o limite de 3,7 a 4,0 preconizado por Kung, Shaver, Grant & Schmidt

(2018). Da mesma maneira, Behling Neto et al. (2017b), avaliando silagens de híbridos de sorgo graníferos observaram valores muito semelhantes ao deste trabalho, com médias variando de 3,85 a 4,07.

Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos para IRMS. Não houve interação ( $P > 0,05$ ) para a produção de efluentes, apresentando efeito apenas para tipo de processamento ( $P < 0,01$ ) e tempos de estocagem ( $P < 0,01$ ), a qual se ajustou a modelos lineares e regressão ( $R^2 = 0,76$ ). As perdas ocorridas durante o período experimental foram determinadas por meio da avaliação do IRMS, produção de gases e produção de efluentes. Em geral, silagens oriundas de materiais com elevados teores de MS tendem a produzir menor volume de efluente, devido ao menor teor de água presente, o qual aliado a adequada compactação e preservação da anaerobiose em silos de laboratório podem assegurar máxima preservação do valor nutritivo do material ensilado. Além disso, boas práticas de compactação e vedação impedem o contato da massa com o oxigênio, o que consequentemente evita fermentações secundárias por microrganismos deterioradores (Borreani, Tabacco, Schmidt, Holmes & Muck, 2018), que são majoritariamente aeróbios.

Não houve interação ( $P > 0,05$ ) para a produção de gases, sendo observado apenas efeito de dias de estocagem, a qual apresentou distribuição linear ( $R^2 = 0,76$ ), aumentando em função do aumento dos dias de estocagem.

Não houve interação ( $P > 0,05$ ) para a porcentagem de partículas retidas em nenhuma das peneiras do separador de partículas da Penn State (Tabela 3) e também entre os tipos de processamento ( $P > 0,05$ ). Isso mostra a efetividade deste tipo de processamento em não aumentar a retenção de partículas retidas nas peneiras inferiores, não comprometendo a porcentagem de fibras longas e consequentemente a dinâmica ruminal. Entretanto, houve diferença significativa ( $P < 0,01$ ) entre os dias de estocagem para o percentual de partículas retidas em todas as peneiras, com tendência a redução do tamanho de partículas com o avanço dos dias em anaerobiose e consequentemente aumento dessas partículas nas peneiras inferiores. Estes dados corroboram com os dados encontrados por Salvati et al. (2019), trabalhando com silagem de planta inteira de milho avaliadas nos dias 0, 35 e 140 dias.

**Tabela 3.** Percentual de partículas retidas no conjunto de peneiras da Penn State de acordo com o efeito principal observado para processamento e dias de estocagem do material

	Processamento			Estocagem							Valor de <i>P</i>		
	SP	P	EPM	0	35	70	105	140	175	EPM	P	E	P*E
Peneira 1 <sup>1</sup> >19 mm	2,85	2,72	0,218	4,67	2,90	2,25	2,57	2,05	1,95	0,377	0,68	< 0,01	0,15
Peneira 2 <sup>2</sup> > 9 mm	28,19	28,27	0,901	35,08	30,27	25,72	25,08	25,57	26,67	1,561	0,94	< 0 01	0,53
Peneira 3 <sup>3</sup> > 4 mm	48,38	47,62	0,767	41,92	45,07	48,75	49,23	52,77	52,00	1,329	0,49	< 0,01	0,54
Fundo <sup>4</sup> < 4 mm	19,47	20,38	0,395	15,92	20,53	22,07	22,58	19,27	19,45	0,684	0,11	< 0,01	0,05

Dados das interações significativas são apresentados nas figuras.

<sup>1</sup>Efeito de estocagem para peneira 1:  $Y = 4,209524 - 0,047197x + 0,000241x^2$ ;  $R^2 = 0,69$

<sup>2</sup>Efeito de estocagem para peneira 2:  $Y = 35,402976 - 0,173107x + 0,000710x^2$ ;  $R^2 = 0,97$

<sup>3</sup>Efeito de estocagem para peneira 3:  $Y = 41,617857 + 0,126786x - 0,000419x^2$ ;  $R^2 = 0,94$

<sup>4</sup>Efeito de estocagem para peneira de fundo:  $Y = 16,437500 + 0,120236x - 0,000627x^2$ ;  $R^2 = 0,84$

## CONCLUSÃO

O processamento mecânico da massa de forragem antes da ensilagem proporciona quebra dos grãos de sorgo, fornecendo maiores concentrações de amido para os processos fermentativos.

O aumento dos dias de estocagem de silagens de planta inteira de sorgo melhora a composição química do material por aumentar os teores de amido disponíveis, reduzir o tamanho de partícula dos grãos e diluir os componentes fibrosos presentes na massa ensilada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Association of Official Analytical Chemists (1995). *Official methods of analysis*. (16nd ed.) Washington, D.C.: AOAC.
- Behling Neto, A., Reis, R. H. P. D., Cabral, L. D. S., Abreu, J. G. D., Sousa, D. D. P., & Sousa, F. G. D. (2017). Nutritional value of sorghum silage of different purposes. *Ciência e Agrotecnologia*, 41(3), 288-299. doi: 10.1590/1413-70542017413038516
- Behling Neto, A., dos Reis, R. H. P., da Silva Cabral, L., de Abreu, J. G., de Paula Sousa, D., Pedreira, B. C., ... & da Silva Carvalho, A. P. (2017). Fermentation characteristics of different purpose sorghum silage. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(4Supl1), 2607-2618. B. doi: 10.5433/1679-0359.2017v38n4Supl1p2607
- Bernardes, T. F., & Do Rêgo, A. C. (2014). Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 97(3), 1852-1861. doi: 10.3168/jds.2013-7181
- Borba, L. F. P., Ferreira, M. D. A., Guim, A., Tabosa, J. N., Gomes, L. H. D. S., & Santos, V. L. F. D. (2012). Nutritive value of diferents silage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivares. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 34(2), 123-129. doi: 10.4025/actascianimsci.v34i2.12853
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952-3979. doi: 10.3168/jds.2017-13837.
- Cantarella, H.; Raij. B. Van.; Camargo, C.E.O. Cereais. (1997) In: *Boletim Técnico 100: Recomendação de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo*. (2.ed). (pp.43-71)

Campinas: Instituto Agrônômico; IAC.

- Colombini, S., Galassi, G., Crovetto, G. M., & Rapetti, L. (2012). Milk production, nitrogen balance, and fiber digestibility prediction of corn, whole plant grain sorghum, and forage sorghum silages in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4457-4467. doi: 10.3168/jds.2011-4444
- Fernandes, T., Paula, E. M., Sultana, H., & Ferraretto, L. F. (2020). Influence of sorghum cultivar, ensiling storage length, and microbial inoculation on fermentation profile, N fractions, ruminal in situ starch disappearance and aerobic stability of whole-plant sorghum silage. *Animal Feed Science and Technology*, 114535. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114535
- Ferreira, D.F. (2015). SISVAR: Sistema de análise de variância para dados balanceados, versão 5.6, Lavras: DEX/UFLA.
- Hasan, S. A., Rabei, S. H., Nada, R. M., & Abogadallah, G. M. (2017). Water use efficiency in the drought-stressed sorghum and maize in relation to expression of aquaporin genes. *Biologia plantarum*, 61(1), 127-137. doi: 10.1007/s10535-016-0656-9
- Hoffman, P. C., Esser, N. M., Shaver, R. D., Coblenz, W. K., Scott, M. P., Bodnar, A. L., ... & Charley, R. C. (2011). Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of dairy science*, 94(5), 2465-2474. doi: 10.3168/jds.2010-3562
- Hristov, A. N., Harper, M. T., Roth, G., Canale, C., Huhtanen, P., Richard, T. L., & DiMarco, K. (2020). Effects of ensiling time on corn silage neutral detergent fiber degradability and relationship between laboratory fiber analyses and in vivo digestibility. *Journal of dairy science*, 103(3), 2333-2346. doi: 10.3168/jds.2019-16917
- Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A., & Schmidt, P. (2007). Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 101-119. doi: 10.1590/S1516-35982007001000013.
- Junges, D., Morais, G., Spoto, M. H. F., Santos, P. S., Adesogan, A. T., Nussio, L. G., & Daniel, J. L. P. (2017). Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. *Journal of dairy science*, 100(11), 9048-9051. doi: 100:9048-9051.

- Kozakai, K.; Nakamura, T.; Kobayashi, I.; Tanigawa, T.; Osaka, I.; Kawamoto, S.; Hara, S. Effect of mechanical processing of corn silage on in vitro ruminal fermentation, and in situ bacterial colonization and dry matter degradation. *Can. J. Anim. Sci*, vol. 87, p.259-267, 2007. DOI: 10.4141/A06-028
- Kung, L., Jr., R. D. Shaver, R. J. Grant, & R. J. Schmidt. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of Dairy Science*. v.101, p. 4020-4033, 2018. doi: 10.3168/jds.2017-13909
- Machado, F. S., Rodríguez, N. M., Rodrigues, J. A. S., Ribas, M. N., Teixeira, A. M., Ribeiro Júnior, G. O., ... & Pereira, L. G. R. (2012). Silage quality of sorghum hybrids in different maturation stages. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 64(3), 711-720. doi: 10.1590/S0102-09352012000300024
- Moraes, S. D. D., Jobim, C. C., Silva, M. S. D., & Marquardt, F. I. (2013). Produção e composição química de híbridos de sorgo e de milho para silagem. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14(4), 624-634. doi: 10.1590/S1519-99402013000400002
- National Research Council (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. (7.ed). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Neumann, M., Muhlbach, P. R. F., Nornberg, J. L., Ost, P. R., Restle, J., Sandini, I. E., & Romano, M. A. (2007). 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*, 37(3), 847-854. doi: 10.1590/S0103-84782007000300038
- Perazzo, A. F., Carvalho, G. G., Santos, E. M., Bezerra, H. F., Silva, T. C., Pereira, G. A., ... & Rodrigues, J. A. (2017). Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions. *Frontiers in plant science*, 8, 1088. doi:10.3389/fpls.2017.01088
- Pinto, A. C., & Millen, D. D. (2018). Nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists: the 2016 Brazilian survey. *Canadian Journal of Animal Science*, 99(2), 392-407. doi: 10.1139/cjas-2018-0031
- Salvati, G. G. D. S. (2019). Strategies to improve kernel processing and dairy cow performance in whole-plant corn silage based on vitreous endosperm hybrid (Doctoral dissertation,

Universidade de São Paulo).

Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Oliveira, J.B.; Coelho, M.R.; Lumbreras, J.F.; Cunha, T.J.F. (2006) *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

Silva, N. C., Nascimento, C. F., Nascimento, F. A., de Resende, F. D., Daniel, J. L. P., & Siqueira, G. R. (2018). Fermentation and aerobic stability of rehydrated corn grain silage treated with different doses of *Lactobacillus buchneri* or a combination of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus acidilactici*. *Journal of dairy science*, 101(5), 4158-4167. doi: 10.3168/jds.2017-13797

Silva, T. C., Santos, E. M., Azevedo, J. A. G., Edvan, R. L., Perazzo, A. F., and Pinho, R. M. A. (2011). Agronomic divergence of sorghum hybrids for silage yield in the semiarid region of Paraíba. *R. Bras. Zootec.* 40, 1886–1893. doi: 10.1590/S1516-35982011000900007

Skonieski, F. R., Nornberg, J. L., de Azevedo, E. B., de David, D. B., Kessler, J. D., & Menegaz, A. L. (2010). Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 32(1), 27-32. doi: 10.4025/actascianimsci.v32i1.7200

Tabacco, E., Piano, S., Cavallarin, L., Bernardes, T. F., & Borreani, G. (2009). Clostridia spore formation during aerobic deterioration of maize and sorghum silages as influenced by *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* inoculants. *Journal of applied microbiology*, 107(5), 1632-1641. doi: 10.1111/j.1365-2672.2009.04344.x

Tolentino, D. C., Rodrigues, J. A. S., Pires, D. A. D. A., Veriato, F. T., Lima, L. O. B., & Moura, M. M. A. (2016). The quality of silage of different sorghum genotypes. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 38(2), 143-149. doi: 10.4025/actascianimsci.v38i2.29030

Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2



### **CAPÍTULO 3**

### **IMPLICAÇÕES**

O presente estudo trará contribuições para produtores, pesquisadores e nutricionistas de ruminantes por ter demonstrado o excelente potencial de híbridos graníferos para a confecção de silagens, que aliados a práticas de processamento antes da ensilagem e a maiores tempos de estocagem em anaerobiose apresentam maior digestibilidade e valor nutritivo.

O processamento mecânico de grãos de cereais comprovadamente expõe os grânulos de amido para a fermentação tanto no silo como trato gastrointestinal dos animais, entretanto, dado a maior vitreosidade e tamanho reduzido do grão de sorgo existe uma certa dificuldade na adequação de maquinários que realizem este procedimento com eficácia. Esta foi uma dificuldade encontrada neste trabalho, pois o processamento com rolos lisos não provou ser eficiente em causar incremento em todos os parâmetros avaliados.

Novos experimentos que avaliem tipos de rolos processadores, escore de partículas para sorgo e que principalmente sejam aplicáveis a campo certamente irão contribuir com a comunidade produtora, técnica e acadêmica.