



**AVALIAÇÃO DE NOVOS HÍBRIDOS DE MILHO PARA A
PRODUÇÃO DE SILAGEM**

VINICIUS PEIXOTO CAMPOS

2022



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**AVALIAÇÃO DE NOVOS HÍBRIDOS DE MILHO PARA A
PRODUÇÃO DE SILAGEM**

Autor: Vinicius Peixoto Campos
Orientador: Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

ITAPETINGA
BAHIA - BRASIL
Janeiro de 2022

VINICIUS PEIXOTO CAMPOS

**AVALIAÇÃO DE NOVOS HÍBRIDOS DE MILHO PARA A
PRODUÇÃO DE SILAGEM**

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientador: Luiz Gustavo Ribeiro Pereira

Coorientador: Thierry Ribeiro Tomich

ITAPETINGA
BAHIA - BRASIL
Janeiro de 2022

633.15 Campos, Vinicius Peixoto.
C218a Avaliação de novos híbridos de milho para a produção de silagem. /
Vinicius Peixoto Campos. - Itapetinga: Universidade Estadual do Sudoeste da
Bahia, 2021.
44fl.

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação do Prof. D. Sc. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira e coorientação do Prof. D. Sc. Thierry Ribeiro Tomich.

1. Milho híbrido - Produção de silagem. 2. Silagem de milho híbrido. 3. Milho - Forragem – Fermentação - Grão. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. II. Pereira, Luiz Gustavo Ribeiro. III. Tomich, Thierry Ribeiro. IV. Título.

CDD (21): 633.15

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Milho híbrido - Composição bromatológica
2. Milho híbrido – Produção de metano - Silagem
3. Milho híbrido - Parâmetros fermentativos - Silagem

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA - PPZ
Área de Concentração: Produção de Ruminantes

Campus Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: "Avaliação de novos híbridos de milho para a produção de silagem".

Autor (a): Vinícius Peixoto Campos

Orientador (a): Prof. Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira


Coorientador (a): Prof. Dr. Thierry Ribeiro Tomich

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ZOOTECNIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO DE RUMINANTES, pela Banca Examinadora:

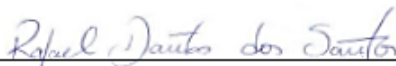


Prof. Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira – EMBRAPA

Orientador



Prof. Dr. Alex de Matos Teixeira - UFU



Prof. Dr. Rafael Dantas dos Santos – EMBRAPA

Data de realização: 04 de março de 2021.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pela saúde e por me conceder a oportunidade de melhorar vidas através da pesquisa.

Aos meus pais, Iranice Filho Peixoto Campos e Valmir de Santana Campos, pelos ensinamentos, conselhos, apoio e compreensão. Base forte que me fez ser uma boa pessoa.

A minhas irmãs, Adriana e Rosana, pelo amor sem medida, torcida e apoio em todas as minhas decisões e por me darem os melhores presentes da vida, meus sobrinhos Anthony, Davi e Pedro.

A minha namorada, Arielly Oliveira Garcia, pelo amor, carinho e compreensão nos momentos instáveis, pela força motivacional que sempre me deu e pelo suporte com as atividades acadêmicas.

Ao meu orientador, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, pela confiança, por todo o suporte prestado, compreensão e paciência, além dos inúmeros conselhos motivacionais em momentos de baixa produtividade intelectual/acadêmica.

Ao meu coorientador, Thierry Ribeiro Tomich, que sempre foi prestativo e não mediu esforços para a execução desse estudo.

Aos meus mestres, professores, que carregam a imensa responsabilidade de capacitar pessoas, gerar conhecimento e melhorar vidas a partir da educação.

A todos os amigos, pela torcida, apoio, resenhas e momentos felizes.

À UFRB, pela oportunidade de realização da graduação. Lugar onde fiz grandes amizades e onde considero minha segunda casa.

À UESB, pela oportunidade de realização do curso de pós-graduação em nível de mestrado.

À Embrapa Gado de Leite e a todos os servidores envolvidos na execução do projeto, pela oportunidade de desenvolver pesquisa numa das instituições mais importantes do país.

À CAPES, pelo fomento à bolsa de estudos.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADO!

BIOGRAFIA

Vinicius Peixoto Campos, filho de Valmir de Santana Campos e Iranice Filho Peixoto Campos, nasceu em Capela do Alto Alegre – Bahia, no dia 17 de novembro de 1993.

Em junho de 2013, iniciou o curso de Bacharelado em Zootecnia na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, campus de Cruz das Almas-BA, finalizando-o em fevereiro de 2019.

Em março de 2019, iniciou o curso de Pós-Graduação em Zootecnia, em nível de Mestrado, área de concentração Produção de Ruminantes, na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, sob orientação do Professor Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira.

Em 04 de março de 2021, submeteu-se à defesa da presente Dissertação.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. REFERENCIAL TEÓRICO	1
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Milho.....	3
1.2 Cultivo de milho para produção de silagem	3
1.2.1 Híbridos com características favoráveis à produção de silagem.....	4
1.3 Fatores relacionados com o valor nutritivo da silagem de milho	6
1.3.1 Maturidade à colheita.....	6
1.3.2 Tipo de grão	7
1.3.3 Tamanho de partículas e processamento dos grãos.....	8
1.4 Uso de silagem de milho na alimentação de ruminantes	10
1.5 Considerações sobre os processos fermentativos na silagem de milho	11
1.6 Parâmetros indicativos de qualidade da silagem	13
1.6.1 Potencial hidrogeniônico (pH).....	13

1.6.2	Nitrogênio amoniacal (N-NH ₃)	14
1.6.3	Ácidos orgânicos	14
1.7	Referências bibliográficas.....	16
II.	OBJETIVOS	23
	Objetivo Geral:	23
	Objetivos específicos:	23
III.	MATERIAL E MÉTODOS	24
IV.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
V.	CONCLUSÕES	38
VI.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
VII.	REFERÊNCIAS.....	40

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1: Pluviosidade (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) durante o período experimental..... 24

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Características agronômicas fornecidas pela empresa obtentora dos híbridos de milho utilizados neste estudo.	25
Tabela 2. Composição química e digestibilidade <i>in vitro</i> das silagens de oito híbridos de milho para produção de silagem.	31
Tabela 3. Parâmetros fermentativos das silagens de oito híbridos de milho	34
Tabela 4. Proporção (%) de partículas retidas nas peneiras de diferentes tamanhos e escore de processamento de grãos das silagens de oito híbridos de milho.....	35
Tabela 5. Produção de metano (CH ₄), e digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DivMS) da silagem de oito híbridos de milho.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ác. Acet. – Ácido Acético

Ác. But. – Ácido Butírico

Ác. Lát. – Ácido Láctico

AGVs – Ácidos Graxos Voláteis

°C – Celsius

CH₄ – Metano

CHOT – Carboidratos Totais

cm – Centímetro

CMS – Consumo de Matéria Seca

CNF – Carboidratos Não Fibrosos

CO₂ – Dióxido de Carbono

DIVMS – Digestibilidade *in vitro* Da Matéria Seca

EE – Extrato Etéreo

EPM – Erro Padrão Da Média

FDA – Fibra Insolúvel Em Detergente Ácido

FDN – Fibra Insolúvel Em Detergente Neutro

FDN_{pe} – Fonte de Fibra Fisicamente Efetiva

g – Força Da Gravidade

h – Hora

ha – Hectare

H₂O – Água

HCl – Ácido Clorídrico

HPLC – Cromatografia Líquida De Alta Eficiência

kg – Quilograma

kg/m³ – Quilograma Por Metro Cúbico

kgf – Quilograma de força

KPS – Escore de Processamento do Grão

LIG – Lignina

mg – Miligrama

min – Minuto

mL – Mililitro

MM – Matéria Mineral

m – metro

m² – Metro Quadrado

mm – Milímetro

MO – Matéria Orgânica

MS – Matéria Seca

MSD – Matéria Seca Digerida

N – Nitrogênio

NDT – Nutrientes Digestíveis Totais

nm – Nanômetro

N-NH₃ – Nitrogênio Amoniacal

N-NH₃/NT – Nitrogênio Amoniacal em Proporção do Nitrogênio Total

NNP – Nitrogênio Não Proteico

NPK – Nitrogênio, Fósforo E Potássio

NT – Nitrogênio Total

O₂ – Oxigênio

PB – Proteína Bruta

pH – Potencial Hidrogeniônico

PVC – Poli Cloreto de Vinila

t – Tonelada

TMP – Tamanho Médio de Partícula

v/v – Volume Por Volume

Zn – Zinco

% – Percentagem

μm – Micrómetro

μmol – Micromol

RESUMO

CAMPOS, Vinicius Peixoto. **Avaliação de novos híbridos de milho para a produção de silagem**. Itapetinga, BA: UESB, 2021. 43 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, Área De Concentração Em Produção De Ruminantes)*

Objetivou-se avaliar a composição bromatológica, digestibilidade e produção de metano in vitro, os parâmetros fermentativos, o tamanho de partícula e processamento de grãos de silagens de oito híbridos de milho: RK3115, K9105 VIP3, K9960 VIP3, K9822 VIP3, R9080 CONV, R9080 PRO2, RB9789 VIP3 e RB9060 CONV. O híbrido R9080 CONV foi superior à RB9789 VIP 3 para teor de matéria seca (407,7 e 322,7 g kg⁻¹). O teor de carboidratos totais e carboidratos não fibrosos variou entre 84,03-87,16 e 37,43-48,79 g kg⁻¹ MS, respectivamente. Dentre os parâmetros fermentativos, apenas o nitrogênio amoniacal em proporção do nitrogênio total variou (5,95 a 10,32). Houve variabilidade na distribuição de partículas entre os híbridos. Maior variação foi observada na peneira de 4 a 8 mm (42,2 a 61,9%). Os grãos foram processados eficientemente para todos os híbridos (superiores a 90%). Na avaliação de produção de gases, houve diferença entre os híbridos para volume total de gás produzido, com menores valores observados para R9080 CONV, K9105 VIP3 e K9960 VIP3 (39,0, 40,7 e 42,3 mL g⁻¹ MS, respectivamente). O híbrido R9080 CONV apresentou menores valores de produção de metano por grama de matéria seca incubada e produção de metano por grama de matéria seca degradada (2,8 e 4,8 mL, respectivamente) quando comparado com K9822 VIP3, R9080 PRO2 e RB9060 CONV; com médias para produção de metano por grama de matéria seca incubada de 4,8, 4,7 e 4,6 mL, e para produção de metano por grama de matéria seca degradada, as médias foram 8,4, 8,0 e 8,1, respectivamente. Os híbridos apresentam semelhanças em termos de composição química, digestibilidade in vitro da matéria seca e parâmetros fermentativos. Maiores diferenças foram observadas para o tamanho de partícula, com destaque para os híbridos K9960 VIP3 e RB9789 VIP3, que apresentaram melhor distribuição entre as peneiras. **Palavras-chave:** fermentação, forragem, grão, metano, silagem de milho.

* Orientador: Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, Dr. Embrapa Gado de Leite e Coorientador: Thierry Ribeiro Tomich, Dr. Embrapa Gado de Leite.

ABSTRACT

CAMPOS, V. P. **Evaluation of new corn hybrids for the silage production.** Itapetinga, BA: UESB, 2021. 43 p. Dissertation (Master in Animal Science, Area of Concentration in Ruminant Production).*

The objective of this research was to evaluate chemical composition, digestibility and in vitro methane production, fermentation parameters, size of particle and processing of silage grains of eight maize hybrids: RK3115, K9105 VIP3, K9960 VIP3, K9822 VIP3, R9080 CONV, R9080 PRO2, RB9789 VIP3 and RB9060 CONV. The hybrid R9080 CONV was higher than RB9789 VIP 3 for dry matter content (407,7 and 322,7 g kg⁻¹). The content of total carbohydrates and non-fiber carbohydrates varied between 84,03-87,16 and 37,43-48,79 g kg⁻¹ MS, respectively. Among the fermentation parameters, only ammonia nitrogen in proportion to total nitrogen varied (5.95 to 10.32). There was variability in the distribution of particles among the hybrids. Greater variation was observed in the sieve 4 to 8 mm (42.2 to 61.9%). Grains were processed efficiently for all hybrids (higher than 90%). In the evaluation of gas production, there was a difference between the hybrids for the total volume of gas produced, with lower values observed for R9080 CONV, K9105 VIP3 and K9960 VIP3 (39.0, 40.7 and 42.3 mL g⁻¹ MS, respectively). The hybrid R9080 CONV had lower values of methane production per gram of incubated dry matter and methane production per gram of degraded dry matter (2.8 and 4.8 mL, respectively), when compared to K9822 VIP3, R9080 PRO2 and RB9060 CONV; for methane production per gram of incubated dry matter with the averages 4,8, 4,7 and 4,6 mL, and for methane production per gram of degraded dry matter, the averages were 8,4, 8,0 and 8,1, respectively. The hybrids show similarities in terms of chemical composition, in vitro digestibility of dry matter and fermentation parameters. Greater differences were observed for the particle size, with emphasis on the hybrids K9960 VIP3 and RB9789 VIP3, which had better distribution between the sieves.

Keywords: forage, fermentation, grain, methane, corn silage.

* Advisor: Luiz Gustavo Ribeiro Pereira, Dr. Researcher at Embrapa Dairy Cattle and Co-Advisor: Thierry Ribeiro Tomich. Dr. Researcher at Embrapa Dairy Cattle.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

I. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é a segunda cultura agrícola mais produzida no mundo (1,1 bilhão t) (FAO, 2020). Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a área plantada de milho no Brasil chegou a 17,8 milhões de ha em 2019, com produção de 101,1 milhões de toneladas (IBGE, 2020). Embora o foco principal da cultura seja a produção de grãos, nas fazendas de produção pecuária o cultivo de milho tem sido destinado à produção de silagem para alimentação dos animais.

A cultura se destaca na produção de silagem, quando comparada com outras forrageiras de clima tropical. Tem alta produtividade de matéria seca (MS), grande variedade de genótipos (que garante alta adaptabilidade a diversos climas e solos), tradição de cultivo, flexibilidade e disponibilidade de tecnologias de plantio e colheita, reduzindo os custos com mão de obra (Allen et al., 2003). Além disso, a silagem de milho é excelente fonte conservada de nutrientes digestíveis em dietas para animais de alta produção e possui a vantagem de fornecer simultaneamente altas quantidades de energia (proveniente principalmente do amido nos grãos) com uma fonte de fibra de qualidade (FDN_{pe} da fração de palha) que estimula as atividades mastigatórias, mantendo o funcionamento do rúmen e reduzindo o risco de doenças metabólicas associadas à ingestão de grandes quantidades de alimentos concentrados (Ferraretto et al., 2018; Wilkinson & Rinne, 2017).

Uma das primeiras etapas na produção de silagem consiste na escolha do híbrido adequado às condições locais de cultivo, otimizando a eficiência da cultura e garantindo maiores produtividades. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Milho e Sorgo), existem atualmente 196 cultivares de milho disponíveis no mercado brasileiro. Desse total, 90 cultivares são indicados para produção de silagem,

79% são híbridos e 66,8% apresentam algum tipo de evento transgênico (Pereira Filho & Borghi, 2020). No entanto, pesquisas revelam que os critérios adotados baseados em produtividade e valor nutritivo têm sido insipientes na escolha dos híbridos pelos produtores (Bernardes, 2012; Da Silva et al., 2015).

Embora o conhecimento sobre a produção de silagem de milho seja bastante difundido, a constante modificação dos genótipos já existentes e a criação de novos híbridos de milho vem de encontro com a necessidade de avaliações do desempenho produtivo da cultura, do valor nutritivo e qualidade da fermentação das silagens produzidas. Variáveis ainda pouco estudadas em condições tropicais, como o tamanho de partículas em que a forragem é cortada no momento da colheita, ou a produção de metano entérico por ruminantes alimentados com silagem de milho, podem fornecer informações importantes para melhorar ainda mais as características dos híbridos mais modernos.

Objetivou-se com este estudo avaliar o valor nutritivo, parâmetros fermentativos, tamanho de partícula e processamento de grãos, além da produção de gás *in vitro* das silagens de oito híbridos de milho.

1.1 Milho

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família *Poaceae*. É uma espécie de ciclo anual originária do México há cerca de 10.000 anos e melhorada ao longo do tempo para produzir maiores quantidades de grão. Trata-se de uma das culturas alimentares mais amplamente distribuídas no mundo, sendo cultivada em regiões com precipitação variando de 300 a 5.000 mm por ano, sob temperaturas que variam de frio a muito quente e em muitos tipos diferentes de solos (Magalhães & Durães, 2006).

O ciclo vegetativo da cultura, período compreendido entre a semeadura e a colheita, é variável, podendo chegar até 300 dias em algumas variedades. No entanto, nas condições brasileiras o ciclo vegetativo varia entre 110 e 180 dias, em função da caracterização dos genótipos (superprecoce, precoce, semiprecoce e tardio). O milho é uma das plantas mais eficientes no armazenamento de energia e tem ampla adaptação a diferentes condições ambientais. Para expressar todo o potencial produtivo, a cultura necessita de temperaturas entre 24 e 30°C, fotoperíodo adequado e disponibilidade de água (Cruz et al., 2006; Fornasieri Filho, 2007).

1.2 Cultivo de milho para produção de silagem

A produção pecuária no Brasil, tradicionalmente realizada em sistemas extensivos com uso de pastagens nativas ou cultivadas, está sujeita à sazonalidade climática que causa variação na produção de forragem ao longo do ano, dependendo da precipitação, temperatura e fotoperíodo. Assim, existem períodos marcados pela produção abundante de forragem e períodos com redução da produção e do valor nutritivo do pasto, comprometendo o desempenho dos animais e consequentemente a lucratividade do sistema (Wilkinson & Rinne, 2017). Existem, ainda, sistemas pecuários intensivos, com alto nível tecnológico e animais de alta produção, que necessitam de alimento em quantidade e qualidade constante durante todo o ano. Em ambos os casos, a suplementação alimentar é necessária para suportar as necessidades nutricionais dos animais e manter elevados os níveis de produção. Para isso, a adoção de práticas de conservação de forragens torna-se imprescindível.

O milho é a forrageira tradicionalmente utilizada para a produção de silagem, por apresentar características essenciais à silagem de alta qualidade: produz grandes quantidades de MS por unidade de área, possui tradição de cultivo e uma grande variedade de genótipos encontra-se disponível. Além disso, a disponibilidade de tecnologias desde o plantio até a colheita reduz os custos com mão de obra e aumenta a eficiência na produção de alimento para o gado (Allen et al., 2003; Klopfenstein et al., 2013).

É a cultura considerada “padrão” para produção de silagem por aliar excelente desempenho agrônômico e composição química que favorece os processos fermentativos necessários para garantir uma boa conservação do material ensilado (Neumann et al., 2017). Possui em torno de 320-350 g kg⁻¹ de MS no momento da colheita, facilitando a compactação sem perdas significativas por efluente; tem elevada concentração de carboidratos solúveis que são utilizados pelos microrganismos responsáveis por fermentar a massa ensilada; e baixo poder tampão, que permite uma queda rápida do pH (Johnson et al., 2002).

O milho se destaca, ainda, pela capacidade de produzir quantidades relativamente altas de amido. Revela-se, portanto, uma das fontes de forragem mais densas em energia utilizada nas dietas de bovinos em ambientes tropicais (Bernardes & Do Rêgo, 2014; Wilkinson & Rinne, 2017). Além do amido, o conteúdo de FDN presente na silagem de milho representa uma fonte de fibra de alta qualidade que auxilia na manutenção da saúde ruminal e influencia na ingestão de MS pelos animais (Ferraretto et al., 2018; Mertens, 1987).

1.2.1 Híbridos com características favoráveis à produção de silagem

Nas últimas décadas, as pesquisas e os programas de melhoramento da planta de milho concentraram os esforços em aumentar a produção de grãos e características relacionadas (Bernardes et al., 2018). Embora isso tenha produzido novos híbridos com maior rendimento da planta inteira, os efeitos sobre o rendimento e a qualidade da silagem de milho não foram intencionais (Allen et al., 2003).

Segundo Owens (2008), entre os anos de 1940 e 2008, o rendimento de grãos na cultura do milho aumentou em média 1,9% ao ano. Esse incremento na produção resultou indiretamente em maiores produções da planta total, beneficiando tanto o produtor de grãos quanto de silagem. Entretanto, o desenvolvimento de alternativas para aumentar o valor nutritivo da silagem de milho por meio da manipulação de suas características físicas e químicas da fração vegetativa da planta é crucial (Ferraretto & Shaver, 2015).

Atualmente no Brasil existem 196 genótipos de milho disponíveis no mercado (Pereira Filho & Borghi, 2020). Assim, os produtores devem levar em consideração muitos fatores ao escolher o híbrido certo. Os produtores devem determinar se o objetivo final é grão de milho, silagem ou uma possível combinação de ambos. Existem híbridos de grãos, híbridos de dupla aptidão e híbridos específicos para silagem, como variedades com maior proporção de folhas, variedades cerosas, variedades com alto teor de óleo, variedades com grãos duros ou farináceos e variedades com teor reduzido de lignina.

Considerando que tanto o amido quanto a FDN são as principais entidades nutricionais na silagem de milho e que a digestibilidade do amido normalmente aumenta durante a ensilagem, devido à degradação das prolaminas, a FDN pode ser a principal característica nutricional usada para selecionar híbridos de milho para produção de silagem (De Oliveira et al., 2017).

Híbridos que possuem o gene *Bm3* naturalmente possuem a característica de maior digestibilidade da FDN e isso pode promover melhor desempenho dos animais que consomem silagens provenientes desses híbridos. Taylor & Allen (2005) avaliaram o comportamento alimentar de vacas leiteiras e descobriram que vacas alimentadas com silagem de milho *Bm3* gastaram 1,7 min/refeição a menos do que quando foram alimentadas com silagem de milho convencional, embora tivessem tamanho de refeição semelhante.

Outro fator relevante no cultivo de milho para produção de silagem é a adoção de híbridos transgênicos. Quase 70% dos híbridos disponíveis no mercado brasileiro

apresentam algum tipo de transgenia e essas tecnologias permitem aos produtores ter melhor custo-benefício no controle de pragas, além da tolerância que esses híbridos apresentam aos herbicidas utilizados no controle de plantas espontâneas na cultura (Pereira Filho; Borghi, 2020).

1.3 Fatores relacionados com o valor nutritivo da silagem de milho

O valor nutritivo da silagem de milho depende de fatores controláveis e não controláveis. Aspectos relacionados ao manejo da lavoura, colheita e ensilagem podem modificar significativamente as características físicas e químicas do alimento (Bernardes & Do Rêgo, 2014).

A silagem de milho contém proporções variáveis de grãos e palha, cada um dos quais pode diferir na composição química e forma física (Ferreira & Mertens, 2005). Além disso, é importante avaliar a digestibilidade dessas frações para o melhor entendimento a respeito do aproveitamento pelos animais. Embora a produção de silagem tenha focado por muito tempo no teor e digestibilidade do amido, a seleção de híbridos de milho com FDN altamente digestível pode reduzir os efeitos do preenchimento do rúmen em vacas de alta produção, permitindo, assim, o aumento da ingestão e produção de leite.

Diferenças na composição química em função do híbrido utilizado já foram relatadas na literatura (Neumann et al., 2017; Santos et al., 2010; Silva et al., 2018). Essas diferenças são desejáveis (Oliboni et al., 2012), pois indicam variabilidade genética, o que auxilia nos programas de melhoramento genético, além de oferecer maior flexibilidade aos produtores na escolha do híbrido a ser cultivado.

1.3.1 Maturidade à colheita

Segundo Khan et al. (2015), o valor nutritivo das silagens de milho é altamente variável e grande parte dessa variação é causada por diferenças na maturidade no momento da colheita. A maioria das silagens é feita com teor de MS variando de 200 a 500 g kg⁻¹ (Muck, 2010), e a composição química da planta pode ser diferente à medida que aumenta o teor de MS.

Peyrat et al. (2016) avaliaram o efeito da maturidade na silagem de milho e observaram que o teor de amido aumentou e o teor de FDN diminuiu quando o milho foi colhido mais tardiamente. A digestibilidade do amido diminuiu significativamente, mas não houve efeito da maturidade na digestibilidade da FDN. Os autores concluíram que atrasar a colheita modifica as proporções de amido digestível e FDN fornecidos ao gado e que o ajuste da data de colheita do milho pode ser usado com o intuito de modular a quantidade de amido digerido e como estratégia para controlar o fornecimento de nutrientes aos ruminantes.

Resultados semelhantes foram observados por Arriola et al. (2012), que compararam híbridos de milho cultivados na Flórida com diferentes teores de MS na colheita (250, 320 e 370 g kg⁻¹). Maiores teores de amido e menores teores de FDN foram obtidos à medida que aumentou o teor de MS. Apesar dos teores de fibra mais elevados, não houve diferença na digestibilidade *in vitro* da MS.

Em estudo metanalítico, Zardin et al. (2017) compararam a composição química de silagens de milho produzidas para fins experimentais no Brasil. Os autores encontraram diferenças significativas no teor de MS e NDT e relataram que silagens de milho produzidas no Brasil contêm altos teores de FDN. Para Bernardes & Do Rêgo (2014), as silagens de milho produzidas em regiões tropicais com altas temperaturas são caracterizadas por menor concentração de amido e maior acúmulo de lignina e fibra na planta, o que reduz a digestibilidade.

1.3.2 Tipo de grão

Muitos híbridos de milho disponíveis no mercado brasileiro possuem grãos do tipo duro ou semiduro. Essa classificação está relacionada à maior ou menor proporção de endosperma vítreo em relação ao endosperma farináceo; essa característica tem sido motivo de estudos na nutrição animal, pois pode interferir na digestão do amido (Ferraretto & Shaver, 2015).

O endosperma representa aproximadamente 830 g kg⁻¹ MS do peso seco do grão, consistindo principalmente de amido (880 g kg⁻¹), organizado na forma de grânulos

(Paes, 2006). Os grânulos de amido são envoltos por uma camada de proteínas chamadas de prolaminas, que apresentam característica hidrofóbica e definem as diferenças entre endospermas (Hoffman et al., 2011). A reticulação extensiva de prolaminas produz o endosperma vítreo (Correa et al., 2002). Essas proteínas agem como barreira impedindo o ataque dos microrganismos ruminais ao amido, reduzindo a digestibilidade (Giubert et al., 2013).

Correa et al. (2002) investigaram a relação entre a vitreosidade do grão de milho e a degradação ruminal do amido em 14 híbridos de milho americanos e 5 híbridos brasileiros. Estes autores verificaram alta correlação negativa entre a vitreosidade e disponibilidade do amido no rúmen e que a vitreosidade aumenta com o avanço da maturidade.

Parte dessas prolaminas pode ser degradada durante o processo de ensilagem. Philippeau & Michalet-Doreau (1998) observaram que o processo de ensilagem aumentou a degradabilidade ruminal do amido nos grãos de milho e hipotetizaram que a ensilagem aumenta a acessibilidade dos grânulos de amido aos microrganismos do rúmen porque as prolaminas são degradadas. Estudos posteriores comprovaram esse efeito (Hoffman et al., 2011; McAllister et al., 1992; Windle et al., 2014).

1.3.3 Tamanho de partículas e processamento dos grãos

O tamanho da partícula é importante na produção de silagem, pois pode influenciar nos processos de colheita, compactação do material no silo e no valor nutricional do produto final.

Do ponto de vista nutricional, otimizar o tamanho das partículas da silagem é importante porque partículas excessivamente longas aumentam a mastigação necessária para engolir um bolo alimentar, aumentando, dessa maneira, o tempo de ingestão. Silagens excessivamente grossas ou de baixa digestibilidade de fibra podem limitar o consumo de matéria seca de vacas leiteiras em lactação pelo aumento do tempo necessário para alimentação. Além disso, destaca-se o maior tamanho de partícula de silagem, especialmente as partículas retidas na peneira de 19 mm usando o “*Penn State*

Particle Size Separator”, as quais são mais prováveis de serem selecionadas, o que pode influenciar no desempenho dos animais (Grant & Ferraretto, 2018). Por outro lado, partículas muito reduzidas podem aumentar a taxa de passagem, promovendo alterações no consumo voluntário do animal e, conseqüentemente, no desempenho animal (Grant et al., 1990).

Kmicikewycz & Heinrichs (2015) avaliaram o efeito do tamanho de partículas da silagem de milho no pH ruminal e na preferência alimentar de vacas leiteiras que foram induzidas à acidose ruminal subaguda. Estes autores observaram que o CMS total e a produção de leite foram maiores com a redução do tamanho de partículas. Os autores observaram também que mesmo animais que apresentaram acidose ruminal tiveram maior preferência por silagem de menor tamanho de partículas.

Já Maulfair et al. (2013) forneceram silagem de milho com partículas grandes e milho seco triturado ou silagem de milho com partículas pequenas e milho moído fino e observaram que vacas que passaram por acidose ruminal preferiram silagem com partículas maiores. Os autores sugeriram que vacas no início da lactação podem alterar seu comportamento de seleção e preferência de dieta por fibras de maior efetividade física durante um desafio ruminal, o que pode ajudar a atenuar os efeitos da acidose ruminal subaguda.

Além do tamanho de partículas, o processamento dos grãos pode melhorar o valor nutritivo da silagem de milho. A adoção de máquinas colhedoras de forragem autopropelidas tem contribuído para o quebramento dos grãos de milho adequadamente. Essas máquinas são equipadas com dois rolos contra-rotativos para o processamento de grãos, conhecidos como “crackers”, que, se ajustados corretamente, promovem melhorias significativas na qualidade da silagem (Ferraretto & Shaver, 2012). Os rolos de processamento têm como objetivo quebrar os grãos de milho em um tamanho de partícula menor para garantir que o endosperma do amido seja exposto e, assim, a digestão e a utilização do amido por animais ruminantes sejam aprimoradas (Ferraretto et al., 2018).

Em estudo sobre avaliação de duas regulagens nos rolos processadores de grãos (8 e 2 mm), Cooke & Bernard (2005) observaram aumento de 12% na digestibilidade do amido quando a silagem foi processada com folga de 2 mm nos rolos processadores.

Bal et al. (2000) avaliaram o efeito do processamento da silagem de milho com folga de 1 mm entre os rolos processadores de grãos no desempenho de vacas leiteiras e observaram incrementos no CMS, produção de leite e digestibilidade do amido, quando os animais foram alimentados com silagem processada, em comparação com a não processada.

1.4 Uso de silagem de milho na alimentação de ruminantes

A silagem de milho é uma das mais importantes fontes energéticas utilizada nas dietas para ruminantes de alta produção, como vacas leiteiras, por apresentar alta densidade energética e alta ingestão voluntária (Grant & Ferraretto, 2018).

Em fazendas de produção leiteira baseada em pastagem, a silagem de milho pode ser utilizada de forma suplementar ao pasto, podendo aumentar a taxa de lotação ou estender a duração da lactação. Miguel et al. (2019) avaliaram o efeito da suplementação com silagem de milho para vacas leiteiras mantidas em pasto de azevém anual e observaram que os animais suplementados tiveram maior consumo total de MS e produção de leite quando mantidos em pasto com baixa oferta de forragem.

Alessio et al. (2020) avaliaram o efeito do fornecimento de diferentes volumosos para vacas mestiças Holandês x Zebu em condições experimentais no Brasil e observaram maior consumo de FDN, PB e NDT quando as vacas foram alimentadas com silagem de milho, o que melhorou a digestibilidade da FDN e PB e resultou em maior produção de leite.

1.4.1 Produção de metano entérico e alternativas de mitigação

A criação de gado ruminante é uma importante fonte de emissões de gases de efeito estufa, incluindo metano, que tem potencial de aquecimento global 25 vezes maior do que o dióxido de carbono. O metano entérico não apenas contribui para as

emissões de gases de efeito estufa, mas também representa desperdício de energia alimentar para animais ruminantes (Hammond et al., 2015).

Pesquisas têm sido conduzidas na tentativa de reduzir a emissão de metano entérico pelos animais ruminantes. A manipulação da dieta, inclusão de maiores proporções de carboidratos solúveis ou forragens com maior digestibilidade podem otimizar o aproveitamento energético pelos animais e reduzir a emissão de metano (Cottle et al., 2011).

Hassanat et al. (2017) investigaram a emissão de metano por vacas leiteiras alimentadas com silagem de híbrido de milho convencional ou de híbrido de nervura marrom (*Bm3*). Os autores observaram que quando as vacas ingeriram silagem do híbrido *Bm3* houve maior consumo de matéria seca e produção de leite e menor produção de metano entérico pelos animais. Isso pode estar associado à maior digestibilidade observada para o híbrido *Bm3* em comparação com o híbrido convencional.

A substituição de silagem de cevada (Benchaar et al., 2014) ou silagem de alfafa (Hassanat et al., 2013) por silagem de milho reduziu a emissão de metano por vacas leiteiras e aumentou a produção de leite. Portanto, a silagem de milho pode ser uma importante alternativa para mitigar a emissão de metano por ruminantes e elevar os índices produtivos.

Neste sentido, avaliar a produção de metano em função do híbrido pode auxiliar no planejamento estratégico para formular dietas que serão melhor aproveitadas pelos animais, gerando menor produção de metano entérico.

1.5 Considerações sobre os processos fermentativos na silagem de milho

Conforme Pahlow et al. (2003), o processo de ensilagem pode ser dividido em quatro fases: 1) fase aeróbia inicial, 2) fase de fermentação ativa, 3) fase estável e 4) fase de retirada da silagem.

Na fase aeróbia inicial, que geralmente dura de 12 a 24 horas, a planta é triturada e ocorre morte celular. Isto inicia o processo enzimático de decomposição do material vegetal. Ao cortar e processar a planta de milho, todos os microrganismos na forma de bactérias aeróbias, leveduras e fungos que colonizavam o lado de fora da planta são distribuídos por todo o material processado exposto ao oxigênio, rico em nutrientes. Uma vez no silo e selado, o oxigênio restante permite a respiração contínua da planta e o crescimento microbiano aeróbio, gerando calor. Além disso, proteases e carboidrases decompõem as proteínas em aminoácidos e aumentam a quantidade de carboidratos solúveis disponíveis para fermentação (Pahlow et al., 2003).

A fase de fermentação ativa começa tecnicamente assim que o último vestígio de oxigênio se esgota. Bactérias anaeróbias ácido-láticas continuam convertendo carboidratos solúveis em água e ácido lático, o que causa uma diminuição no pH da silagem (Der Bedrosian et al., 2012). O acúmulo de ácido lático inibe a atividade de clostrídios, leveduras e enterobactérias que podem competir por nutrientes e as bactérias ácido-láticas dominam quase exclusivamente o ambiente dentro do silo (Muck, 1988).

Durante a fermentação, as principais mudanças na composição química ocorrem pelo rápido consumo dos açúcares fermentáveis e conversão em ácido lático e acético. Altas concentrações de ácido acético indicam fermentação inferior ao ideal e pode resultar em diminuições no CMS, o que pode acarretar menor produção de leite (Kung & Shaver, 2001). Durante a fermentação ativa, a concentração de nitrogênio amoniacal aumentará conforme ocorre a proteólise. Na fermentação ideal, esse nível deve ser mantido abaixo de 10% do nitrogênio total (Kung & Shaver, 2001; Tomich et al., 2003). A fase de fermentação principal pode começar até 24 horas após o corte e durar por mais 28 dias após a colheita inicial (Pahlow et al., 2003).

Na fase estável, poucas alterações ocorrem, desde que o silo permaneça livre da exposição ao oxigênio. Alguns processos microbianos ainda ocorrem e enzimas tolerantes ao pH ácido podem degradar hemicelulose, aumentando a digestibilidade da FDN, enquanto as proteases continuam a degradar as prolaminas na matriz proteica do amido do milho, aumentando, assim, a digestão ruminal do amido (Der Bedrosian et al., 2012; Pahlow et al., 2003). Algumas perdas são esperadas durante a fermentação da

silagem, já que a matéria seca é perdida devido ao consumo dos açúcares durante o processo de ensilagem (Darby & Lauer, 2002). Na fase estável, o pH deve ser mantido em 4,0 ou menos e a temperatura deve ser estável.

Durante a fase de retirada da silagem, o silo é aberto e a silagem exposta ao oxigênio. Uma vez expostas ao ar, leveduras e bactérias podem ser reativadas e aumentar sua população, causando aquecimento e deterioração. Este crescimento microbiano aeróbio indesejado pode aumentar o pH, aumentar o potencial de produção de toxinas por clostrídios e diminuir substancialmente a digestibilidade da silagem (Pahlow et al., 2003).

1.6 Parâmetros indicativos de qualidade da silagem

Qualidade da silagem é o termo usado para avaliar se o processo fermentativo ocorreu de maneira desejável, podendo-se utilizar como indicadores os índices de pH e o teor de nitrogênio amoniacal (McDonald et al., 1991). O perfil de ácidos produzidos também é um indicativo de eficiência na fermentação da silagem. A acidez é considerada fator importante na conservação de silagem, pois atua inibindo ou controlando o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais, como as bactérias do gênero *Clostridium*, assim como a atividade das enzimas vegetais, que reduzem o valor energético e a qualidade proteica das silagens (Muck, 1988, 2010; Pahlow et al., 2003).

1.6.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

Dentro do silo, os ácidos produzidos pela fermentação dos substratos presentes na planta reduzem o pH da massa ensilada, inibindo a ação de enzimas e dos microrganismos capazes de promover a sua deterioração (Tomich et al., 2003). Uma vez que o pH cai abaixo de 4,5 a 5,0, enterobactérias e bacilos serão inibidos e as populações de enterobactérias geralmente cairão abaixo dos níveis detectáveis dentro de alguns dias após o pH estar abaixo de 5,0 (Muck, 2010).

Em geral, a silagem de milho possui pH em torno de 3,8 - 4,1 (Ferraretto et al., 2015), mas pode ser influenciado pelo teor de MS e pela capacidade tampão do material ensilado (Tomich et al., 2003). Silagens de milho podem apresentar pH acima de 4,5 se

o teor de MS do material for em torno de 250 g kg⁻¹ ou superior a 500 g kg⁻¹. No primeiro caso por ocorrer fermentação clostrídica e no segundo por restringir a fermentação, devido à baixa atividade de água (Kung & Shaver, 2001).

1.6.2 Nitrogênio amoniacal (N-NH₃)

Na forragem verde, o teor de nitrogênio amoniacal é inferior a 1% do nitrogênio total (NT). Entretanto, após o corte da forrageira, há hidrólise de proteínas aumentando o conteúdo de NNP para aproximadamente 40% nas primeiras 24 horas de ensilagem (Tomich et al., 2003). O aumento no teor de nitrogênio amoniacal se deve também pela ação de enzimas proteolíticas produzidas por microrganismos, como clostrídios (Muck, 2010).

De acordo com Van Soest. (1994), o aumento da produção de nitrogênio amoniacal provocado pela proteólise neutraliza os ácidos desejáveis, interferindo diretamente, de forma negativa, na qualidade final do material ensilado. Geralmente o N-NH₃ não excede 10% em relação ao nitrogênio total em silagens com processo fermentativo eficiente (Tomich et al., 2003). Valores acima de 15% indicam proteólise excessiva (McDonald et al., 1991).

1.6.3 Ácidos orgânicos

Os principais ácidos orgânicos encontrados na silagem são: láctico, acético, butírico, propiônico, valérico e succínico (McDonald et al., 1991; Muck, 1988). Entretanto, os três primeiros são os mais determinados, visto que suas porcentagens e as relações entre ácido láctico/acético, dentre outras, são parâmetros de grande validade na avaliação do processo fermentativo das silagens (Tomich et al., 2003).

O ácido láctico é o principal produto final da fermentação na silagem (McDonald et al., 1991) e é o que apresenta maior impacto no abaixamento do pH por ser o ácido que apresenta o maior poder de dissociação (Muck, 2010; Santos et al., 2010).

Os teores de ácido acético e ácido butírico estão relacionados com menores taxas de redução e maiores valores finais do pH, e são o resultado da atividade de clostrídios e enterobactérias. Silagens com altos teores desses ácidos normalmente apresentam perdas excessivas na MS e energia da forragem original (Tomich et al., 2003).

1.7 Referências bibliográficas

AGUERRE, M. J.; WATTIAUX, M. A.; POWELL, J. M. Emissions of ammonia, nitrous oxide, methane, and carbon dioxide during storage of dairy cow manure as affected by dietary forage-to-concentrate ratio and crust formation. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 12, p. 7409–7416, dez. 2012.

ALESSIO, D. R. M. et al. Dietary roughage sources affect lactating Holstein x Zebu cows under experimental conditions in Brazil: a meta-analysis. **Tropical Animal Health and Production**, v. 52, n. 1, p. 185–193, 2020.

ALLEN, M. S.; COORS, J. G.; ROTH, G. W. Corn Silage. In: **Silage Science and Technology**. [s.l: s.n.]. p. 547–608.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg, Maryland: [s.n.].

AOKI, Y. et al. Effect of cutting height on the chemical composition, nutritional value and yield, fermentative quality and aerobic stability of corn silage and relationship with plant maturity at harvest. **Grassland Science**, v. 59, n. 4, p. 211–220, 2013.

ARRIOLA, K. G. et al. Stay-green ranking and maturity of corn hybrids: 1. Effects on dry matter yield, nutritional value, fermentation characteristics, and aerobic stability of silage hybrids in Florida. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 2, p. 964–974, 2012.

BAL, M. A. et al. Crop processing and chop length of corn silage: Effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 83, n. 6, p. 1264–1273, 2000.

BENCHAAR, C. et al. Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage- or barley silage-based diets. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 2, p. 961–974, fev. 2014.

BERNARDES, T. F. **Levantamento das práticas de produção e uso de silagens em fazendas produtoras de leite no Brasil**. [s.l: s.n.].

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

BERNARDES, T. F.; DO RÊGO, A. C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 3, p. 1852–1861, 2014.

BRÜNING, D. et al. Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on forage choice and short-term intake of maize silage by goats. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 2, p. 392–405, 2018.

CABRAL, Í. D. S. et al. Evaluation of models utilized in in vitro gas production from tropical feedstuffs. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 443–456, 2019.

COOKE, K. M.; BERNARD, J. K. Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 1, p. 310–316, 2005.

CORREA, C. E. S. et al. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 11, p. 3008–3012, 2002.

COTTLE, D. J.; NOLAN, J. V.; WIEDEMANN, S. G. Ruminant enteric methane mitigation: a review. **Animal Production Science**, v. 51, n. 6, p. 491, 2011.

CRUZ, J. C. et al. **Manejo da cultura do Milho**. 1. ed. [s.l.: s.n.].

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

DARBY, H. M.; LAUER, J. G. Planting date and hybrid influence on corn forage yield and quality. **Agronomy Journal**, v. 94, n. 2, p. 281–289, 2002.

DE OLIVEIRA, I. L. et al. Nutritive value of corn silage from intensive dairy farms in Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 6, p. 494–501, 2017.

DER BEDROSIAN, M. C.; NESTOR, K. E.; KUNG, 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.

FAO. **World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020**. [s.l.: s.n.].

FEDORAH, P. M.; HRUDEY, S. E. A simple apparatus for measuring gas production by methanogenic cultures in serum bottles. **Environmental Technology Letters**, v. 4, n. 10, p. 425–432, 17 out. 1983.

FENNER, H. Method for Determining Total Volatile Bases in Rumen Fluid by Steam Distillation. **Journal of Dairy Science**, v. 48, n. 2, p. 249–251, 1965.

FERRARETTO, L. F. et al. Effect of corn silage hybrids differing in starch and neutral detergent fiber digestibility on lactation performance and total-tract nutrient digestibility by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 395–405, 2015.

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

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D. Effects of whole-plant corn silage hybrid type

on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 4, p. 2662–2675, 2015.

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.

FERREIRA, G. D. G. et al. Valor nutritivo da silagem de dez híbridos de milho. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 33, n. 3, p. 255–260, 2011.

FERREIRA, G.; MERTENS, D. R. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 12, p. 4414–4425, 2005.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007.

GIUBERTI, G. et al. Evaluation of the impact of maize endosperm vitreousness on in vitro starch digestion, dry matter digestibility and fermentation characteristics for pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 186, n. 1–2, p. 71–80, 2013.

GOMES, D. I. et al. Evaluation of lignin contents in tropical forages using different analytical methods and their correlations with degradation of insoluble fiber. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, n. 3–4, p. 206–222, 2011.

GRANT, R. J.; COLENBRANDER, V. F.; MERTENS, D. R. Milk Fat Depression in Dairy Cows: Role of Particle Size of Alfalfa Hay. **Journal of Dairy Science**, v. 73, n. 7, p. 1823–1833, 1990.

GRANT, R. J.; FERRARETTO, L. F. Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4111–4121, 2018.

HAMMOND, K. J. et al. Effects of forage source and extruded linseed supplementation on methane emissions from growing dairy cattle of differing body weights. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 11, p. 8066–8077, nov. 2015.

HASSANAT, F. et al. Replacing alfalfa silage with corn silage in dairy cow diets: Effects on enteric methane production, ruminal fermentation, digestion, N balance, and milk production. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 7, p. 4553–4567, jul. 2013.

HASSANAT, F.; GERVAIS, R.; BENCHAAAR, C. Methane production, ruminal fermentation characteristics, nutrient digestibility, nitrogen excretion, and milk production of dairy cows fed conventional or brown midrib corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 4, p. 2625–2636, abr. 2017.

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, abr. 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.

HOLTSHAUSEN, L. et al. Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 6, p. 2809–2821, jun. 2009.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2019**. v. 46, p. 1–8, 2020.

JOHNSON, L. M. et al. Corn silage management I: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 4, p. 833–853, 2002.

K. J. SHINNERS et al. PROCESSING WHOLE-PLANT CORN SILAGE WITH CROP PROCESSING ROLLS ON A PULL-TYPE FORAGE HARVESTER. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 323–331, 2000.

KHAN, N. A. et al. Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 2, p. 238–252, 2015.

KLOPFENSTEIN, T. J.; ERICKSON, G. E.; BERGER, L. L. Maize is a critically important source of food, feed, energy and forage in the USA. **Field Crops Research**, v. 153, p. 5–11, 2013.

KMICIKEWYCZ, A. D.; HEINRICHS, A. J. Effect of corn silage particle size and supplemental hay on rumen pH and feed preference by dairy cows fed high-starch diets. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 1, p. 373–385, 2015.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J. The Effect of Reducing Alfalfa Haylage Particle Size on Cows in Early Lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 4, p. 1445–1457, abr. 2003.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; LEHMAN, H. A. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 10, p. 3343–3353, 2003.

KUNG, L.; SHAVER, R. Interpretation and use of silage fermentation analysis reports. **Focus on forage**, v. 3, n. May, p. 1–5, 2001.

LAMMERS, B. P.; BUCKMASTER, D. R.; HEINRICHS, A. J. A Simple Method for the Analysis of Particle Sizes of Forage and Total Mixed Rations. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 5, p. 922–928, 1996.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da Produção de Milho**. v. d, 2006.

MAULFAIR, D. D. et al. Effect of feed sorting on chewing behavior, production, and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 10, p. 4791–4803, out. 2010.

MAULFAIR, D. D.; MCINTYRE, K. K.; HEINRICHS, A. J. Subacute ruminal acidosis and total mixed ration preference in lactating dairy cows¹. **Journal of Dairy Science**, v. 96, n. 10, p. 6610–6620, 2013.

MCALLISTER, T. A. et al. Effect of the Protein Matrix on the Digestion of Cereal Grains. **Journal of animal science**, n. 3879204, p. 205–212, 1992.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe publications, 1991.

MENKE, K. H. et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. **The Journal of Agricultural Science**, v. 93, n. 1, p. 217–222, 27 ago. 1979.

MERTENS, D. R. Predicting Intake and Digestibility Using Mathematical Models of Ruminal Function. **Journal of Animal Science**, v. 64, n. 5, p. 1548–1558, 1 maio 1987.

MERTENS, D. R. Regulation of Forage Intake. In: JR., G. C. F. (Ed.). . **Forage Quality, Evaluation, and Utilization**. [s.l: s.n.]. p. 450–493.

MIGUEL, M. F.; DELAGARDE, R.; RIBEIRO-FILHO, H. M. N. Corn silage supplementation for dairy cows grazing annual ryegrass at two pasture allowances. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia**, v. 71, n. 3, p. 1037–1046, 2019.

MUCK, R. E. Factors Influencing Silage Quality and Their Implications for Management. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 11, p. 2992–3002, 1988.

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

NEUMANN, M. et al. Aspectos produtivos, nutricionais e bioeconômicos de híbridos de milho para produção de silagem. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 262, p. 51–58, 2017.

OLIBONI, R. et al. Divergência genética entre híbridos de milho e correlações com heterose e capacidade de combinação. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 34, n. 1, p. 37–44, 2012.

OWENS, F. Corn Silage – Facts , Fantasies and the Future. **Symposium A Quarterly Journal In Modern Foreign Literatures**, n. 515, 2008.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnologia do grão de milho. **Circular Técnica**. Sete Lagoas: [s.n.].

PAHLOW, G. et al. Microbiology of Ensiling. In: **Silage Science and Technology**. [s.l: s.n.]. p. 31–93.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. Sementes de Milho: nova safra, novas cultivares e contínua a dominância dos transgênicos. **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 59, 2020.

PEYRAT, J. et al. Effect of maturity and hybrid on ruminal and intestinal digestion of corn silage in dry cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 1, p. 258–268, 2016.

PHILIPPEAU, C.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of Genotype and Ensiling of Corn Grain on in Situ Degradation of Starch in the Rumen. **Journal of Dairy Science**, v. 81, n. 8, p. 2178–2184, 1998.

SANTOS, R. D. et al. Características de fermentação da silagem de seis variedades de milho indicadas para a região semiárida Brasileira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 6, p. 1423–1429, 2010.

SAVOIE, P.; SHINNERS, K. J.; BINVERSIE, B. N. Hydrodynamic separation of grain and stover components in corn silage. **Applied Biochemistry and Biotechnology - Part A Enzyme Engineering and Biotechnology**, v. 113, n. 1–3, p. 41–54, 2004.

SILVA, A. S. et al. Effects of exogenous amylase on the in vitro digestion kinetics of whole-crop maize silages made from flint or dent grain type at different phenological stages grown in tropical condition. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 104, n. 1, p. 76–87, 31 jan. 2020.

SILVA, M. J. DA et al. Características Bromatológicas Em Híbridos De Milho Para Produção De Silagem No Estado De Minas Gerais. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 76–82, 2018.

SOUZA, N. K. P. et al. Accuracy of the estimates of ammonia concentration in rumen fluid using different analytical methods. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 6, p. 1752–1758, 2013.

TAYLOR, C. C.; ALLEN, M. S. Corn grain endosperm type and brown midrib 3 corn silage: Feeding behavior and milk yield of lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 4, p. 1425–1433, 2005.

TEIXEIRA, J. C.; TEIXEIRA, L. D. F. A. C. **Do alimento ao leite: entenda a função ruminal**. Lavras: [s.n.].

TOMICH, T. R. et al. Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação. **Documentos**, v. 57, p. 20, 2003.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1994.

VIEIRA, C. et al. Caracterização bromatológica de silagens de milho de genótipos super precoce Chemical characterization of corn silage. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 43, n. 11, p. 1925–1931, 2013.

WILKINSON, J. M.; RINNE, M. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 1–13, mar. 2017.

WINDLE, M. C.; WALKER, N.; KUNG, L. Effects of an exogenous protease on the fermentation and nutritive value of corn silage harvested at different dry matter contents and ensiled for various lengths of time. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 5, p. 3053–3060, 2014.

ZARDIN, P. B. et al. Chemical composition of corn silage produced by scientific studies in Brazil - A meta-analysis. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 503–511, 2017.

II. OBJETIVOS

Objetivo Geral: Avaliar o valor nutritivo, parâmetros fermentativos, tamanho de partícula e processamento de grãos de silagens de oito híbridos de milho para a produção de silagem.

Objetivos específicos:

1. Avaliar a composição química e digestibilidade *in vitro* das silagens de oito híbridos de milho.
2. Avaliar o pH, teor de N-NH₃ e ácidos orgânicos das silagens.
3. Avaliar o tamanho de partículas e o processamento de grãos nas silagens.
4. Avaliar a produção *in vitro* de metano das silagens.

III. MATERIAL E MÉTODOS

Local e período experimental

O estudo foi conduzido no Campo Experimental José Henrique Bruschi da Embrapa Gado de Leite, em Coronel Pacheco, Minas Gerais, Brasil (21°33'22"S, 43°06'15"W). A região apresenta clima do tipo Cwa (mesotérmico), segundo classificação de Köppen, com verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. A pluviosidade média anual é de aproximadamente 1500 mm. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Álico. Os dados de pluviosidade e temperatura durante o período experimental são apresentados na Figura 1.

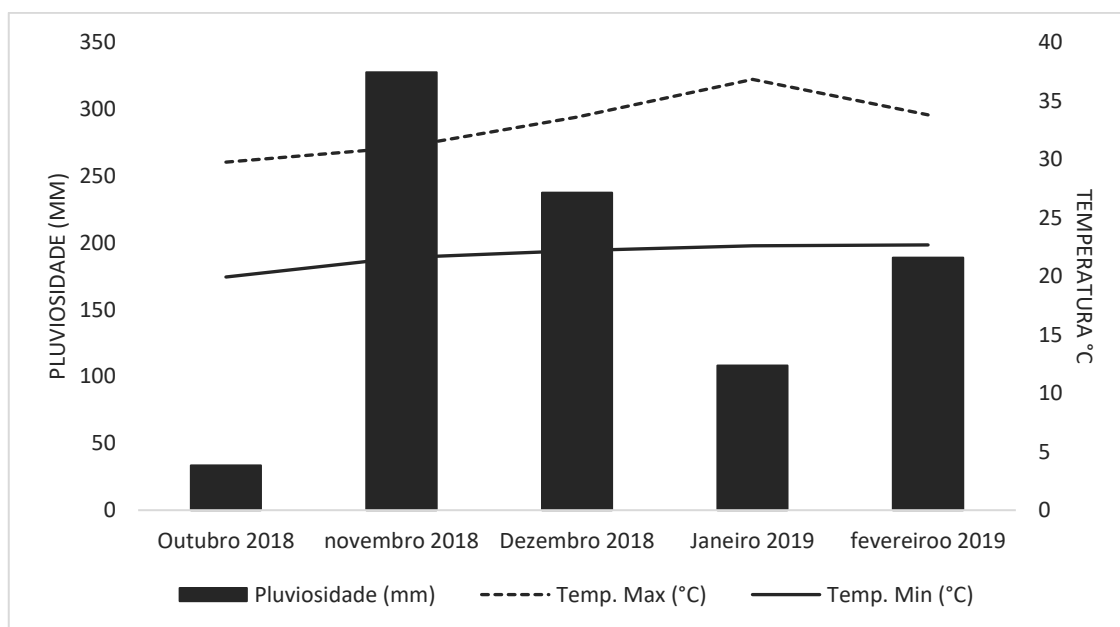


Figura 1: Pluviosidade (mm), temperaturas máxima e mínima (°C) durante o período experimental.

Material genético avaliado

Foram avaliados oito híbridos comerciais de milho (RK3115, K9105 VIP3, K9960 VIP3, K9822 VIP3, R9080 CONV, R9080 PRO2, RB9789 VIP3, RB9060 CONV) desenvolvidos pela empresa RIBER KWS®. Na Tabela 1 são apresentadas informações comerciais referentes às características agronômicas dos híbridos.

Tabela 1. Características agronômicas fornecidas pela empresa obtentora dos híbridos de milho utilizados neste estudo.

Híbrido	Nível tecnológico	Uso	Ciclo	Textura do grão
K9822 VIP3	Alto	Grão	Precoce	Semiduro
RK3115	Médio/baixo	Grão ou silagem	Precoce	Semiduro
K9105 VIP3	Alto	Grão ou silagem	Precoce	semiduro
K9960 VIP3	Alto	Grão ou silagem	Precoce	Semiduro
R9080 CONV	Médio/alto	Grão ou silagem	Precoce	Semiduro
R9080 PRO2	Médio/alto	Grão ou silagem	Precoce	Semiduro
RB9060 CONV	Médio/alto	Grão ou silagem	Precoce	Semiduro
RB9789 VIP3	Médio/alto	Grão ou silagem	Semiprecoce	Semidentado

Plantio, adubação e colheita

Os híbridos de milho foram plantados em outubro 2018. Antes da semeadura foi feita a calagem com 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e adubação com 441 kg ha⁻¹ de NPK (10-30-10) + 0,5% de Zn e adubação de cobertura com 400 kg ha⁻¹ de NPK (30-00-20). Utilizou-se semeadora mecânica, com profundidade de deposição de semente regulada para 40 mm de profundidade. A população recomendada foi de 60.000 sementes ha⁻¹.

A colheita foi realizada em 22 de fevereiro de 2019, com colhedora de forragem autopropelida, regulada para tamanho de corte de 12mm, com processador de grãos (cracker) e altura de corte de 0,3 m. Para cada híbrido foram estabelecidas três repetições (blocos), com área total por parcela de 50 m².

Cada híbrido constituiu-se em um tratamento, totalizando 8 tratamentos. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições, totalizando 24 parcelas experimentais.

Avaliação do tamanho de partículas e processamento de grãos

Após a colheita, foram coletadas amostras (aproximadamente 0,5 kg) para determinação do tamanho de partícula, utilizando o método do separador de partículas (PennState, Cooperative Extension - College of Agricultural Sciences) nas quatro frações de tamanho: > 19 mm, 19 a 8 mm, 8 a 4 mm e < 4 mm, segundo Lammers et al. (1996) e foi realizada a mensuração da proporção (%) de partículas retidas em cada peneira.

Para determinação do escore de processamento dos grãos (KPS), foi feita a separação hidrodinâmica da fração de palha e de grãos, conforme descrito por Savoie et al. (2004), após a separação as amostras foram secas (55°C) por 48 h e os pesos dos grãos inteiros e processados foram registrados.

Ensilagem

Para confecção das silagens, foram utilizados silos experimentais de poli cloreto de vinila - PVC (0,3m de altura; 0,1m de diâmetro) contendo válvula de Bunsen. A quantidade de forragem ensilada foi padronizada para obter densidade de 800 kg/m³ e a compactação foi realizada manualmente com bastão de madeira. Os silos foram fechados, lacrados com abraçadeira metálica e armazenados.

Abertura dos silos e processamento das amostras

Após 360 dias, os silos foram abertos, a camada superficial (aproximadamente 5 cm) foi descartada, devido à deterioração microbiana. O restante do material foi homogeneizado e retirou-se duas amostras de cada unidade experimental para análises posteriores.

Uma das amostras (0,5 kg) foi imediatamente prensada (2500 kgf) para obtenção do extrato líquido da silagem, no qual foi medido o pH (MS Tecnopeon®, MPA 210,

Piracicaba-SP-Brasil). Uma alíquota (10 mL) foi coletada e armazenada a -20°C para avaliação do nitrogênio amoniacal ($\text{N-NH}_3/\text{NT}$), pelo método descrito por Fenner (1965) com adaptações propostas por Souza et al. (2013). Uma segunda alíquota de 10 mL foi acidificada com 2 mL de ácido metafosfórico (20% v/v) e armazenada a -20°C para posterior análise das concentrações de ácidos orgânicos.

A segunda amostra de silagem (0,6 kg) foi desidratada em estufa com circulação forçada de ar (55°C) por 72 h. Posteriormente, as amostras foram processadas em moinho de facas com peneira com crivos de 1 mm.

Composição química

Nas amostras moídas foram determinados os teores de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), nitrogênio total (NT) e extrato etéreo (EE) de acordo com os métodos 930,15, 942,05; 984,13 e 920,39, respectivamente (AOAC, 2005). O teor de proteína bruta (PB) foi estimado multiplicando-se o teor de NT pelo fator de correção 6,25. As concentrações de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinadas sequencialmente utilizando-se analisador de fibra modelo Ankom 220 (Ankom Technology, Fairport, USA). Para a determinação da FDN utilizou-se α -amilase termoestável sem adição de sulfito de sódio.

Os teores de carboidratos totais (CHOT) e carboidratos não fibrosos (CNF) foram obtidos pelas equações: $\text{CHOT} = 100 - (\text{PB}\% + \text{EE}\% + \text{MM}\%)$ e $\text{CNF} = 100 - (\text{PB}\% + \text{EE}\% + \text{MM}\% + \text{FDN}\%)$. A matéria orgânica (MO) foi calculada por diferença através da equação: $\text{MO} = \text{MS} - \text{MM}$. Os teores de lignina foram analisados pelo método da solubilização em ácido sulfúrico seguindo procedimentos descritos por Gomes et al. (2011). O teor de NDT foi estimado segundo Teixeira & Teixeira (1998).

AGVs

Para as análises dos ácidos orgânicos da silagem, aproximadamente 10 mL da amostra previamente acidificada com ácido meta-fosfórico foi centrifugada a $27,600\times g$ (Dupont Sorvall GSA, Dupont Company® Newtown, Connecticut) em temperatura ambiente por 10 min. O sobrenadante (2 mL) foi congelado em tubos Eppendorf a -20°C até as análises. As análises de ácidos orgânicos foram realizadas por HPLC

(Waters alliance e2695) com Detector PAD 2998 (photodiode array detector), sistema de separação constituído de coluna de fase reversa C18 ODS 80A (250 x 4,6 mm x 5 µm). As condições de análise foram: fase móvel isocrática constituída de 100% de solução aquosa de ácido fosfórico, pH 2,25-2,55, temperatura do forno de 40 +/- 5 °C, volume de injeção de amostra de 10 microlitros, fluxo 0,650 mL/min, tempo de corrida de 30 minutos e detector com comprimento de excitação de onda em 210 nm.

A produção de CH₄ foi avaliada em ensaio de digestibilidade *in vitro*. Para cada híbrido, três repetições foram pesadas (500 mg) em sacos filtrantes (F57; Ankom®, Macedon, EUA) e quatro sacos “em branco” (sem amostra) foram usados para correção da produção de gás e AGVs. Os sacos foram selados e colocados em frascos de 50 mL. O líquido ruminal foi coletado 2 h após a alimentação matinal e coletado de três vacas da raça Holandês canuladas no rúmen e alimentadas com dieta à base de silagem de milho com proporção de forragem para concentrado de 60:40. O fluido ruminal foi filtrado através de três camadas de gaze e transportado em frascos térmicos pré-aquecidos (39 ° C) que foram previamente gazeados com CO₂ e usados como fonte de inóculo. O fluido ruminal tamponado foi preparado pela mistura do fluido ruminal (3,5 mL) e um tampão mineral (23,96 mL) com 0,5 mL de solução de sulfeto de sódio na proporção de 1: 2, conforme descrito por Menke et al. (1979). O fluido ruminal tamponado foi, então, transferido (25 mL) para frascos de amostras (50 mL) sob uma corrente de gás N livre de O₂. Os frascos foram selados e colocados em agitador orbital ajustado a 90 oscilações/min por 2 min a cada 2 horas e mantidos em uma sala a 39 ° C. A produção de gás foi medida após 24 h de incubação por sistema de deslocamento de água vasocomunicante (Fedorah & Hrudey, 1983).

Para análise de CH₄, 10 mL de gás foram amostrados usando uma seringa de 20 mL. O gás foi imediatamente transferido para um Exetainer evacuado de 6,8 mL (Labco Ltd., High Wycombe, Buckinghamshire, UK). Após amostragem de CH₄ e registro do volume de gás, os frascos foram abertos, os sacos filtrantes com os resíduos das amostras foram enxaguados abundantemente com água destilada, até a obtenção de água limpa e analisada a MS residual.

A concentração do gás CH₄ foi determinada por cromatografia gasosa (03 CG-FID Agilent Technologies 7820A, Santa Clara, EUA) de acordo com Holtshausen et al. (2009).

Digestibilidade *in vitro*

Para realização dos ensaios de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) foi utilizada a metodologia descrita por Tilley & Terry (1963) em incubadora *in vitro* (Tecnal® TE-150). Aproximadamente 500 mg de amostra foram pesados em sacos filtrantes (F57; Ankom®, Macedon, USA) em triplicata para cada híbrido. O líquido ruminal utilizado para a avaliação foi coletado em três vacas adultas, fistuladas no rúmen. A coleta do líquido ruminal foi feita duas horas após a alimentação da manhã. O líquido coletado foi imediatamente transferido para uma garrafa térmica previamente aquecida com água morna e foi levado para o laboratório.

Em cada jarro da incubadora artificial foram colocados os saquinhos contendo 0,5g de amostra cada e 2 sacos “em branco”. Antes da incubação, adicionou-se 1200 mL de solução tampão de McDougall, 20 ml de solução de ureia (5,5 g de ureia/100 ml H₂O) e 20 ml da solução de glicose (5,5 g de glicose/100 ml H₂O). Após o preparo da solução, foi borbulhada com CO₂ com o objetivo de abaixar o seu pH a 6,9 e em seguida houve a incubação dos materiais por 48 h. Após as 48 h iniciais, os potes foram abertos e adicionou-se 8 gramas de Pepsina e 40mL HCl 6N em cada jarro. Após o período de incubação, os jarros foram retirados da incubadora artificial, abertos, e os sacos, contendo os resíduos da digestão, foram lavados em água corrente e, em seguida, colocados em estufa a 105°C durante 24 h, resfriados em dessecador e pesados.

Análises estatísticas

Os dados da composição química, parâmetros fermentativos, tamanho de partículas e produção de gases foram submetidos à análise de variância usando o PROC GLIMMIX (SAS v.9.4, SAS Institute, Cary North Carolina). As comparações entre médias foram realizadas pelo teste de Tukey. A significância das análises de variância e comparação entre médias foram declaradas para valores $p < 0,05$.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas diferenças apenas para as variáveis MS, CHOT e CNF (Tabela 2).

O híbrido R9080 CONV apresentou maior teor ($P < 0,05$) de MS em relação ao híbrido RB9789 VIP3, com médias 407,7 e 322,7 g kg⁻¹, respectivamente. Os demais híbridos apresentaram valores intermediários e semelhantes ao R9080 CONV e RB9789. Segundo Oliboni et al. (2012), essa diferença entre os híbridos é desejável para existir variabilidade genética e, assim, auxiliar na seleção de híbridos para programas de melhoramento genético.

Silva et al. (2018) avaliaram as características bromatológicas de 24 híbridos de milho indicados para produção de silagem colhidos aos 118 dias após semeadura e também observaram variação no teor de MS de 335,8 - 420,7 g kg⁻¹. Em uma meta-análise que avaliou dados de 48 experimentos, Ferraretto & Shaver (2015) encontraram teores de MS variando de 257 - 433 g kg⁻¹.

Brüning et al. (2018) relatam que baixos teores de MS podem favorecer o crescimento de microrganismos indesejáveis que depreciam o valor nutritivo da silagem. Conforme McDonald et al. (1991), silagens de melhor qualidade são obtidas quando o teor de MS é superior a 280 g kg⁻¹. Entretanto, os autores ressaltam que este não é o único fator responsável pela qualidade e que mesmo forragens com teor de matéria seca de 200,0 g kg⁻¹ podem ser fermentadas eficientemente, desde que tenham quantidades suficientes de carboidratos solúveis. Em contrapartida, teores de MS muito elevados (>400 g kg⁻¹) podem resultar em perdas no valor nutritivo da silagem, pois dificulta a compactação e expulsão do oxigênio, aumentando o tempo da fase aeróbia no processo de ensilagem e favorecendo o crescimento de fungos, leveduras e enterobactérias que causam deterioração da massa ensilada (Muck, 1988).

Tabela 2. Composição química e digestibilidade *in vitro* das silagens de oito híbridos de milho para produção de silagem.

Item (g kg ⁻¹ MS)	Híbrido								EPM	P-Valor
	RK3115 CONV	K9105 VIP 3	K9960 VIP 3	K9822 VIP 3	R9080 CONV	R9080 PRO 2	RB9789 VIP 3	RB9060 CONV		
MS	364,7 ab	375,4 ab	358,7 ab	385,1 ab	407,7 a	380,0 ab	322,7 b	362,8 ab	1,42	0,0439
MO	953,4 a	957,0 a	962,4 a	955,1 a	956,3 a	955,6 a	951,8 a	954,2 a	0,18	0,1184
PB	78,1 a	62,6 a	62,7 a	65,7 a	64,2 a	70,4 a	77,1 a	75,8 a	0,38	0,1270
FDN	411,0 a	451,3 a	383,7 a	453,3 a	429,0 a	435,2 a	455,2 a	426,6 a	1,41	0,2558
FDA	220,7 a	227,5 a	214,9 a	224,6 a	232,3 a	230,4 a	245,6 a	233,8 a	0,53	0,5618
LIG	28,4 a	26,5 a	30,0 a	27,3 a	31,8 a	30,0 a	33,3 a	31,7 a	0,14	0,2617
CHOT	840,3 d	864,6 ab	871,6 a	857,7 abc	860,9 abc	852,7 bcd	843,2 cd	844,8 cd	0,64	<0,0001
CNF	429,4 ab	413,2 ab	487,9 a	404,4 ab	431,9 ab	417,6 ab	374,3 b	418,2 ab	1,85	0,0997
NDT	723,9 a	719,2 a	728,0 a	721,2 a	715,8 a	717,1 a	706,5 a	714,8 a	0,37	0,5626
DIVMS	700,6 a	723,2 a	743,4 a	704,8 a	711,3 a	715,9 a	715,6 a	708,6 a	0,73	0,6339

MS = matéria seca; MO = matéria orgânica; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; FDN = fibra insolúvel em detergente neutro; FDA = fibra insolúvel em detergente ácido; LIG = lignina; CHOT = carboidratos totais; CNF = carboidratos não fibrosos; NDT = nutrientes digestíveis totais; DIVMS = digestibilidade *in vitro* da matéria seca. EPM = erro padrão da média.

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem entre si (Tukey, $\alpha=0,05$)

Não houve diferença ($P>0,05$) entre os híbridos quanto ao teor de MO, com o valor médio geral de $955,7 \text{ g kg}^{-1}$ MS. Valores próximos foram encontrados por Santos et al. (2010) para as silagens de diferentes variedades de milho cultivados na região semiárida brasileira.

O teor de PB variou de $62,6$ a $78,1 \text{ g kg}^{-1}$ MS e foi semelhante entre os híbridos ($P>0,05$). Alguns estudos encontraram variabilidade entre híbridos para teor de PB na silagem (Aoki et al., 2013; Silva et al., 2018; Vieira et al., 2013), no entanto essas diferenças podem estar associadas às interações genótipo: ambiente ou efeito de adubação.

Na avaliação da fração fibrosa da silagem, os híbridos foram semelhantes quanto aos teores de FDN, FDA e lignina, com valores médios de 430 , 228 e $29,8 \text{ g kg}^{-1}$ MS, respectivamente. Ferraretto & Shaver (2015) relataram teores mais baixos para as mesmas variáveis, com 415 , 242 e 26 g kg^{-1} MS, respectivamente em experimento conduzido em condições de clima temperado. Já Zardin et al. (2017) observaram concentrações superiores às encontradas neste estudo para FDN, FDA e lignina, com teores médios de 548 , 299 e 54 g kg^{-1} MS, respectivamente.

Nutricionalmente, a FDN é importante para ruminantes, pois representa uma porção orgânica parcialmente digestível que estimula a ruminação e conseqüentemente mantém a saúde ruminal (Mertens, 1994; Wilkinson & Rinne, 2017). Representa a quantidade total de fibra do alimento e é negativamente correlacionada com o consumo de MS, pelo fato da fibra ser fermentada mais lentamente e, portanto, permanece mais tempo no rúmen do que outros componentes da ração. Na maioria das forragens, a maturidade está altamente correlacionada positivamente com a concentração de fibra. Entretanto, na silagem de milho o acúmulo de amido nos grãos, que aumenta com o avanço da maturidade, causa efeito de diluição na concentração de fibra (Ferreira & Mertens, 2005; Peyrat et al., 2016).

Para as variáveis CHOT e CNF, houve diferença ($P<0,05$) entre os híbridos.

Para CHOT, o híbrido K9960 VIP3 foi semelhante a K9105 VIP3, R9080 CONV e K9822 VIP3, mas superior ao R9080 PRO 2, RB9060 CONV, RB9789 VIP3 e RK3115 CONV. O híbrido K9105 VIP3 diferiu apenas de RB9060 CONV, RB9789 VIP3 e RK3115 CONV, este último também sendo inferior aos híbridos R9080 CONV e K9822 VIP3.

Já para CNF, observou-se diferença ($P < 0,05$) apenas entre os híbridos K9960 VIP3 e RB9789 VIP3, com teores médios de 487,9 e 374,3 g kg⁻¹ MS, respectivamente.

Embora os híbridos tenham apresentado diferença nos teores de CHOT e CNF, a DIVMS foi semelhante ($P > 0,05$). Isso pode estar relacionado à maior digestibilidade da fração fibrosa para alguns híbridos. Arriola et al. (2012) obtiveram menores valores para DIVMS para silagem de quatro híbridos de milho, mas também não observaram diferença para a variável. Já Ferreira et al. (2011) avaliaram silagens de 10 híbridos de milho e observaram diferença entre os tratamentos para DIVMS, com valores entre 673,0 e 812,7 g kg⁻¹ MS.

Para o NDT, não houve diferença ($P > 0,05$) entre os híbridos, com teores entre 706,5 e 728 g kg⁻¹ MS. Outros trabalhos avaliando híbridos de milho também não observaram diferença no teor de NDT (Neumann et al., 2017; Silva et al., 2018).

Dentre os parâmetros utilizados para avaliar a qualidade do processo fermentativo (Tabela 3), foi observada diferença ($P < 0,05$) apenas para os teores de nitrogênio amoniacal como proporção do nitrogênio total ($N-NH_3/NT$).

Não houve influência do híbrido no pH das silagens. Todos os valores ficaram dentro da faixa considerada ideal (3,8 - 4,2) para garantir uma conservação eficiente do material ensilado (McDonald et al., 1991; Muck, 2010). Valores semelhantes foram encontrados por De Oliveira et al. (2017) (4,13).

Os híbridos K9960 VIP3 e RB9060 CONV foram superiores ao R9080 CONV para teor de $N-NH_3/NT$. Apenas o híbrido K9960 VIP3 apresentou teor acima de 10%, considerado como valor limite (McDonald et al., 1991; Tomich et al., 2003) indicativo de que ocorreu um processo fermentativo eficiente. Os valores encontrados neste estudo

são inferiores aos relatados por Arriola et al. (2012), que avaliaram o efeito do teor de MS nas características fermentativas de quatro híbridos de milho. Para todos os teores de MS (250, 320 e 370 g kg⁻¹) os autores observaram valores de N-NH₃/NT acima de 10%.

Tabela 3. Parâmetros fermentativos das silagens de oito híbridos de milho.

Híbrido	Item				
	pH	N-NH ₃ /NT (%)	Ác. Lát.	Ác. Acet.	Ác. But
			% MS		
RK3115 CONV	4,1 a	8,52 ab	3,11 a	1,15 a	0,22 a
K9105 VIP 3	4,1 a	8,98 ab	3,03 a	0,70 a	0,29 a
K9960 VIP 3	4,0 a	10,32 a	2,88 a	1,21 a	0,18 a
K9822 VIP 3	4,2 a	7,55 ab	2,47 a	1,03 a	0,12 a
R9080 CONV	4,1 a	5,95 b	2,45 a	0,78 a	0,26 a
R9080 PRO 2	4,2 a	9,32 ab	2,82 a	1,04 a	0,38 a
RB9789 VIP 3	4,0 a	9,72 ab	3,48 a	1,53 a	0,16 a
RB9060 CONV	3,8 a	9,82 a	3,39 a	1,22 a	0,14 a
EPM	0,08	0,83	0,25	0,19	0,06
P- Valor	0,11	0,02	0,08	0,14	0,15

pH = potencial hidrogeniônico; N-NH₃/NT = nitrogênio amoniacal em proporção do nitrogênio total; Ác. Lát. = ácido láctico; Ác. Acet. = ácido acético; Ác. But. = ácido butírico.

EPM = erro padrão da média

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si (Tukey, $\alpha=0,05$)

Não houve diferença ($P>0,05$) para os teores de ácido láctico, ácido acético e ácido butírico. Menores teores desses ácidos foram encontrados por Silva et al. (2020) para silagens de dois híbridos de milho em diferentes estádios fenológicos. Como informa Herrmann et al. (2011), o armazenamento prolongado pode alterar a proporção dos ácidos, o que explicaria os valores mais elevados encontrados no presente estudo.

Os híbridos diferiram ($P<0,05$) para a proporção de material retido em todas as peneiras (Tabela 4). Os híbridos K9960 VIP3, R9080 PRO2 e R9080 CONV tiveram as maiores proporções de material retido na peneira >19mm, diferindo dos demais. Os híbridos RK3115 CONV e RB9789 foram semelhantes e diferiram apenas do K9105 VIP 3, que apresentou a menor proporção de material retido nessa peneira. Segundo

Kononoff & Heinrichs (2003), as partículas retidas na peneira de 19 mm são eficazes para estimular a mastigação, mas também têm o maior potencial para classificação pela vaca. Maulfair et al. (2010) relataram redução no CMS diário por vacas leiteiras à medida que aumentou o tamanho de partícula na dieta.

Tabela 4. Proporção (%) de partículas retidas nas peneiras de diferentes tamanhos e escore de processamento de grãos das silagens de oito híbridos de milho.

Híbrido	Peneira (mm)				KPS
	> 19	19 a 8	8 a 4	< 4	
RK3115 CONV	3,7 b	39,1 b	53,9 bc	3,3 e	95,0 a
K9105 VIP 3	1,6 d	35,0 c	51,9 cd	11,6 a	97,2 a
K9960 VIP 3	5,5 a	47,4 a	42,2 f	4,9 d	96,9 a
K9822 VIP 3	2,8 c	35,0 c	54,5 b	7,7 c	95,2 a
R9080 CONV	4,8 a	35,0 c	51,4 d	9,0 b	95,4 a
R9080 PRO 2	5,0 a	36,1 c	53,4 bcd	5,6 d	93,2 a
RB9789 VIP 3	3,5 bc	48,5 a	45,2 e	2,9 e	98,2 a
RB9060 CONV	2,8 c	29,5 d	61,9 a	5,8 d	95,0 a
EPM	0,76	3,79	3,46	1,69	0,92
P- Valor	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,5638

KPS = escore de processamento do grão

EPM = erro padrão da média

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si (Tukey, $\alpha=0,05$)

Com exceção dos híbridos K9960 VIP3 e RB9789 VIP 3, os demais apresentaram maiores proporções de partícula retida na peneira entre 8 e 4 mm, indicando processamento excessivo, já que partículas desse tamanho têm menor efeito no estímulo à ruminação. K9960 VIP3 (47,4%) e RB9789 VIP 3 (48,5%) tiveram maior proporção de partículas retidas na peneira de 19 a 8 mm, proporções dentro da faixa de 45 a 65% considerada como ideal por Kononoff et al. (2003).

O híbrido que apresentou maior ($P<0,05$) proporção de material inferior a 4 mm foi o K9105 VIP3 (11,6%). Para esse tamanho de partícula é recomendada (Kononoff et al., 2003) uma proporção menor que 10%, o que foi observado para a maioria dos híbridos.

O processamento dos grãos foi semelhante ($P>0,05$) entre os híbridos e todos os valores foram acima de 90%, que de acordo com Shinnars et al. (2000) indica que o processamento dos grãos foi eficiente.

Embora a DivMS tenha sido semelhante ($P>0,05$) entre os híbridos (Tabela 5), o volume de gás produzido foi diferente ($P>0,05$). Maiores VT foram observados para os híbridos R9080 PRO2, K9822 VIP3, RB9060 CONV, RK3115 CONV e RB9789 VIP3, indicando que esses híbridos são potencialmente mais digestíveis. Para Cabral et al. (2019), espera-se que alimentos que produzam mais gases, sejam melhor aproveitados por ruminantes, aumentando, dessa forma, a produção animal.

Tabela 5. Produção de gases, produção de metano (CH_4) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DivMS) da silagem de oito híbridos de milho.

Híbrido	Item			
	DivMS (g kg^{-1} MS)	VT (mL g^{-1} MS)	CH_4 (mL g^{-1} MS)	CH_4 (mL g^{-1} MSD)
RK3115 CONV	575 a	54,1 a	4,2 ab	7,4 ab
K9105 VIP 3	572 a	40,7 b	3,3 ab	5,8 ab
K9960 VIP 3	598 a	42,3 b	3,4 ab	5,6 ab
K9822 VIP 3	572 a	57,6 a	4,8 a	8,4 a
R9080 CONV	573 a	39,0 b	2,8 b	4,8 b
R9080 PRO 2	585 a	62,1 a	4,7 a	8,0 a
RB9789 VIP 3	547 a	52,6 a	4,0 ab	7,3 ab
RB9060 CONV	534 a	57,5 a	4,6 a	8,1 a
EPM	1,17	5,58	0,43	0,77
P- Valor	0,6459	<0,0001	0,0013	0,0028

DIVMS = digestibilidade *in vitro* da matéria seca (g kg^{-1} MS); VT = volume total de gás (mL g^{-1} MS); CH_4 =metano (mL g^{-1} MS); MSD = matéria seca digerida

EPM = erro padrão da média

Médias seguidas de letras diferentes na coluna diferem entre si (Tukey, $\alpha=0,05$)

O híbrido R9080 CONV apresentou menores valores ($P<0,05$) para VT, produção de CH_4 (mL g^{-1} MS) e para CH_4 (mL g^{-1} MSD), quando comparado com K9822 VIP3, R9080 PRO2 e RB9060 CONV. Embora os híbridos tenham apresentado semelhanças na composição química e DivMS, a técnica de produção de gases evidenciou diferenças na produção total de gases e de CH_4 , que podem estar

relacionadas com maior ou menor disponibilidade de CNF para os microrganismos ruminais. Menke et al. (1979) indicam que a produção de gás é basicamente o resultado da fermentação de carboidratos digeríveis. No entanto, Getachew et al. (2004) afirmam que este processo é complexo, pois a produção de gás surge diretamente da degradação microbiana do alimento e indiretamente do tamponamento de ácidos gerados pela fermentação.

Nutricionalmente, a produção de CH₄ representa ineficiência ruminal. Essa produção ocorre no trato digestivo dos ruminantes, eliminando o H₂ produzido e mantendo a fermentação (Guan et al., 2006) e, em consonância com Patra (2012), diariamente, entre 2-12% da energia bruta das rações é perdida pela produção de metano. Assim, híbridos de milho que resultem em maior volume de gás produzido associado à baixa produção de metano podem contribuir para reduzir a perda de energia e melhorar o aproveitamento do alimento pelos animais.

V. CONCLUSÕES

Os híbridos apresentam semelhanças em termos de composição química, digestibilidade *in vitro* da MS e parâmetros fermentativos. Maiores diferenças foram observadas para o tamanho de partícula, destacando-se os híbridos K9960 VIP3 e RB9789 VIP3 por apresentarem melhor distribuição entre as peneiras. A produção total de gás e a produção de metano podem ser variáveis adicionalmente utilizadas para melhor caracterizar os híbridos de milho, identificando aqueles que possuam elevada produção de gás associada com baixa produção de metano.

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os programas de melhoramento genético do milho tenham evoluído muito nos últimos anos, os novos híbridos desenvolvidos parecem apresentar poucas diferenças em termos de composição química e valor nutritivo de híbridos de alta qualidade já existentes. Maiores diferenças podem estar associadas à produtividade de MS desses híbridos, o que os tornariam mais interessantes em relação aos cultivares convencionais.

Todas as silagens apresentaram qualidade fermentativa adequada, o que já era esperado, dado que a planta de milho possui diversas características favoráveis aos processos fermentativos.

As diferenças observadas para o tamanho de partícula podem auxiliar na tomada de decisões importantes, como o momento ideal para colheita, além de ser uma variável interessante do ponto de vista nutricional.

Os resultados obtidos na análise de produção de gases revelaram diferenças que não foram detectadas na composição química ou digestibilidade *in vitro*, indicando que essa técnica pode ser útil para identificar detalhes das características de híbridos de milho. Trata-se, portanto, de uma variável com potencial de ser incorporada aos programas de melhoramento de milho.

VII. REFERÊNCIAS

AGUERRE, M. J.; WATTIAUX, M. A.; POWELL, J. M. Emissions of ammonia, nitrous oxide, methane, and carbon dioxide during storage of dairy cow manure as affected by dietary forage-to-concentrate ratio and crust formation. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 12, p. 7409–7416, dez. 2012.

ALLEN, M. S.; COORS, J. G.; ROTH, G. W. Corn Silage. In: **Silage Science and Technology**. [s.l: s.n.]. p. 547–608.

AOAC. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18. ed. Gaithersburg, Maryland: [s.n.].

AOKI, Y. et al. Effect of cutting height on the chemical composition, nutritional value and yield, fermentative quality and aerobic stability of corn silage and relationship with plant maturity at harvest. **Grassland Science**, v. 59, n. 4, p. 211–220, 2013.

ARRIOLA, K. G. et al. Stay-green ranking and maturity of corn hybrids: 1. Effects on dry matter yield, nutritional value, fermentation characteristics, and aerobic stability of silage hybrids in Florida. **Journal of Dairy Science**, v. 95, n. 2, p. 964–974, 2012.

BERNARDES, T. F. **Levantamento das práticas de produção e uso de silagens em fazendas produtoras de leite no Brasil**. [s.l: s.n.].

BRÜNING, D. et al. Effect of compaction, delayed sealing and aerobic exposure on forage choice and short-term intake of maize silage by goats. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 2, p. 392–405, 2018.

CABRAL, Í. D. S. et al. Evaluation of models utilized in in vitro gas production from tropical feedstuffs. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 443–456, 2019.

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

DE OLIVEIRA, I. L. et al. Nutritive value of corn silage from intensive dairy farms in Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 6, p. 494–501, 2017.

FAO. **World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2020**. [s.l: s.n.].

FEDORAH, P. M.; HRUDEY, S. E. A simple apparatus for measuring gas production by methanogenic cultures in serum bottles. **Environmental Technology Letters**, v. 4, n. 10, p. 425–432, 17 out. 1983.

FENNER, H. Method for Determining Total Volatile Bases in Rumen Fluid by Steam Distillation. **Journal of Dairy Science**, v. 48, n. 2, p. 249–251, 1965.

FERRARETTO, L. F.; SHAVER, R. D. Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. **Journal of Dairy Science**, v. 98, n. 4, p. 2662–2675, 2015.

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.

FERREIRA, G. D. G. et al. Valor nutritivo da silagem de dez híbridos de milho. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 33, n. 3, p. 255–260, 2011.

FERREIRA, G.; MERTENS, D. R. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. **Journal of Dairy Science**, v. 88, n. 12, p. 4414–4425, 2005.

GETACHEW, G. et al. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and in vitro gas production of several ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 111, n. 1-4, p. 57-71, 2004.

GOMES, D. I. et al. Evaluation of lignin contents in tropical forages using different analytical methods and their correlations with degradation of insoluble fiber. **Animal Feed Science and Technology**, v. 168, n. 3–4, p. 206–222, 2011.

GRANT, R. J.; FERRARETTO, L. F. Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. **Journal of Dairy Science**, v. 101, n. 5, p. 4111–4121, 2018.

GUAN, H. K. M. et al., Efficacy of ionophores in cattle diets for mitigation of enteric methane, **Journal of Animal Science**, v. 84, n. 7, Pages 1896–1906, July 2006. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-652>

HASSANAT, F.; GERVAIS, R.; BENCHAAAR, C. Methane production, ruminal fermentation characteristics, nutrient digestibility, nitrogen excretion, and milk production of dairy cows fed conventional or brown midrib corn silage. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 4, p. 2625–2636, abr. 2017.

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, abr. 2011.

HOLTSHAUSEN, L. et al. Feeding saponin-containing *Yucca schidigera* and *Quillaja saponaria* to decrease enteric methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 6, p. 2809–2821, jun. 2009.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2019**. v. 46, p. 1–8, 2020.

K. J. SHINNERS et al. PROCESSING WHOLE-PLANT CORN SILAGE WITH CROP PROCESSING ROLLS ON A PULL-TYPE FORAGE HARVESTER. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 323–331, 2000.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J. The Effect of Reducing Alfalfa Haylage Particle Size on Cows in Early Lactation. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 4, p. 1445–1457, abr. 2003.

KONONOFF, P. J.; HEINRICHS, A. J.; LEHMAN, H. A. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 86, n. 10, p. 3343–3353, 2003.

LAMMERS, B. P.; BUCKMASTER, D. R.; HEINRICHS, A. J. A Simple Method for the Analysis of Particle Sizes of Forage and Total Mixed Rations. **Journal of Dairy Science**, v. 79, n. 5, p. 922–928, 1996.

MAULFAIR, D. D. et al. Effect of feed sorting on chewing behavior, production, and rumen fermentation in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 93, n. 10, p. 4791–4803, out. 2010.

MCDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe publications, 1991.

MENKE, K. H. et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. **The Journal of Agricultural Science**, v. 93, n. 1, p. 217–222, 27 ago. 1979.

MERTENS, D. R. Regulation of Forage Intake. In: JR., G. C. F. (Ed.). **Forage Quality, Evaluation, and Utilization**. [s.l: s.n.]. p. 450–493.

MUCK, R. E. Factors Influencing Silage Quality and Their Implications for Management. **Journal of Dairy Science**, v. 71, n. 11, p. 2992–3002, 1988.

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

NEUMANN, M. et al. Aspectos produtivos, nutricionais e bioeconômicos de híbridos de milho para produção de silagem. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 262, p. 51–58, 2017.

OLIBONI, R. et al. Divergência genética entre híbridos de milho e correlações com heterose e capacidade de combinação. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 34, n. 1, p. 37–44, 2012.

PATRA, A.K. Enteric methane mitigation technologies for ruminant livestock: a synthesis of current research and future directions. **Environ Monit Assess**, v 184, n. 4, 2012. doi: 10.1007/s10661-011-2090-y.

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. Sementes de Milho: nova safra, novas cultivares e contínua a dominância dos transgênicos. **Embrapa Milho e Sorgo**, p. 59, 2020.

PEYRAT, J. et al. Effect of maturity and hybrid on ruminal and intestinal digestion of corn silage in dry cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 1, p. 258–268, 2016.

SANTOS, R. D. et al. Características de fermentação da silagem de seis variedades de milho indicadas para a região semiárida Brasileira. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 6, p. 1423–1429, 2010.

SAVOIE, P.; SHINNERS, K. J.; BINVERSIE, B. N. Hydrodynamic separation of grain and stover components in corn silage. **Applied Biochemistry and Biotechnology - Part A Enzyme Engineering and Biotechnology**, v. 113, n. 1–3, p. 41–54, 2004.

SILVA, A. S. et al. Effects of exogenous amylase on the in vitro digestion kinetics of whole-crop maize silages made from flint or dent grain type at different phenological stages grown in tropical condition. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 104, n. 1, p. 76–87, 31 jan. 2020.

SILVA, M. J. DA et al. Características Bromatológicas Em Híbridos De Milho Para Produção De Silagem No Estado De Minas Gerais. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 2, p. 76–82, 2018.

SOUZA, N. K. P. et al. Accuracy of the estimates of ammonia concentration in rumen fluid using different analytical methods. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 65, n. 6, p. 1752–1758, 2013.

TEIXEIRA, J. C.; TEIXEIRA, L. D. F. A. C. **Do alimento ao leite: entenda a função ruminal**. Lavras: [s.n.].

TOMICH, T. R. et al. Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para qualificação da fermentação. **Documentos**, v. 57, p. 20, 2003.

VIEIRA, C. et al. Caracterização bromatológica de silagens de milho de genótipos super precoce Chemical characterization of corn silage. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 43, n. 11, p. 1925–1931, 2013.

WILKINSON, J. M.; RINNE, M. Highlights of progress in silage conservation and future perspectives. **Grass and Forage Science**, v. 73, n. 1, p. 1–13, mar. 2017.

ZARDIN, P. B. et al. Chemical composition of corn silage produced by scientific studies in Brazil - A meta-analysis. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 1, p. 503–511, 2017.