



VINÍCIUS DUTRA VAZ

**SILAGEM DE PLANTA INTEIRA DE MILHO COLHIDA
EM DIFERENTES TAMANHOS TEÓRICOS DE
PARTÍCULA**

**LAVRAS – MG
2021**

VINÍCIUS DUTRA VAZ

**SILAGEM DE PLANTA INTEIRA DE MILHO COLHIDA EM DIFERENTES
TAMANHOS TEÓRICOS DE PARTÍCULA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Zootecnia, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Thiago Fernandes Bernardes
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

VINÍCIUS DUTRA VAZ

**SILAGEM DE PLANTA INTEIRA DE MILHO COLHIDA EM DIFERENTES
TAMANHOS TEÓRICOS DE PARTÍCULA**

**WHOLE-PLANT CORN SILAGE HARVESTED IN DIFFERENT THEORETICAL
LENGTH OF CUT**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Zootecnia, para a
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em ____ de Novembro de 2021

Dr. Prof. Thiago Fernandes Bernardes UFLA

Msc. Marcus Vinicius Santa Brígida Cardoso UFLA

Msc. Edmilson Heleno dos Reis Domingues UFLA

Dr. Prof. Thiago Fernandes Bernardes
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e Nossa Senhora que me iluminaram e guiaram por toda a minha trajetória até chegar aqui e alcançar essa conquista. Minha família que sempre foi minha base e nunca mediram esforços para me ajudar a realizar meu sonho. Meus pais José Horácio Vaz e minha mãe Maria Aparecida Dutra Vaz, os quais sempre me apoiaram em minhas decisões e acreditaram em mim. Ao meu irmão Gabriel Dutra Vaz a pessoa mais incrível que já conheci, meu exemplo e inspiração, tenho a sorte de tê-lo como irmão. Minha tia Dora que é minha segunda mãe nessa vida e sempre me apoiou. Minhas avós, vó Fia e vó Ilza com quem aprendi tanto em minha vida.

Agradecer a querida outrora ESAL hoje Universidade Federal de Lavras, a qual é uma das maiores universidades no país e me acolheu de braços abertos e onde foi minha base fundamental para formação profissional.

Agradecer aos núcleos de estudo onde participei e me ajudaram a aumentar meus conhecimentos extra sala de aula, o GERE e ao NEFOR. Principalmente ao grupo de conservação de forragem onde tive o maior crescimento profissional, conheci companheiros de trabalho com grande conhecimento na área e me passaram muitos ensinamentos. Agradecer ao meu orientador Thiago Fernandes Bernardes que me acolheu em seu grupo e me ensinou muito sobre a parte técnica e prática da área, me ensinou a portar profissionalmente e além de tudo sempre foi um bom companheiro e amigo com bons conselhos e ajudando a trilhar melhores caminhos.

Agradecer ao meu grande doutor Xit, e a Fazenda São Pedro pela oportunidade e confiança para desempenhar o papel de zootecnista dentro de uma fazenda. Aprendi muito com todos com quem trabalhei e pude me tornar mais capacitado a desenvolver minha profissão.

Agradecer a minha família de lavras a grande República Paióça, onde vivi os melhores 6 anos da minha vida e onde pude compartilhar muitas emoções e histórias com todos que morei e grandes ensinamentos foram compartilhados com todos, passamos por momentos mágicos mas também tivemos nossas dificuldades e sempre estivemos juntos, irmãos que serão levados pro resto da vida e, principalmente meus companheiros Tião e Pulido, esses caras são demais, muito obrigado por tudo Paiuca, com certeza não teria chegado até aqui sem

viver com todos vocês. Como esquecer da nossa mãezona michelinha que sempre me apoiou e deu puxões de orelha, obrigado pelas conversas e gargalhadas que sempre demos juntos.

Agradecer aos grande amigos que conquistei ao longo dessa trajetória, República Terra Roxa, República Fim de Mundo, República Ranxerae República Pé-de-Cana, em especial a dois caras Sáça e Leôncio. Agradecer a minha companheira e amiga Lara que esteve ao meu lado me apoiando e dando forças para continuar. Agradecer a duas pessoas que me fizeram crescer muito profissionalmente e me ajudaram a chegar aonde estou hoje Marcus e Edmilson, sempre dando puxões de orelha mas sempre acreditando em mim.

RESUMO

A silagem de planta inteira de milho (SPIM) atualmente no Brasil é o alimento conservado mais utilizado nas dietas de ruminantes. Diversos fatores afetam a produção de silagem dentre eles: tamanho teórico de partícula (TTP) e o processamento dos grãos. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a performance de uma colhedora tracionada do tipo JF máquinas, modelo 3200 AT S2, na produção de silagens em diferentes tamanhos teóricos de partícula. Os tratamentos consistiram em SPIM colhidas em três tamanhos teórico de partículas (7, 9 e 11mm), com cinco repetições cada, totalizando quinze unidades experimentais. Foram utilizados baldes de 5L como silos experimentais, onde foi ensilado, em média, $3 \text{ kg} \pm 64 \text{ g}$ de forragem, alcançando uma densidade média de $563,50 \pm 12,73 \text{ kg/m}^3$, permanecendo estocado por 100 dias. Foram determinadas as concentrações MS, perdas de MS, produtos finais da fermentação, distribuição das partículas, contagem de grãos inteiros e grau de processamento dos grãos. O desaparecimento *in situ* da MS e do amido foram avaliados em cinco tempos de incubação (0, 8, 16, 32 e 64 horas). Os dados referentes à MS, PMS, produtos finais da fermentação, distribuição de partículas, contagem e processamento dos grãos foram analisados no programa estatístico SAS pelo PROC GLM, ao passo que os dados de desaparecimento da MS e do amido foram analisados pelo PROC MIXED, em fatorial 3x5, do programa estatístico SAS. As médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Maior concentração de MS foi observada em silagens colhidas a 11mm em comparação àquelas colhidas a 7mm ($P = 0,017$). As perdas de MS ($P = 0,099$) e contagem de grãos inteiros da forragem fresca ($P = 0,099$) e da silagem ($P = 0,337$) não foram influenciadas pelo TTP. Dentre os produtos finais da fermentação, somente o ácido propiônico foi afetado pelo TTP ($P = 0,045$), onde silagens colhidas a 9 e 11mm tiveram maior concentração desse ácido. Na distribuição das partículas nas peneiras da matéria fresca houve diferença nas peneiras de 19 mm ($P = 0,029$), 8 mm ($P = 0,005$) e 4 mm ($P < 0,0001$). Comportamento similar também foi observado na distribuição de partículas da silagem, onde houve diferença nas peneiras de 19 mm ($P = 0,009$), 8 mm ($P = 0,005$) e 4 mm ($P < 0,0001$). O aumento da regulagem do tamanho de corte durante a colheita muito provavelmente contribuiu para o presente resultado, aumentando a retenção das partículas nas peneiras de 19mm de 6,31% para 8,31% para a forragem fresca e de 3,27% para 7,38% para as silagens quando elevou o TTP de 7 para 11mm. De forma similar, um aumento da retenção dessas partículas foi observado na peneira de 8mm de 56,51% para 62,75% para a forragem fresca e de 58,64% para 66,54% para as silagens quando elevou o TTP de 7mm para 11mm. Para as peneiras de 4mm, a retenção das partículas diminuiu com o aumento do TTP, onde reduziu de 25,11% para 16,13% para forragem fresca e de 26,03% para 13,55% para a silagem quando elevou o corte de 7 para 11mm. O grau de processamento dos grãos não diferiu entre as silagens ($P = 0,008$). O desaparecimento da MS ($P < 0,0001$) e do amido ($P < 0,0001$) foram afetadas apenas pelo tempo de incubação, onde a MS diminuiu de 58,34% para 18,67% e o amido de 79,79% para 44,89% com 64 e 0 horas de incubação, respectivamente. O aumento no TTP não altera o grau de processamento dos grãos e o desaparecimento da MS e do amido.

Palavras-chave: Amido. KPS. Penn State Particle Separator. Tamanho de partícula

ABSTRACT

Currently, whole corn plant silage (WPCS) in Brazil is the conserved feed food most used in ruminant diets. Several factors affect silage production such theoretical length of cut (TLC) and grain processing. The aim of this study was to evaluate the performance of a JF pull-harvester machine, model 3200 AT S2, in the silage production in different TLC. The treatments consisted of WPCS harvested in three TLC (7, 9 and 11mm), with five replications, totaling fifteen experimental units. Experimental silos (5L buckets) were used, where an average of $3 \text{ kg} \pm 64 \text{ g}$ of forage was packed, reaching an average density of $563.50 \pm 12.73 \text{ kg m}^{-3}$, and ensiled for 100 d. Dry matter (DM) concentrations, DM losses, end-products fermentation, particle distribution, whole-grain count and grain processing degree were determined. The DM and starch in situ disappearance were evaluated at five incubation times (0, 8, 16, 32 and 64 h). Data related to DM, DM losses, end-products fermentation, particle distribution, whole-grain count and grain processing degree were analyzed in SAS statistical program by PROC GLM, while DM and starch disappearance data were analyzed by PROC MIXED, in 3x5 factorial, from the SAS statistical program. Means were compared by Tukey test at 5% significance. Higher DM concentration was observed in silages harvested at 11mm in compared to silages harvested at 7mm ($P = 0.017$). The DM losses ($P = 0.099$) and whole-grain count of fresh forage ($P = 0.099$) and silage ($P = 0.337$) were not influenced by TTP. Among the end-products fermentation, only propionic acid was affected by TTP ($P = 0.045$), where silages harvested at 9 and 11 mm had the highest concentration. The fresh watter particle distribution sieves, there was a difference in the 19 mm ($P = 0.029$), 8 mm ($P = 0.005$) and 4 mm ($P < 0.0001$) sieves. Similar behavior was also observed in the silage particle distribution, where there was a difference in the 19 mm ($P = 0.009$), 8 mm ($P = 0.005$) and 4 mm ($P < 0.0001$) sieves. The increase in TLC during harvest most likely contributed to this result, increasing the retention of particles in the 19mm sieves from 6.31% to 8.31% for fresh forage and from 3.27% to 7.38% for silages when raising the TTP from 7 to 11mm. Similarly, an increase in the retention of these particles was observed in the 8mm sieve from 56.51% to 62.75% for fresh forage and from 58.64% to 66.54% for silages when the TTP was raised to 7mm to 11mm. For the 4mm sieves, particle retention decreased with the increase in TTP, where it decreased from 25.11% to 16.13% for fresh forage and from 26.03% to 13.55% for silage when the TLC was increased from 7 to 11mm. The degree of grain processing did not differ among silages ($P = 0.008$). The DM ($P < 0.0001$) and starch ($P < 0.0001$) disappearance were affected only by the incubation time, where DM decreased from 58.34% to 18.67% and starch from 79.79 % to 44.89% with 64 and 0 hours of incubation, respectively. The increase in TTP does not alter the degree of processing of the grains and the disappearance of DM and starch.

Keywords: Starch. KPS. Penn State Particle Separator. Theoretical length of cut

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	9
2 – REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 – Silagem de planta inteira de milho.....	10
2.2 – Tamanho de partícula.....	11
2.3 – Processamento dos grãos de milho	13
3 – MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1 – Confeção da silagem e distribuição dos tratamentos	14
3.2 – Análise e preparo das amostras.....	14
3.3 – Análise estatística	16
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 – CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS	24

1 – INTRODUÇÃO

A produção de milho possui uma grande importância no cenário mundial, variando na forma como a cultura pode ser utilizada, sendo esta para consumo humano, animal e até mesmo para o setor industrial (Kumar e Jhariya, 2013; Grant e Adesogan, 2018; Veljovic et al.; 2018; Daniel et al., 2019). No âmbito da cultura do milho para a alimentação animal, Silvestre e Milen (2021) realizaram um levantamento e constataram que 69,4% dos nutricionistas utilizam a silagem de planta inteira de milho (SPIM) como a principal fonte de volumoso em dietas de terminação de bovinos de corte. Características favoráveis da planta de milho como elevada produtividade por hectare, teor de matéria seca e carboidratos solúveis para ensilagem e seu uso como fonte de fibra e energia na dieta dos animais são alguns parâmetros que impulsionam a utilização do milho para a produção de silagem (Allen et al., 2003).

Diversos são os desafios que podem ser encontrados durante a confecção da SPIM (e.g. ajuste da MS na colheita, peso para compactação da massa). Dentre eles, a escolha do tamanho teórico de partícula (TTP) para o corte da planta associado com o bom processamento dos grãos de milho ainda é um grande entrave enfrentado pelos produtores durante a colheita da lavoura, em especial as propriedades que utilizam colhedoras tracionadas por trator. Segundo Bernardes e Rêgo (2014), 90,4 % da utilização de máquinas pelos produtores no Brasil para a produção de silagem, ainda consiste no uso de colhedoras tracionadas por trator. Santos et al. (2020) também relatam que 87,0% dos produtores de gado leiteiro utilizam máquinas tracionada para a colheita do milho. Apesar de serem muito utilizadas, essas colhedoras são passíveis de não apresentarem uma boa precisão no corte, afetando o tamanho de partículas, proporcionando palhas longas e desuniformes, além de não apresentarem um bom processamento dos grãos (Bernardes, Carvalho e Silva, 2012; Carvalho e Strack, 2015).

No processo de confecção da silagem, algumas medidas de monitoramento podem ser utilizadas para melhorar a qualidade do produto final, tais como: a contagem de grãos inteiros e o uso do conjunto de peneiras Penn State. A partir destas técnicas, é possível obter medidas práticas no campo que irão auxiliar na tomada de decisões durante o processo de ensilagem, em especial a colheita do milho. O ajuste do tamanho de teórico de corte, o afiamento das facas e regulagem dos processadores de grãos (crakers) são algumas das medidas que podem

ser tomadas durante a confecção do alimento, obtendo um maior controle sobre o alimento que está sendo produzido, bem como as características nutricionais do produto final.

Com o avanço da tecnologia, atualmente temos no mercado colhedoras tracionadas por trator com processadores de grãos acoplado, o qual buscam melhorar a associação entre o tamanho teórico de partícula e o processamento dos grãos. Dessa forma, a disponibilidade de fibra fisicamente efetiva com a maior disponibilidade do amido para os animais pode ser alcançada. Objetivou-se com o presente estudo avaliar o desempenho de uma máquina tracionada por trator (JF-3200 AT S2) em três tamanhos teóricos de corte (7, 9 e 11 mm) de planta inteira de milho, sobre o processamento de grãos e distribuição das partículas, e digestibilidade da matéria seca e do amido de silagens de planta inteira de milho.

2 – REVISÃO DE LITERATURA

2.1 – Silagem de planta inteira de milho

A silagem é um produto originado pelo processo de conservação de forragem, através da fermentação de açúcares por bactérias, em ambiente anaeróbio, que convertem esses açúcares em ácidos orgânicos, os quais possuem a função de preservar a massa ensilada conservando o valor nutricional da forragem in natura, com o mínimo de perdas. Sua utilização na alimentação animal como fonte de fibra e energia é de grande importância, visto que os animais que são alimentados a pasto enfrentam um período de menor disponibilidade de forragem, decorrente dos efeitos da estacionalidade sobre as plantas forrageiras (Daniel et al, 2019).

Devido a sazonalidade do nosso clima a suplementação volumosa é uma das alternativas mais utilizadas nos períodos secos do ano. É importante ressaltar que o objetivo dessa técnica não está precisamente em maximizar o sistema de produção ou o potencial produtivo de um animal, mas sim de continuar atendendo as exigências requeridas pelos animais, as quais na época das águas são supridas pela pastagem, mantendo a sustentabilidade do sistema. É neste cenário, então, que ocorre a busca por técnicas de conservação com o objetivo de garantir a alimentação e a oferta de forragem de qualidade para os animais nos períodos de menor disponibilidade de alimento (Almeida, 2013; Faverdin et al., 2011).

Ainda segundo Almeida (2013), a busca por forragens conservadas também se dá devido uma melhor relação custo/benefício, pois a sua utilização nos sistemas de produção

como alternativa de suplementação, seja como feno ou silagem, são menos onerosos quando comparados ao uso de concentrados na dieta de ruminantes. Assim, o uso de forragens conservadas tem se tornado uma prática muito comum nos mais diversos sistemas de produção (intensivos, semi-intensivos e confinamentos).

Em um levantamento realizado para avaliar o uso de volumosos em fazendas de gado de leite, o milho é tido como a cultura mais utilizada pelos produtores para a confecção de silagem, seguido da cana-de-açúcar e do sorgo (Bernardes e Rêgo, 2014). Segundo Neumann et al. (2011), a silagem de milho é um importante alimento energético considerado essencial em sistemas de produção mais intensificados que visam uma alta produtividade, entretanto, a mesma exige altos recursos financeiros e uma boa relação entre as atividades agrônômicas, as técnicas de manejo e o processo de ensilagem para a obtenção de um volumoso de qualidade. De acordo com Jobim e Nusio (2014), um dos motivos de destaque para a utilização de milho na nutrição animal na forma de silagem são suas características agrônômicas como, elevado teor de carboidratos solúveis, boa capacidade de fermentação, simplicidade no cultivo, bons resultados na produção e boa qualidade do produto final. Aliado a isso, Allen et al. (2003) ressaltam outras características também favoráveis, como teor de MS, alta produtividade por hectare e ser fonte de fibra e energia na dieta dos animais.

Diversos outros estudos mostram a importância do uso de SPIM na alimentação animal pelos produtores. Daniel et al. (2019) relatam que SPIM tem sido a principal fonte de forragem utilizado na dieta de ruminantes, seja em sistemas intensivos ou algumas épocas do ano em sistemas a pasto. Em uma pesquisa feita com 260 fazendas no Brasil produtoras de leite apontou que 82,7% utilizam a SPIM sozinha ou em combinação com outra fonte de forragem na ração (Bernardes e Rêgo, 2014). Em outra pesquisa com 36 nutricionistas no Brasil, realizada por Silvestre e Millen (2021), apontam que 69,4% do nutricionistas utilizam a SPIM com principal fonte de volumoso em dietas de terminação. De modo geral, a SPIM ainda se mostra como o principal volumoso utilizado na dieta dos animais nos mais diversos sistemas de produção.

2.2 – Tamanho de partícula

O processamento da planta no campo é um dos fatores que pode trazer impactos no processo de produção de silagens. O tamanho de partícula é uma característica da planta colhida que pode interferir diretamente na capacidade de fermentação da forragem fresca e

também no desempenho animal (Neumann et al, 2007). Em relação a compactação, o tamanho de partícula está relacionado com a maior ou menor porosidade da massa estocada, o que implica diretamente na densidade da silagem e sua capacidade de fermentação (Mertens, 2005). Aliado a isso, maiores tamanhos de partícula podem dificultar a compactação, o que exige mais horas de trator durante a etapa de abastecimento do silo. Segundo Muck et al. (2003), um tamanho de partícula mais longo proporciona menor densidade da silagem, assim o oxigênio tem maior liberdade de movimentação dentro do silo gerando maiores perdas de matéria seca (MS).

Em relação a produção animal, o TTP possui grande influência nas formulações de dietas, pois implica na taxa de passagem e motilidade ruminal. Em situações que o TTP escolhido for mais longo, este poderá implicar em maior enchimento ruminal (tempo de retenção do alimento no rúmen) e, conseqüentemente, o consumo será afetado negativamente, visto que o animal irá dispor de um maior tempo de ruminação para melhor aproveitar a fibra do alimento. Por outro lado, TTP mais curto podem proporcionar alta taxa de passagem, desse modo, menor absorção dos alimentos no rúmen, gerando baixa produção pelo animal (Mertens, 1987).

A uniformidade no TTP também afeta o desempenho do animal devido a seleção de partículas longas no cocho, assim o animal não irá ingerir a quantidade de fibra suficiente para manter uma boa saúde ruminal (Heinrichs et al., 1999). Segundo Mertens (1997), um aumento na inclusão de fibra nas dietas promove maior atividade de mastigação e reduz a produção de ácido, e uma redução na quantidade de fibra fisicamente efetiva possui alta correlação com um decréscimo na atividade mastigatória, reduzindo a secreção de saliva, proporcionando uma queda do pH ruminal e também menor produção de gordura no leite.

Diferente de outras características da planta durante a confecção da silagem, o TTP pode ser ajustado à medida que a cultura é colhida. Para o monitoramento do TTP, foi desenvolvido um conjunto de três peneiras (19,8 e 4mm) mais o fundo, chamado de Penn State Particle Separator (PSPS), sendo possível obter valores de fibra fisicamente efetiva, a principal responsável por estimular mais mastigação, produção de saliva e tamponamento do rúmen. De acordo com Heinrichs (2013), para a SPIM alguns valores pré-dispostos devem ser encontrados nas peneiras para alcançar a fibra fisicamente efetiva ideal para o máximo

desempenho animal, sendo estes de 3 a 8% retidos na peneira de 19mm, 45 a 65% na de 8mm, 20 a 30% na de 4 mm e no fundo não pode passar de 10%.

2.3 – Processamento dos grãos de milho

Associar o bom processamento dos grãos juntamente com a fibra, adequando-se aos valores de fibra fisicamente efetiva relacionados com atividade de mastigação, pH ruminal e gordura do leite (Mertens;1997), é o grande desafio na produção de SPIM. Assim veio a importância dos processadores de grãos acoplados as colhedoras para quebrar os grãos em partículas menores expondo mais o endosperma do amido (Johnson et al., 1999; Allen et al., 2003).

Segundo Johnson et al., 1999; Ferraretto et al., 2018, a digestibilidade do amido pelos ruminantes pode ser influenciada por vários fatores, entre eles o mais importante é a quebra dos grãos, pois o endosperma do milho é recoberto pelo pericarpo, o qual é altamente resistente a degradação enzimática e microbiana (McAllister et al., 1994). Assim, a quebra do pericarpo é necessária para aumentar a disponibilidade de amido pelos microrganismos ruminais (Saylor et al., 2021).

Sabendo que o processamento dos grãos é muito importante para uma maior disponibilidade ruminal, existem técnicas de monitoramento que podemos utilizar para ajustar a colheitadora durante o processo de ensilagem buscando maior eficiência na hora do corte da forragem. Uma delas é a contagem de grãos inteiros utilizando um copo de 1 litro, assim é coletado uma amostra dentro do copo, levado para uma bancada limpa, separa-se a forragem dos grãos inteiros e realiza a contagem dos mesmos. Vale ressaltar que também existem técnicas laboratoriais que nos proporcionam valores sobre o processamento dos grãos depois da silagem pronta, os quais podemos basear com maior acurácia nos valores de amido presente na silagem, assim realizando um ajuste mais refinado da dieta. Uma delas é o teste de KPS (Kernel Processing Score), desenvolvido por Ferreira e Mertens (2005), onde utiliza-se um conjunto de peneiras o qual faz movimentos verticais separando a fração fibrosa dos grãos. A peneira de 4,75 mm serve como parâmetro onde os grãos quebrados em $\frac{1}{4}$ conseguem passar por ela, acima disso eles são retidos. Assim e feita uma análise de amido nas peneiras acima e abaixo de 4,75 mm, para analisar o grau de processamento do grão em proporção a amostra total. De acordo com Shinnors e Holmes (2013), os valores a serem seguidos como base são, amido acima de 70% abaixo da peneira de 4,75 mm possui ótimo

processamento, de 50 a 69% está adequado e abaixo de 50% o processamento está inadequado.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Confeção da silagem e distribuição dos tratamentos

O experimento foi conduzido no Departamento de Zootecnia na Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil (21°13'49" S, 44°58'10" W). O híbrido utilizado foi o LG3055 pro 3, e o plantio realizado nos dias 18 e 19/10/2019. As sementes foram plantadas em espaçamento de 0,6 m entre linhas, com 5,5 sementes por metro linear (90.000 plantas por hectare), em área útil de 9 ha. O milho foi colhido com, aproximadamente, 38,59% de MS utilizando uma máquina do tipo tracionada, da marca JF Máquinas, modelo 3200 AT S2, com processador de grãos +PRO removível.

A silagem de planta inteira de milho foi confeccionada em Fevereiro de 2020 e os tratamentos consistiram em três tamanhos de corte de partículas: 7, 9 e 11 mm. Durante a colheita, cada tamanho de partícula estabelecido era colocado em uma carreta e em seguida era feita a regulação da máquina para o próximo tamanho de corte, e assim sucessivamente. Desse modo, cada carreta era representativa de uma unidade experimental de cada tratamento. A forragem picada era então levada para um silo trincheira e, ao descarregar a massa colhida, realizou-se a coleta e homogeneização da planta picada para a confecção dos silos experimentais.

Foram utilizados como silos experimentais baldes de 5 L, com três repetições para cada tratamento, totalizando quinze unidades experimentais. Foram ensilados, em média, $3 \text{ kg} \pm 64 \text{ g}$ de forragem alcançando uma densidade média de $563,50 \pm 12,73 \text{ kg/m}^3$. A compactação foi realizada manualmente e os silos experimentais foram vedados com tampa e silicone e, por fim, pesados. Os baldes permaneceram fechados por 100 dias. Após o período de estocagem, os silos foram pesados e abertos. A camada superficial com sinais de deterioração de cada unidade experimental foi completamente removida e descartada e a silagem remanescente foi retirada e homogeneizada.

3.2 - Análise e preparo das amostras

As amostras da forragem fresca e da silagem foram recolhidas aleatoriamente para a determinação do TTP, utilizando o conjunto de peneiras Penn State Particle Separator (PSPS).

A contagem de grãos inteiros foi realizada apenas no material retido na peneira de 4mm. Na abertura dos silos foram separadas amostras para determinação das concentrações de MS, produtos finais da fermentação e análise do grau de processamento dos grãos (KPS). Anterior a abertura dos baldes, os mesmos foram pesados para determinar as perdas de matéria seca (PMS) durante o período de estocagem.

Foi determinada a concentração de matéria seca das amostras de forragem fresca e as silagens. Ambas foram secas em estufa de ventilação forçada de ar à 55°C durante 72 horas, conforme a AOAC (1990). As perdas de matéria seca ocorridas no processo de fermentação foram calculadas por diferença entre o peso do material colocado em cada silo na ensilagem e o peso dessas silagens no momento de abertura.

Na determinação dos produtos finais da fermentação, foram retirados 2 ml de amostra obtida a partir do extrato aquoso, onde foram centrifugadas, filtradas e injetadas em cromatógrafo de fase líquida de alta precisão (Shimadzu LC- 10Ai; Shimadzu Corp. Tokyo, Japão). Foram realizadas duas centrifugações de 10 minutos cada, a 10.000 rpm, a 4 °C. Os ácidos foram detectados pela absorvância do UV (210nm), e os álcoois foram identificados usando o detector de índice de refração (RID; 10ASPD-10Ai). O aparelho foi equipado com uma coluna de exclusão de íon (SUPELCO –SUPELCOGEL 8H-5cm-4,8mm) 28 operado a 30 °C com um fluxo de corrida de 0,5 ml/min com fase móvel água e ácido sulfúrico 0,005M.

Para a determinação do KPS (*Kernel Processing Score*), foi utilizado um equipamento, com um conjunto de 7 peneiras e o fundo, variando sua granulometria de 6,78 mm até o fundo, assim foi realizado a pré-secagem da amostra (55° C) e posteriormente levado para a máquina 100 g de amostra e seu processamento era realizado por 10 minutos com agitação vertical. Após a separação das partículas as peneiras foram pesadas separadamente e foram agrupadas as partículas abaixo da peneira de 4,75 mm. Após o agrupamento das amostras, essas foram moídas em moinho de faca tipo Willey a 1 mm e levadas para análise de amido e matéria seca em estufa a 105°C. As concentrações de amido que foram encontradas abaixo da peneira de 4,75 foram consideradas ótimas, moderadas e ruins, seguindo por valores acima de 70%, de 50 a 69% e abaixo de 49% respectivamente (Ferreira e Mertens, 2005; Shinnors e Holmes, 2013).

Para a avaliação de degradabilidade da MS e do amido, foi realizada incubação *in situ* das silagens utilizando a técnica de macrobags (Goeser and Combs; 2009). Foram utilizados

macrobags de tecido filet com dimensões de 20 x 40 cm (800 cm²) e as amostras pesadas utilizando a relação de 10 g MS silagem / cm², para cada saco. Os macrobags foram incubados por 0, 8, 16, 32 e 64 horas, em duplicata, totalizando 150 amostras. Foram utilizadas 2 vacas fistuladas, previamente adaptadas durante 7 dias, recebendo uma dieta contendo silagem de planta inteira de milho e concentrado. Após o período de incubação, os macrobags foram lavados e secos à estufa de ventilação forçada de ar à 55° C durante 72 horas. Foram registrados os pesos dos macrobags antes e após a incubação para determinação dos valores de MS. Após secagem em estufa, as amostras foram moídas em moinho de facas do tipo Willey com crivos de 1 mm. A concentração de amido foi determinada pelo método de Hall e Mertens (2008).

3.3 – Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três tratamentos e cinco repetições, totalizando 15 unidades experimentais. Os dados de MS, PMS, produtos da fermentação, distribuição de partículas, contagem de grãos inteiros e KPS foram analisados utilizando o PROC GLM do programa estatístico SAS (Statistical Analysis System – SAS Institute, 2001). As médias dos tratamentos foram estimadas pelo “LSMEANS” e a comparação foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu + P_i + e_{ij}$$

Sendo,

Y_{ij} = valor da variável referente à repetição que recebeu o tamanho teórico de partícula i ;

μ = média geral;

P_i = efeito fixo do tamanho teórico de partícula i , para $i = 7, 9, 11$;

e_{ij} = erro aleatório associado a cada observação Y_{ij} .

Os resultados referentes ao desaparecimento da MS e do amido das silagens de planta inteira de milho foram analisados em fatorial 3 x 5, com três tamanhos teóricos de partícula (7, 9, 11mm) e cinco tempos de incubação (0, 8, 16, 32, 64 horas) utilizando o PROC MIXED

do programa estatístico SAS (Statistical Analysis System – SAS Institute, 2001). As médias dos tratamentos foram estimadas pelo “LSMEANS” e a comparação foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, de acordo com o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + I_j + (P*I)_{ij} + e_{ijk}$$

Sendo,

Y_{ijk} = valor da variável referente à repetição que recebeu o tamanho teórico de partícula i no tempo de incubação j ;

μ = média geral;

P_i = efeito fixo do tamanho teórico de partícula i , para $i = 7, 9, 11$;

I_j = efeito fixo do tempo de incubação j , para $j = 0, 8, 16, 32, 64$;

$P*I_{ij}$ = efeito da interação entre o tamanho de partícula i na incubação j ;

e_{ijk} = erro aleatório associado a cada observação Y_{ijk} .

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações e perdas de MS das silagens, produtos finais da fermentação, distribuição das partículas da matéria fresca e da silagem, contagem de grãos inteiros e KPS estão apresentados na Tabela 1.

Silagens colhidas a 11mm tiveram maior MS ($P = 0,017$) em comparação as silagens colhidas a 7mm, mas não diferiram daquelas colhidas a 9 mm. Essa diferença na MS pode ser explicada devido a perdas no campo por respiração da planta, onde ocorre perda de carboidratos devido a metabolização destes pela planta para gerar energia tentando mantê-la viva e também por atividade proteolítica (Rooke and Hatfield, 2003). Independente do TTP estabelecido para colheita do milho, observou-se que não houve diferença ($P = 0,099$) entre as silagens para as PMS durante o período de estocagem. O ácido butírico e 1,2-propanodiol não foram detectados nas silagens avaliadas.

Dentre os produtos finais da fermentação, não houve diferença nas concentrações dos ácidos láctico ($P = 0,270$) e acético ($P = 0,581$) e etanol ($P = 0,168$) das silagens em nenhum dos tratamentos. A não diferença entre as concentrações de ácido láctico podem ser atribuídas

ao bom processo de fermentação dessas silagens, independente do TTP estabelecido durante a colheita.

Tabela 1 – Concentração e perdas de MS, produtos finais da fermentação, distribuição das partículas e contagem de grãos inteiros (massa fresca e silagem) e Kps de silagens de planta inteira de milho colhidas em diferentes tamanhos teóricos de partícula.

Variáveis	Tratamentos			EPM	P-valor
	7 mm	9 mm	11 mm		
MS ¹ (%)	36,64 b	37,21 ab	38,19 a	0,328	0,017
PMS ² (%)	6,66	4,30	2,74	1,175	0,099
Ácido láctico (% MS)	6,42	7,38	7,38	0,456	0,270
Ácido acético (% MS)	0,79	0,85	0,87	0,056	0,581
Ácido propiônico (% MS)	0,08 b	0,20 a	0,22 a	0,038	0,045
Ácido butírico	ND*	ND	ND	-	-
Etanol (% MS)	1,65	1,70	1,86	0,076	0,168
1,2-propanodiol (% MS)	ND	ND	ND	-	-
Massa fresca					
19 mm (%)	6,31 ab	5,54 b	8,31 a	0,650	0,029
8 mm (%)	56,51 b	58,89 ab	62,75 a	1,094	0,005
4 mm (%)	25,11 a	21,82 b	16,13 c	0,553	<0,0001
Fundo (%)	12,05	13,73	12,79	0,643	0,2213
Grãos inteiros	15	11	12	1,148	0,099
Silagem					
19 mm (%)	3,27 b	4,32 b	7,38 a	0,807	0,009
8 mm (%)	58,64 b	62,55 ab	66,54 a	1,363	0,005
4 mm (%)	26,03 a	20,61 b	13,55 c	0,917	<0,0001
Fundo (%)	12,04	12,50	12,52	0,888	0,912
Grãos inteiros	14	13	9	2,218	0,337
KPS ³ (%)	46,12	48,15	50,63	1,308	0,0883

¹MS = matéria seca; ²PMS = perdas de matéria seca; ³KPS = kernel processing score; *ND = não detectado

Pode-se observar também que as silagens apresentaram um perfil homolático, característico de silagens de milho, com a maior relação lactato:acetato (Kung Jr et al., 2018). As concentrações de etanol em silagens de milho podem ser atribuídas à fermentação de bactérias heterofermentativas facultativas ou de outros microrganismos de caráter indesejáveis na fermentação (e.g. bactérias do ácido acético e leveduras), contudo, o bom padrão de

fermentação dessas silagens pode ter contribuído para o não crescimento desses microrganismos durante a estocagem, visto que o ambiente anaeróbio e o pH dessas silagens auxiliam na inibição do metabolismo desses microrganismos (Pahlow et al., 2003).

O ácido butírico é comumente relacionado com a atividade de Clostrídeos em silagens, contudo, em silagens de planta inteira de milho a concentração desses ácidos são mínimas, visto que as características intrínsecas da planta, juntamente com o padrão de fermentação da cultura não permitem a proliferação dessas bactérias durante a fermentação. Desse modo, é comum que as concentrações de ácido butírico nessas silagens sejam mínimas ou até mesmo indetectáveis durante a fermentação (Kung et al., 2018). Em relação ao 1,2-propanodiol, é elucidado na literatura que a formação deste composto está relacionado ao metabolismo anaeróbio do ácido láctico por *Lactobacillus buchneri* para formação de ácido acético (Oude Elferink et al., 2020). Contudo, no presente estudo, não foi possível observar a presença desse composto durante a fermentação. Esse resultado não necessariamente implica o não crescimento de bactérias da espécie *L. buchneri* durante a fermentação, uma vez que essas bactérias também podem utilizar de outros substratos para o seu crescimento, e que não apresentam o 1,2-propanodiol como um dos produtos do seu metabolismo (Borreani et al., 2018).

Diferentemente dos demais produtos finais da fermentação, verificou-se uma diferença na concentração de ácido propiônico ($P = 0,045$), com maiores concentrações nas silagens colhidas a 9 e 11mm. Huber e Soejono (1976) em um estudo com a adição de ácido propiônico e ácido fórmico em silagens de MS média (36%) e MS elevada (44%), mostrou melhores resultados no controle de estabilidade da silagem em matéria seca mais alta, principalmente do ácido propiônico. Nos resultados obtidos, houve maior concentração de ácido propiônico nas silagens com maior teor de MS, podendo ter relação entre esses dois fatores.

Em relação à distribuição das partículas da forragem fresca, foi possível observar uma diferença dessa distribuição nas peneiras de 19mm ($P = 0,029$), 8mm ($P = 0,005$) e 4mm ($P < 0,0001$). Silagens colhidas a 11mm proporcionaram maior retenção de partículas nas peneiras de 19 e 8 mm em comparação às demais silagens. Por outro lado, as silagens quando foram colhidas em TTP de 7mm, tiveram maior retenção das partículas na peneira de 4mm. Dentre as peneiras, as maiores variações ocorreram nas peneiras de 8 e 4mm, os TTP escolhidos influenciaram nas proporções encontradas em cada peneira. Seguindo os resultados podemos

observar que o tamanho de corte influencia diretamente na distribuição das partículas, onde quando se elevou a regulagem do corte, a proporção de partículas retidas nas peneiras de maiores crivos também aumenta, conseqüentemente, reduz as partículas retidas nas peneiras inferiores. De acordo com Cook e Bernard (2005), a medida que o TTP diminui, o processamento dos grãos (KP) aumenta, ocorrendo uma menor retenção das partículas nas peneiras superiores e uma maior deposição na peneira inferior e fundo. A contagem de grãos inteiros, por sua vez, não teve diferença entre os tratamentos na forragem fresca ($P = 0,099$) e também não teve na silagem ($P=0,337$).

Na distribuição das partículas nas peneiras de silagem também houve uma diferença nas peneiras de 19mm ($P = 0,009$), 8mm ($P = 0,005$) e 4mm ($P < 0,0001$). Na silagem colhida a 11mm houve uma maior retenção de partículas nas peneiras de 19 e 8mm comparadas aos outros tamanhos de corte. Na peneira de 4mm a proporção de partículas teve diferença entre os três tratamentos, seguindo um comportamento linear onde à medida que aumentou o TTP, aumentou a retenção de partículas. As silagens colhidas a 7mm apresentaram maior retenção de partículas, seguidos pelo corte a 9mm e 11mm. Segundo Heinrichs e Jones (2013), para se garantir uma boa distribuição de silagem nas peneiras, alguns valores são pré-dispostos, onde na peneira de 19mm variando de 3 a 8%, na de 8mm de 45 a 65%, na de 4mm de 20 a 30% e no fundo não podendo passar de 10%, assim alcançando uma efetividade da fibra para o animal. Desta maneira observamos que a distribuição da silagem nesse experimento se encaixou dentro destes parâmetros, com valores médios de 4,99%, 62,57%, 20,06% e 12,35%, para as peneiras 19, 8, 4 e fundo respectivamente, ultrapassando um pouco somente na peneira do fundo. Para a contagem de grãos inteiros não houve diferença entre as silagens ($P = 0,337$).

Os resultados de KPS não tiveram diferença entre si ($P = 0,0882$), evidenciando que o TTP não afeta o grau de processamento dos grãos no momento da colheita. O processamento dos grãos possui grande interferência nos produtos finais da fermentação no silo e também na digestibilidade do amido para os animais. A eficácia no processamento dos grãos depende de vários fatores e umas delas são, maturidade ou teor de MS, tamanho de corte estabelecido, tipo e distância dos processadores (Shinners et al, 2000). Grãos de milho mal processados limitam o acesso de microorganismos proteolíticos ao endosperma e conseqüentemente reduz a degradação das prolaminas no período de estocagem (Gomes et al, 2020). A partir disso, podemos assumir maiores frações dos grãos e maiores quantidades de prolamina podem

ocasionar em menor digestibilidade do amido (McAllister et al, 1993). No presente estudo, podemos pressupor que a não diferença entre o processamento dos grãos nas silagens avaliadas não irão afetar negativamente a disponibilidade do amido para os animais, independente do TTP. Os dados referentes ao desaparecimento da MS e do amido das silagens pode ser evidenciado nos gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Desaparecimento da matéria seca (MS) de silagens de planta inteira de milho colhidas em três tamanhos teóricos de partícula em diferentes tempos de incubação.

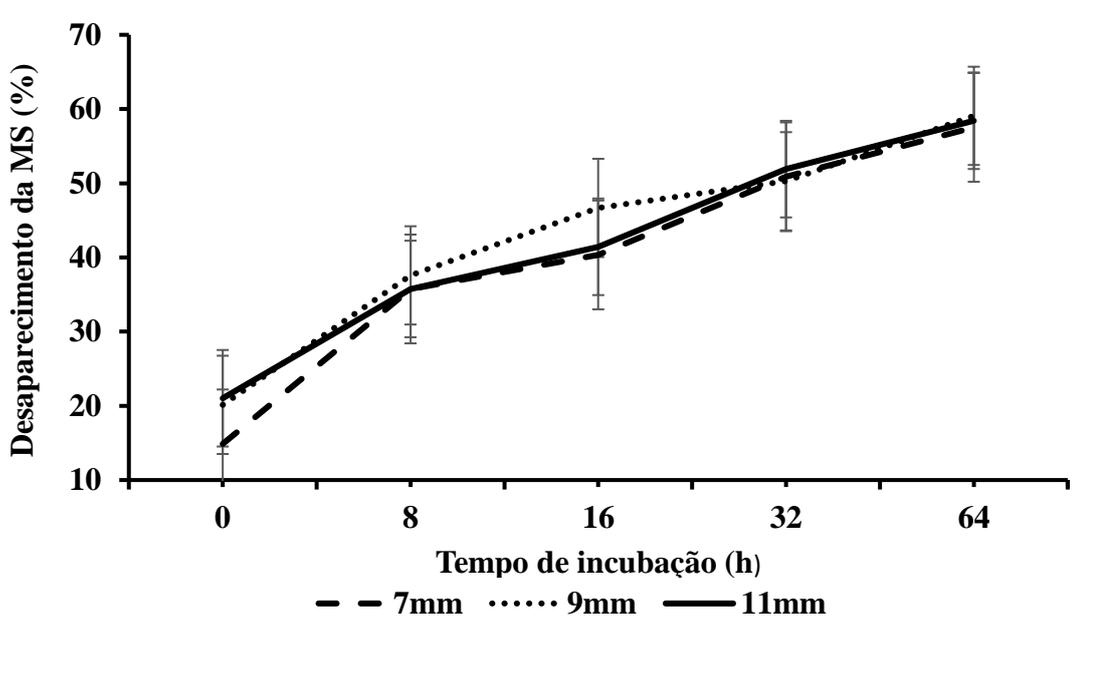
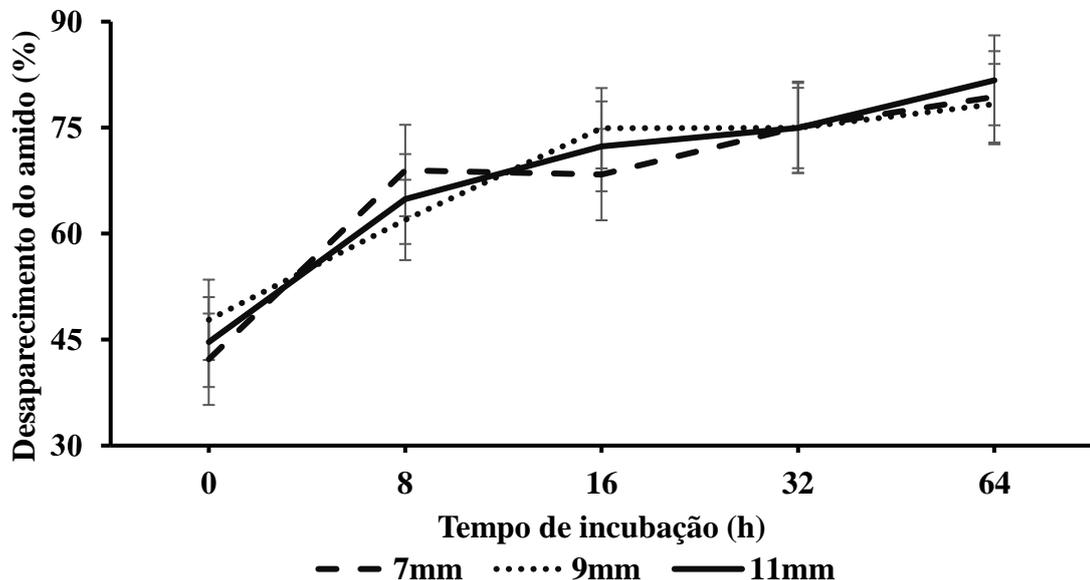


Gráfico 2 – Desaparecimento do amido de silagens de planta inteira de milho colhidas em três tamanhos teóricos de partícula em diferentes tempos de incubação.



Os resultados de desaparecimento de MS não tiveram interação entre TTP e tempo de incubação ($P = 0,302$). Por outro lado, o desaparecimento da MS foi afetado apenas pelo tempo de incubação, sendo maior com 64 h seguido por 32, 16, 8 e 0 h de incubação com valores de 58,34, 51,01, 42,81, 37,42 e 18,67%, respectivamente ($P < 0,0001$). O TTP não influenciou o desaparecimento da MS ($P = 0,227$). Andrae et al, (2001) analisando o processamento e redução do tamanho de partícula e estádios de colheita (30 e 40% MS) verificaram que com 24 h de incubação, o processamento aumentou a degradabilidade da MS. Contradizendo Zobell et al, (2004), realizando o processamento com máquina autopropelida, observaram que houve diminuição no tamanho de partícula e na digestibilidade da MS com 61 e 63% para processada e não processada, respectivamente. Serafim et al, (2005), avaliando o desaparecimento de MS em três híbridos diferentes de sorgos em sete horários de incubação (96, 72, 48, 24, 12, 6, 0 h) obtiveram resultados semelhantes no tempo 0 h para os três híbridos (23%) e alcançou uma estabilização da curva de desaparecimento em 72 h e em 96 h não houve diferença entre nenhum híbrido. No presente estudo foi possível observar resultados próximos aos apresentados pelos trabalhos citados acima.

No desaparecimento do amido também não houve interação entre o TTP e o tempo de incubação ($P = 0,070$). Entre os tempos de incubação houve diferença, apresentando um maior desaparecimento em 64 h de 79,79%, os horários de 32 e 16 h foram iguais estatisticamente, sendo seus valores 74,97 e 71,87% respectivamente, seguidos por 8 h com 65,25% e 0 h com 44,89% ($P < 0,0001$). O TTP não influenciou o desaparecimento do amido das silagens ($P = 0,749$). A MS tem grande correlação com o desaparecimento de amido, onde durante o processo de fermentação do silo, proteínas, incluído as prolaminas do endosperma são quebradas em aminoácidos e são convertidas em amônia e ácidos orgânicos (Baron et al, 1986.; Rooke e Hatfield, 2003.; Hoffman et al, 2011). Altas concentrações de amônia estão relacionada com o aumento do desaparecimento de MS (Ferrareto et al., 2014.; Fernandes, 2014.; da Silva et al., 2019).

Os resultados de distribuição das partículas nas peneiras não interferiram nos valores de desaparecimento da MS e amido e, baseando em valores anteriormente citados, foi possível alcançar uma boa relação das partículas nas peneiras de 8 e 4 mm garantido uma efetividade da fibra. A contagem de grãos inteiros não houve diferença entre os tratamentos, porém no TTP de 11 mm obteve números expressivos que leva a escolher esse tamanho de corte. Não

houve interação entre o KPS e o desaparecimento de amido nos resultados, mesmo com o processador de grãos acoplado não foi alcançado um valor aceitável de processamento.

5 – CONCLUSÃO

Os maiores TTP tenderam a proporcionar maior retenção de partículas nas peneiras de 19mm. Por outro lado, o aumento do corte não interfere no desaparecimento da MS e do amido, evidenciando a maior influência do tempo que o alimento fica retido no rúmen sobre o desaparecimento desses nutrientes. Além disso, o aumento do TTP não interfere no grau de processamento do grão quando se utiliza esse tipo de máquina.

REFERÊNCIAS

- Allen M. S.; Coors J. G. e Roth G. W. 2003. Corn Silage. In: Buxton B. R., Muck R. E., Harrison J. H. (Eds). Silage science and technology. 1 ed. Madison: American Society of Agronomy. 547 – 608.
- Andrae, J. G. et al. 2001. Effect of hybrid, maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. *Journal of Animal Science* 79: 2268-2275.
- Baron V. S.; Stevenson K. R. e Buchanan-Smith J. G. 1986. Proteolysis and fermentation of grain-corn ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. *Canadian Journal of Animal Science* 66:451-461.
- Bernardes T. F. e do Rego A. C. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. *Journal of Dairy Science* 97: 1852-1861.
- Bernardes, T. F.; Carvalho, I. Q. e Silva, N. C. 2012. A snapshot of maize silage quality on dairy farms in South Brazil. In K. Kuoppala, M. Rinne & A. Vanhatalo (Eds.). *Proceedings of the XVI International Silage Conference*. pp. 322–323.
- Borreani, G. et al. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal Dairy Science*. 101:3952–3979.
- Carvalho, I. Q. e Strack, M. 2015. Evolution of corn silage quality in the Campos Gerais region – Brazil. In J. L. P. Daniel, G. Morais, D. Junges e L. G. Nussio (Eds.). *Proceedings of the XVII International Silage Conference*. pp. 476–477.
- Cooke, K. M. e Bernard, J. K. 2005. Effect of Length of Cut and Kernel Processing on Use of Corn Silage by Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 88:310-316.
- Da Silva, N. C. et al. 2019. Influence of storage length and inoculation with *Lactobacillus buchneri* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of high-moisture corn and rehydrated corn grain silage. *Animal Feed Science and Technology*. 251:124–133.
- Daniel, J. L. P. et al. 2019. Production and utilization of silages in tropical areas with focus on Brazil. *Grass Forage Sci*. 74:188-200.
- dos Santos, A. O. et al. 2020. A survey of whole-plant corn silages from Minas Gerais dairy farms. *Scientia Agricola*. 77: e20180080.

- Fernandes, J. 2014. Influence of genotype, maturity, and storage length on the quality of corn grain silages [master's thesis]. Piracicaba (Brazil): Department of Animal Science, University of São Paulo, ESALQ.
- Ferraretto, L. F. et al. 2014. Relationships between dry matter content, ensiling, ammonia-nitrogen, and ruminal in vitro starch digestibility in high-moisture corn samples. *Journal of dairy science* 97:3221-3227.
- Ferraretto, L. F.; Shaver, R. D. e Luck, B. D. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of dairy science* 101:3937-3951.
- Ferreira, G. e Mertens, D. R. 2005. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. *Journal of Dairy Science*. 88:4414-4425.
- Ferreira, G. e Mertens, D. R. 2005. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. *Journal of dairy science* 88: 4414-4425.
- Goeser, J. P. e Combs, D. K. 2009. An alternative method to assess 24-h ruminal in vitro neutral detergent fiber digestibility. *Journal of dairy science* 92:3833-3841.
- Gomes, A. L. Et al. 2020. Effects of processing, moisture, and storage length on the fermentation profile, particle size, and ruminal disappearance of reconstituted corn grain. *Journal of Animal Science* 98:skaa332.
- Grant, R. J. e Adesogan, A. T. 2018. *Journal of Dairy Science Silage Special Issue: Introduction*. *Journal of Dairy Science*. 101:3935-3936.
- Heinrichs, J. 2013. The Penn State Particle Separator. *Cooperative Extension College of Agricultural Sciences*. 186: 1-8.
- Heinrichs, A. J.; Buckmaster, D. R. e Lammers, B. P. 1999. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. *Journal of animal science* 77:180-186.
- Hoffman, P. C. et al. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. *Journal of Dairy Science* 94:2465–2474.
- Huber, J. e Soejono M. 1976. Organic acid treatment of high dry matter corn silage fed lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*. 59:2063-2070.
- Jobim, C. C. e Nussio, L. G. 2014. Princípios básicos da fermentação na ensilagem. In: Reis R. A.; Bernardes T. F. e Siqueira G. R. (Eds.). *Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão dos recursos forrageiros*. Jaboticabal: FUNEP, p.649-660.

- Johnson, L. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. *Journal of dairy science* 82: 2813-2825.
- Johnson, L. et al. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. *Journal of dairy science* 82(12), 2813-2825.
- Jones, C. M. e Heinrichs J. 2013. Penn State Particle Separator. Penn State Extension. Disponível em: <https://extension.psu.edu/penn-state-particle-separator>
- Kumar, D. e Jharyia A. N. 2013. Nutritional, Medicinal and Economical importance of Corn: A Mini Review. *Research Journal of Pharmaceutical Science*. 2:1-6.
- Kung Jr, L. et al. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal Dairy Science*. 4020 – 4033.
- McAllister, T. A. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *Journal of animal science* 71:205-212.
- McAllister, T. A. et al. 1994. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. *Journal of animal science* 72:3004-3018.
- Mertens, D. R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of animal science* 64:1548-1558.
- Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of dairy science* 80:1463-1481.
- Mertens, D. R. 2005. Particle Size, Fragmentation Index, and Effective Fiber: Tools for Evaluating the Physical Attributes of Corn Silages. In: Proc. Four-State Dairy Nutr. & Mgmt. Conf. MWPS-4SD18.p.211-220.
- Muck, R. E.; Moser, L. E. e Pitt, R. E. 2003. Postharvest factors affecting ensiling. In: Buxton B. R., Muck R. E., Harrison J. H. (Eds). *Silage science and technology*. 1 ed. Madison: American Society of Agronomy 251-304.
- Neumann, M. et al. 2007. Efeito do tamanho de partícula e da altura de corte de plantas de milho na dinâmica do processo fermentativo da silagem e no período de desensilagem. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36:1603-1613.
- Oude Elferink, S. J. W. H. et al. 2001. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1,2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. *Applied and Environmental Microbiology*. 67:125-132.

- Pahlow, G. et al. 2003. 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. 2.31-93.
- Rooke, J. H. e Hatfield R. D. 2003. Biochemistry of Ensiling. In: Buxton B. R., Muck R. E., Harrison J. H. (Eds). Silage science and technology. 1 ed. Madison: American Society of Agronomy. 95 – 139.
- Saylor, B. A. et al. 2021. Effect of forage processor roll gap width and storage length on fermentation profile, nutrient composition, kernel processing score, and starch disappearance of whole-plant maize silage harvested at three different maturities. Agriculture 11:574.
- Serafim, M.V. et al. 2000. Desaparecimento in situ da matéria seca, proteína bruta e fração fibrosa das silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L). Moench). Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia 52:634-640.
- Shinners, K. J. e Holmes B. J. 2013. Making Sure Your Kernel Processor Is Doing Its Job. Focus on Forage. 15:1-4.
- Shinners, K. J. et al. 2000. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. Applied Engineering in Agriculture 16:323-331.
- Silvestre, A. M. e Millen, D. D. 2021. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. Revista Brasileira de Zootecnia 50:e20200189.
- Silvestre, A. M. e Millen, D. D. 2021. The 2019 Brazilian survey on nutritional practices provided by feedlot cattle consulting nutritionists. Revista Brasileira de Zootecnia 50:e20200189.
- Veldjkovic, V. B. et al. 2018. Biodiesel production from corn oil: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 91:531-548
- ZoBell, D., Olson K. e Wiedmeier, R. 2004. Processed Corn Silage Effects on Digestibility and Production of Growing Beef Replacement Heifers. Acessado em 12/11/21. Disponível em https://digitalcommons.usu.edu/extension_curall/472/
- Almeida, J. G. R. 2013. Valor alimentar da dieta em ruminantes alimentados com azevém e diferentes níveis de forragem suplementar a base de silagem de milho. Dissertação de Mestrado – Universidade do Estado de Santa Catarina, C.C.A., Lages, 58p.

- Faverdin, P. et al. 2011. Graze. In: a Modelo f Herbage Intake and Milk Production for Grazing Dairy Cows. 1. Prediction of Intake Capacity, Voluntary Intake and Milk Production During Lactation. Grass and Forage Science 66:29-44.
- Neumann, M. et al. 2011. Aplicações de procedimentos técnicos na ensilagem do milho visando maior desempenho animal. In: Simpósio: Produção e utilização de forragens conservadas, 4 ed., Maringá, 2011. Anais... Maringá: Sthampa, p.95-130.
- Hall, M. B. e Mertens, D. R. 2008. In vitro fermentation vessel type and method alter fiber digestibility estimates. Journal of Dairy Science 91:301-307.