Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Processamento mecânico da fração de grãos como estratégia de aumento da inclusão de silagem de milho em dietas de vacas leiteiras

Gabriel de Assis Reis

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens

Piracicaba
2021

Gabriel de Assis Reis
Zootecnista

Processamento mecânico da fração de grãos como estratégia de aumento da inclusão de silagem de milho em dietas de vacas leiteiras

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **LUIZ GUSTAVO NUSSIO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Ciência Animal e Pastagens.

Piracicaba
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Reis, Gabriel de Assis

Processamento mecânico da fração de grãos como estratégia de aumento da inclusão de silagem de milho em dietas de vaca leiteiras / Gabriel de Assis Reis. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2021.

60 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Processador de grãos 2. Amido 3.Colheita 4. Forrageira I. Título

Para minha família e amigos

EU DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus pela vida, por tudo que vai acontecer, já aconteceu e está acontecendo.

À minha família (Idivaldo, Mirlene, Marta, Diego e Milena) pelo amor e por todos os esforços que foram realizados para que eu pudesse continuar estudando e crescendo como ser humano.

Meus sinceros agradecimentos ao amigo Gustavo Salvati e Willian dos Santos pela amizade.

Aos meus amigos Andreia, Daniel e Victor pela convivência e amizade.

Aos meus amigos do Grupo de Qualidade e Conservação de Forragens - QCF, pelo auxílio durante as etapas deste trabalho e por bons momentos de diversão.

Ao Dannylo Oliveira de Sousa e Greiciele Morais, pelos seus ensinamentos e instruções.

Ao meu orientador, Dr. Luiz Gustavo Nussio, por sua contribuição à minha formação profissional por meio de suas instruções.

À Dra. Janaina Azevedo Martuscello, pela contribuição à minha formação profissional quando enquanto estudante de graduação.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, a Universidade de São Paulo e a todas as instituições de ensino em que tive o privilégio de ter estudado.

Finalmente, ao CNPq pelo financiamento e bolsa de estudos.

SUMÁRIO

RESUMO 7
ABSTRACT 8
LISTA DE FIGURAS 9
LISTA DE TABELAS 10
1. INTRODUÇÃO GERAL 11
1.1. Hipóteses 12
1.2. Objetivos 12
Referências 12
2. REVISÃO DE LITERATURA 15
2.1. A cultura do milho para ensilagem 15
2.2. Colhedoras para silagem 16
2.3. Processamento dos grãos de milho 16
2.4. Avaliação do processamento dos grãos e colheita nos últimos anos 18
2.5. O aumento na disponibilidade de energia dos grãos 19
Referências 20
3. EFEITO DO PROCESSAMENTO DOS GRÃOS POR COLHEDORAS TRACIONADAS POR TRATOR SOBRE A QUALIDADE DE SILAGENS DE PLANTA INTEIRA DE MILHO 25
Resumo 25
Abstract 25
3.1. Introdução 26
3.2. Material e Métodos 27
3.2.1. Local e confecção das silagens 27
3.2.2. Coleta de amostras e análises químico-físicas 27
3.2.3. Avaliação dos atributos fermentativos 28
3.2.4. Ensaio de estabilidade aeróbia 28
3.2.5. Análise Estatística 29
3.3. Resultados e Discussão 29
3.4. Conclusão 33
Referências 33

4. PROCESSAMENTO DOS GRÃOS DE SILAGEM DE PLANTA INTEIRA DE MILHO E SUPLEMENTAÇÃO ESTRATÉGICA NO DESEMPENHO DE VACAS LEITEIRAS 37
Resumo 37
Abstract 37
4.1. Introdução 38
4.2. Material e Métodos 39
4.2.1. Ensilagem 39
4.2.2. Animais e alimentação 39
4.2.3. Coletas de amostras 42
4.2.4. Análises bromatológicas 42
4.2.5. Características fermentativas das silagens 42
4.2.6. Características físicas das silagens 42
4.2.7. Produção e Qualidade do Leite 45
4.2.8. Consumo de Alimentos 45
4.2.9. Comportamento ingestivo e peso dos animais 45
4.2.10. Digestão e parâmetros sanguíneos 45
4.2.11. Análise Estatística 46
4.3. Resultados e Discussão 46
4.4. Conclusão 55
Referências 55

RESUMO

Processamento mecânico da fração de grãos como estratégia de aumento da inclusão de silagem de milho em dietas de vacas leiteiras

Objetivou-se com este trabalho avaliar o processamento mecânico dos grãos na colheita da planta inteira de milho sobre o padrão fermentativo, composição nutricional das silagens, bem como, as respostas produtivas e fisiológicas de vacas leiteiras. Comparando a efetividade do processamento dos grãos em relação à estratégia de adicionar milho seco moído a uma dieta com silagem não processada, fornecendo assim maior aporte de energia as dietas sem processamento. Foram utilizadas duas colhedoras tracionada por trator, uma delas contendo processador de grãos "cracker" (Menta ATM 1.3) e a outra sem o processador (Menta ATM 1.1). A ensilagem da cultura de milho com e sem processador foi realizada em escala laboratorial, utilizando silos experimentais com capacidade de 20 litros e 10 repetições por tratamento. Também foram armazenadas em dois silos trincheiras, sendo um para cada tratamento. Nos dois experimentos, o tempo de armazenamento das silagens foi de 140 dias. As dietas do ensaio de desempenho animal foram calculadas para terem silagem de milho como volumoso único, nas formas processada ou não processada. O terceiro tratamento foi elaborado para equiparação à oferta de energia da silagem processada, contendo silagem não processada adicionada de 0,5 kg de milho seco moído, com base no percentual de grãos abaixo de 4,75 mm da silagem não processada. Os resultados obtidos a partir de silos de pequena escala revelaram um aumento de CNF para a silagem processada. A qualidade da fermentação foi semelhante entre as silagens, com valores de pH adequados para uma conservação eficiente (<4,0). A estabilidade aeróbia não foi afetada pelo processamento, com média de 35,8 horas. Quanto ao fracionamento dos grãos, foi observado menor tamanho geométrico na silagem processada, fruto da maior proporção de grãos abaixo de 4,75 mm (69,9%) em relação ao tratamento não processado (61,6 %). Isso resultou em aumento do KPS de 37,23 para 48,30%, com uso do cracker. Sobre o ensaio de desempenho animal, a caracterização das silagens por meio de estatística descritiva sinalizou para respostas semelhantes em função do processamento. Foi constatado um aumento de produção de leite de 1 kg d^{-1} para as dietas com silagem processada, comparado à dieta sem processamento. Esse dado foi suportado pelo maior aporte de glicose plasmática pelo tratamento com processador. A produção de leite registrada para a silagem não processada + milho foi semelhante à da silagem processada, ambas com média de 26,9 kg d^{-1}. No entanto, o tratamento com adição de milho moído resultou em aumento de amido fecal de 2,53% para 3,45%. Essa perda em função do maior uso de grãos secos na dieta, dentro do contexto de alta no preço dos ingredientes concentrados revelou a menor eficiência desse tratamento, cuja dieta se mostrou mais cara.

Palavras-chave: Vacas leiteiras, Rolos processadores, Ensilagem, Milho

ABSTRACT

Mechanical processing of grain fraction as a strategy to increase the inclusion of corn silage in diets of dairy cows

The aim of this work was to evaluate the effect of mechanical grain processing on the harvest of the whole-plant corn on the fermentative pattern, nutritional composition of silages, as well as the productive and physiological responses of dairy cows. Comparing the effectiveness of grain processing in relation to the strategy of adding dry ground corn to a diet with unprocessed silage, providing greater energy supply to diets without processing. Two pull-type harvesting machines used, one containing a cracker grain processor (Menta ATM 1.3) and the other without a processor (Menta ATM 1.1). The silage of the corn with and without a processor was carried out on a laboratory scale, using experimental silos with a capacity of 20 liters and 10 replicates per treatment. They were also stored in two trench silos, one for each treatment. The silage storage lasted 140 days in both experiments. The diets of the animal performance test were calculated to have corn silage as a single source of roughage, in the processed or unprocessed forms. The third treatment was designed to match the energy supply of the processed silage, containing unprocessed silage added with 0.5 kg of dry ground corn, based on the percentage of grains below 4.75 mm. The results obtained from small-scale silos revealed an increase in NFC for the processed silage. The fermentation quality was similar among the silages, with pH values adequate for efficient conservation (<4.0). Aerobic stability was not affected by processing, with an average of 35.8 hours. As for fractionation of grains, a smaller geometric size was observed in the processed silage because of the greater proportion of grains below 4.75 mm (69.9%) in relation to the unprocessed treatment (61.6%). This resulted in an increase in KPS from 37.23 to 48.30% with the use of crackers. Regarding the animal performance test, the characterization of the silages through descriptive statistics signaled for similar responses depending on the processing. An increase in milk production of 1 kg d^{-1} was found for diets with processed silage, compared to the diet without processing. This data was supported by the greater supply of plasma glucose provided by the treatment with a processor. The production of milk recorded for unprocessed silage + corn was similar to the processed silage, both with an average of 26.9 kg d^{-1}. However, the treatment with ground corn resulted in an increase in fecal starch from 2.53% to 3.45%. This loss due to the increased use of dry grains in the diet, within the context of high prices for concentrated ingredients, revealed the lower efficiency of this treatment, whose diet proved to be more expensive.

Keywords: Dairy cows, Processors, Silage, Corn

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolução anual relativa do custo de alimentação com silagem processadas mecanicamente 48
Figura 2. Margem líquida relativa das dietas..... 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química e perfil fermentativo de silagens de planta inteira de milho obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento dos grãos 30
Tabela 2. Estabilidade aeróbia de silagens de planta inteira de milho obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento dos grãos 31
Tabela 3. Distribuição de partículas estratificadas pelo método na Penn State e características físicas de silagens de planta inteira de milho obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento dos grãos 32
Tabela 4. Estratificação de partículas e aspectos físicos da fração de grãos de silagens de planta inteira de milho obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento dos grãos 33
Tabela 5. Composição das dietas experimentais contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos 40
Tabela 6. Composição nutricional e tamanho de partícula das dietas experimentais contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos 41
Tabela 7. Composição química, perfil de fermentação e características físicas da silagens de planta inteira de milho, obtidas por colhedora tracionada, com e sem processamento de grãos 44
Tabela 8. Desempenho de vacas em lactação recebendo dietas contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos 47
Tabela 9. Parâmetros ruminais, pH e amido fecal de vacas leiteiras recebendo dietas contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos 50
Tabela 10. Comportamento ingestivo em vacas leiteiras recebendo dietas contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos ou adição de grão seco moído 54
Tabela 11. Seleção de partículas da dieta em vacas leiteiras recebendo dietas contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos ou adição de grão seco moído 55

1. INTRODUÇÃO GERAL

A colheita tem grande impacto na quantidade e disponibilidade dos nutrientes de silagens de planta inteira de milho e as variações no processo se devem ao uso de diferentes equipamentos, como colhedoras autopropelidas ou tracionadas por trator; dotadas ou não de dispositivo para processamento dos grãos. O manejo de colheita envolve a adequação na regulagem do jogo de facas, do processador e atenção à velocidade de deslocamento. Um bom manejo de colheita afeta diretamente a qualidade da silagem por aumentar a efetividade química, física, e nutricional desse ingrediente (Johnson et al., 1999; Allen et al., 2003; Ferraretto e Shaver, 2012).

A extensão da fermentação de plantas de milho depende do grau de picagem, de uma expulsão eficiente do oxigênio da massa durante a compactação e de uma vedação criteriosa. O corte da forragem e outros danos físicos impostos à planta na colheita aumentam a disponibilidade de substratos fermentescíveis. Essa exposição dos carboidratos solúveis favorece um rápido crescimento das bactérias ácido-lácticas, com consequente queda do pH da silagem (Ferraretto et al., 2018).

O grão de milho é formado por quatro principais estruturas: endosperma, gérmen, pericarpo (casca) e ponta. No endosperma, o grau de organização dos grânulos de amido junto à matriz proteica determina a textura do grão. Quando os grânulos estão fortemente aprisionados pela matriz de prolaminas, o amido assume um aspecto vítreo, duro. Se os grânulos estiverem dispostos de forma solta no endosperma, com menor presença de matriz proteica, tem-se a forma macia ou farinácea. A proporção entre os endospermas duro e macio definirá o grão de milho como vítreo ou farináceo, sendo que no Brasil são utilizados predominantemente grãos duros (Bernardes et al., 2018), cujo aproveitamento ruminal é menor (Corrêa et al., 2002). Outra fração do grão associada à indisponibilidade do amido é o pericarpo. Esse envoltório protege os grânulos de amido do endosperma, sendo composto em sua maioria por hemicelulose e celulose, além da lignina. A proteção conferida pelo pericarpo dificulta o ataque de microrganismos e a ação das enzimas digestivas sobre o amido dos grãos (McAlister et al., 1993).

A quebra em partículas menores e o esmagamento dos grãos de milho pelos rolos processadores permitem a exposição do amido. Esse aumento da área de superfície potencializa a ação dos microrganismos e os processos enzimáticos da digestão, aumentando a digestibilidade ruminal e total do milho (Johnson et al., 1999; Bal et al., 2000). No entanto, a eficiência do processamento é influenciada por diversos fatores, como a maturidade da cultura, o tamanho teórico de corte, o tipo de processador e o diferencial de velocidade e distância entre os rolos processadores (Shinners et al., 2000; Ferraretto e Shaver, 2012). No Brasil, o uso preferencial de híbridos duros (Bernardes et al., 2018) é um fator adicional que dificulta o processamento durante a colheita (Ferraretto et al., 2018).

Atualmente, tem-se registrado um aumento no número de prestadores de serviços terceirizados que trabalham com colhedora de forragem autopropelida no Brasil (Daniel et al., 2019). Segundo Mello et al. (2018), a terceirização responde por 72% das colheitas realizadas na região Centro Oriental Paranaense, sendo 66% realizadas por colhedoras autopropelidas. Resultados semelhantes foram encontrados por Dalle Carbonare (2020) em estudo realizado na mesma região e no sul de São Paulo, de 2015 a 2019. Segundo a autora, em 2016, 73% das colheitas foram realizadas utilizando colhedora autopropelida; 69% em 2017; 79% em 2018 e 85% em 2019. No entanto, é sabido que essa realidade não se estende para todo o Brasil. O levantamento de Bernardes e Rego (2014) demonstrou que ao separar as propriedades em grupos, a maioria dos pequenos produtores com menor tecnologia envolvida nos processos de colheita utilizavam colhedoras tracionadas por trator (98,3%). A aquisição de autopropelida é dificultada pelo alto investimento para aquisição da máquina somado à pequena quantidade de horas trabalhadas no ano, o que eleva o custo de amortização do equipamento (Gomides, 2013). O fato das colhedoras de milho tracionadas por trator serem uma realidade no país, torna necessária a compreensão dos benefícios da utilização do

processador de grãos nessas máquinas, a fim de que a eficiência da colheita seja maximizada, independentemente do nível tecnológico do produtor rural.

1.1. Hipóteses

O processamento de grãos de milho na colheita influencia o fracionamento dos grãos silagens de planta inteira de milho, impactando no escore de processamento e no desempenho de vacas leiteiras.

A estratégia de incluir milho moído em uma dieta com silagem de planta inteira de milho não processada, pode resultar em ganhos de desempenho semelhantes a uma dieta contendo silagem processada proporciona.

1.2. Objetivos

Avaliar o efeito do processador na colheita da planta inteira de milho sobre a fração de grãos, bem como, as respostas produtivas e fisiológicas de vacas leiteiras alimentadas com dietas contendo silagens de planta inteira de milho produzidas com colhedoras tracionadas, contendo ou não processador de grãos.

Comparar a efetividade do processamento dos grãos na colheita em relação à adição de milho seco moído na dieta de vacas leiteiras que receberam silagem não processada.

Referências

Allen, M. S., J. G. Coors e G. W. Roth. 2003. Corn silage. Pages 547-608. In: Silage Science and Technology. Buxton, D. R., R. E. Muck e H. J. Harrison, ed. ASA, CSA and SSSA, Madison, WI.

Bal, M. A., R. D. Shaver, A. G. Jirovec, K. J. Shinners e J. G. Coors. 2000. Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. Journal of Dairy Science. 8:1264-1273.

Bernardes, T. F e A. C. Rego. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. Journal of Dairy Science. 97:1852-1861.

Bernardes, T. F., J. L. P. Daniel, A. T. Adesogan, T. A. McAllister, P. Drouin, L. G. Nussio, P. Huhtanen, G. F. Tremblay, G. Bélanger e Y. Cai. 2018. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. Journal of Dairy Science. 101:4001-4019.

Correa, C. E. S., R. D. Shaver, M. N. Pereira, J. G. Lauer e K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. Journal of Dairy Science. 85:3008-3012.

Dalle Carbonare, M. S. 2020. Processamento de grãos (KPS) da silagem de milho e aproveitamento do amido por vacas em lactação em fazendas comerciais. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. UFP, Curitiba.

Daniel, J. L. P., T. F. Bernardes, C. C. Jobim, P. Schmidt e L. G. Nussio. 2019. Production and utilization of silages in tropical areas with focus in Brazil. Grass Forage Sci. 1-13.

Ferraretto, L. F e R. D Shaver. 2012. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. Prof. Anim. Sci. 28:141-149.

Ferraretto, L. F., R. D. Shaver e B. D. Luck. 2018. Silage review: recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. Journal of Dairy Science. 101:3937–3951.

Gomides, G. C. 2013. Fatores determinantes na ensilagem de milho: da colheita à utilização. Monografia (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Johnson, L. M., J. H. Harrison, C. Hunt, K. Shinners, C. G. Doggett e D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. Journal of Dairy Science. 82:2813-2825.

McAllister, T. A., R. C. PHillippe, L. M. Rode e K. J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. Journal of Animal Science, 71:205-212.

Mello, R. P e Dalle Carbonare, M. S. 2018. Chemical quality of corn silage in Brazilian capital of milk during nine years. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 18. Bonn. Proceedings... Alemanha, 2018.

Shinners, K. J., A. G. Jirovec, R. D. Shaver, e M. Bal. 2000.Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. Appl. Eng. Agric. 16:323-331.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do milho para ensilagem

A produção de silagens é uma prática recorrente em fazendas produtoras de leite e carne no Brasil, por minimizar a perda de nutrientes das forragens em seus ciclos sazonais e por garantir alimento disponível durante todo o ano. A silagem de planta inteira de milho é a mais utilizada para vacas leiteiras no Brasil (Bernardes e Rêgo, 2014), nos Estados Unidos (Ferraretto et al., 2018; Martin et al., 2017) e em todo o mundo, devido ao fornecimento de alta energia (advinda principalmente do amido dos grãos) e FDN fisicamente efetiva, oriunda da fração vegetativa (Ferraretto et al., 2018). Outros benefícios da cultura do milho dentro da pecuária são os menores custos de colheita e a flexibilidade do aproveitamento para forragem ou para grãos (Allen et al., 2003), alto rendimento por área, colheita rápida e facilidade de ensilagem (Nigon et al., 2016).

Produtores de leite são desafiados a serem bons cultivadores de milho, uma vez que as demandas nutricionais de vacas leiteiras de alta produção exigem safras produtivas e de qualidade. Atualmente, os nutricionistas buscam por maior consistência no valor nutritivo dos alimentos, dada a era da alimentação de precisão. Por isso, o conhecimento dos ganhos qualitativos advindos da ensilagem do milho sob diferentes manejos gera oportunidades de otimização das dietas pelos nutricionistas.

Apesar das melhorias contínuas na produtividade total de matéria seca e de grãos de híbridos de milho, os avanços na qualidade nutricional em função dos programas de seleção dos híbridos foram abaixo do esperado no último século (Ferraretto et al., 2015; Lauer et al., 2001). Assim, melhorias contínuas nos métodos agrícolas para avaliar as características físicas e químicas das forragens aumentam a probabilidade de alcançar maior consistência na colheita, permitindo melhorias potenciais para os modelos atuais de formulação de dietas.

No Brasil, a maioria dos híbridos cultivados é de textura dura, associada a uma maior proporção de endosperma vítreo (Bernardes et al., 2018). Esse fato é explicado pela priorização dos programas de melhoramento genético desenvolvidos nas regiões tropicais, selecionando características do grão mais adequadas à manutenção da qualidade frente a adversidades climáticas, de colheita e de armazenamento (Duarte et al., 2007).

A textura do grão de milho é determinada pela proporção dos endospermas vítreo e farináceo (Watson, 1988). O endosperma vítreo é duro e cristalino, possuindo uma matriz proteica abundante, com corpos proteicos compactos, maiores e mais numerosos e a presença de grânulos de amido poligonais (Pereira et al., 2004). No endosperma farináceo, que é de textura macia, a matriz proteica é descontínua e possui poucos corpos proteicos. Os grânulos de amido são esféricos, maiores, menos agregados e cercados por espaços aéreos (Pratt et al., 1995; Robutti et al., 1974).

Os grânulos de amido são protegidos pelo pericarpo, o qual é constituído, em sua maioria, por hemicelulose e celulose, embora também contenha lignina. Essa película protetora dificulta o acesso até o amido pelos microrganismos e enzimas digestivas (McAlister et al., 1993), influenciando na sua digestibilidade.

Duas ferramentas de manejo importantes e responsáveis por modificar a digestibilidade dos grãos são o processamento durante a colheita (Ferraretto e Shaver, 2012) e a manutenção de tempos de armazenamento adequados para as silagens. Fernandes (2014), em estudo com grãos duros e dentados colhidos com diferentes graus de maturidade não foi encontrado diferenças na digestibilidade do amido das silagens após 60 dias de armazenamento, apesar do efeito comprovado da vitreosidade e maturidade sobre a qualidade do grão antes da ensilagem. O grau de processamento dos grãos durante a colheita pode modular a digestibilidade da fração de

carboidratos rapidamente fermentáveis no rúmen, através da exposição dos grânulos de amido à digestão, decorrente da quebra e formação de rachaduras nos grãos, além da eliminação de parte do pericarpo.

2.2. Colhedoras para silagem

A maioria das colhedoras de forragem pertencentes às fazendas do Brasil é do tipo tracionado por trator (90,4 %), enquanto as autopropelidas são pouco utilizadas (9,6 %). A opção pelas colhedoras tracionadas por trator salta para 98,3%, no caso de pequenos produtores com menor acesso à tecnologia, sendo o elevado custo de compra das autopropelidas o maior limitante para sua utilização no país (Bernardes e Rêgo, 2014). Além do preço, a pequena quantidade de horas trabalhadas durante o ano eleva o custo de amortização do equipamento, dificultando o acesso dos produtores a esse tipo de equipamento (Gomides, 2013).

O que se observa na atualidade é o aumento do número de prestadores de serviços terceirizados que trabalham com as colhedoras de forragem autopropelidas (Daniel et al., 2019). Na região Centro Oriental Paranaense, 72% das colheitas são terceirizadas, sendo 66% das máquinas do tipo autopropelida (Mello et al., 2018). Resultados semelhantes foram constatados por Dalle Carbonare (2020) em estudo realizado na mesma região e no sul de São Paulo entre os anos de 2015 a 2019. No ano de 2016, 73% das colheitas foram realizadas utilizando-se colhedoras autopropelidas; 69% em 2017, 79% em 2018 e 85% em 2019.

A utilização de equipamento autopropelido equipado com dois rolos esmagadores para processamento dos grãos é uma prática comum na Europa e nos Estados Unidos desde 1990 (Johnson et al., 1999; Shinners, 2003). Esse avanço influenciou o preço dos grãos de milho, o tamanho teórico de corte empregado e o processo de secagem dos grãos (Johnson et al., 1999).

O momento da colheita e o tipo de equipamento utilizado influenciam na qualidade da silagem. O uso de máquinas tradicionais para a colheita pode resultar em silagens com baixa uniformização de partículas e na predominância de partículas longas (Bernardes et al., 2012). A maior ocorrência de partículas longas, por sua vez, pode resultar em maior presença de oxigênio na massa ensilada, em função da dificuldade de compactação (Muck et al., 2003). Portanto, uma boa regulagem do conjunto de facas e o emprego de velocidades de colheita adequadas tem grande impacto na produção de silagens de qualidade.

O número de informações sobre o processamento dos grãos e as configurações de tamanho teórico de partículas para as colhedoras tracionadas por trator ainda é pequeno (Salvati, 2019). Neste tipo de máquina, os danos nos grãos são obtidos por redução no tamanho de corte, influenciando a FDN fisicamente efetiva da silagem e diminuindo de maneira prejudicial o tamanho das partículas (Dias Junior, 2016). Geralmente, esse ajuste resulta em partículas com menor uniformidade e maior proporção de grãos não processados (Daniel et al., 2019).

2.3. Processamento dos grãos de milho

Até a década de 1990, o uso de tamanhos de corte da forragem superiores a 10 mm, sem os rolos processadores, era uma prática comum de colheita nos Estados Unidos. Com o passar dos anos, configurações de tamanho teórico de corte mais curtos foram empregadas, permitindo maior quebra da fração de grão pelas facas durante o corte (Johnson et al., 1999; Ferraretto e Shaver, 2012).

Desde 1997 alguns fabricantes norte-americanos ofereciam a opção de inclusão do processador de grãos em colhedoras tracionadas por trator (Roberge et al., 1998). Porém, os estudos com processamento datam de antes de 1990, com alguns trabalhos indicando ganhos produtivos em vacas leiteiras e no gado de corte (Buck et al., 1969; Miller et al., 1969; Rojas-Bourrillon et al., 1987). A efetividade do processamento sobre a produção de leite foi investigada por Satter et al., (1999) que analisaram dados de processamento de silagens de planta inteira de milho, com aumento médio de 0,5 kg na produção diária de leite. Ressalta-se que essa base de dados inclui trabalhos com acréscimos de até 1,3 kg de leite por dia (Straub et al., 1996), independente do tamanho de corte.

Após a inclusão dos processadores nas máquinas, colher com ajustes de tamanho de corte maiores tornou-se mais interessante, empregando assim, o conceito de fibra em detergente neutro fisicamente efetiva como índice de atividade mastigatória (Allen et al., 2003). Porém, o tamanho de partícula de silagens de planta inteira de milho processadas e colhidas com ajustes de tamanho teórico de corte mais longos foram similares a silagens não processadas em alguns estudos (Cooke e Bernard, 2005; Schwab et al., 2002) mas não em outro (Weiss e Wyatt, 2000).

Ferraretto e Shaver (2012) realizaram uma meta-análise a partir de 106 tratamentos, provenientes de 24 artigos publicados em periódicos entre 2000 e 2011, para determinação dos efeitos do teor de MS, processamento de grãos e tamanho de partículas da silagem de milho de planta inteira sobre o consumo, digestão, e o desempenho de vacas leiteiras. As informações foram agrupadas conforme os teores de MS na abertura do silo em: menor que 28%, entre 28 e 32%, entre 32 e 36%, entre 36 e 40% e maior que 40% de MS. As categorias de abertura dos rolos esmagadores utilizadas foram de: grãos processados (quando a abertura dos rolos estava entre 1 e 3 mm) e não processados (quando a abertura dos rolos era superior a 4 mm). Quanto aos tamanhos de partículas das plantas, os estudos foram classificados entre: 4,8 a 6,4 mm, 9,3 a 11,1 mm, 12,7 a 15,9 mm, 19,0 a 19,5 mm, 25,4 a 28,6 mm, e maior que 32,0 mm. Os autores constataram que a produção de leite foi reduzida em 2 kg.d-1 quando o teor de matéria seca foi superior a 40% e a produção de leite corrigido para 4% de gordura diminuiu, principalmente quando o teor de matéria seca da silagem de milho foi superior a 40%. Os tratamentos com silagens de milho consideradas processadas (com abertura de rolos ente 1 e 3 mm) responderam com aumento da digestibilidade do amido no trato digestivo total em comparação com as silagens não processadas (4-8 mm) e a produção de leite tendeu a ser maior em 1,8 kg.d-1 para o processamento.

A ação do processamento na colheita através do uso de rolos é responsável também por modificar a fração fibrosa Ferraretto et al., (2018); Andrae et al., (2001) e Dalle Carbonare (2020) constataram que o processamento da fração de grãos na colheita levou à queda de partículas grandes (> 19 mm), influenciando no aumento nas peneiras menores, influenciando no tamanho médio das partículas para silagens de milho que continha silagem processada (Jonhson et al., 2002). Shinners (2003) confirmando que a ação da quebra e esmagamento feito por rolos do processador de grãos encurta as partículas longas, além de quebrar os grãos (Johnson et al., 2002). A modificação das proporções de partículas nas peneiras pelo processamento na colheita influencia na FDNfe da dieta, alterando os teores de FDNfe> 1,18 e 8 afetando o desempenho e a saúde animal.

Além dos benefícios reportados nos trabalhos acima, o uso de rolos processadores eliminou espigas intactas no estudo de Shinners et al. (2000). Segundo Allen et al. (2003), o esmagamento de espigas é uma das maiores vantagens do uso de rolos de processamento, pois permite maior corte sem provocar variação no consumo das frações dietéticas pelas vacas.

Mertens (2005) descreveu um índice de fragmentação da silagem de milho, mais comumente conhecido como Kernel Processing Score (KPS), correlacionando o tamanho de partículas retidas em peneiras e a digestão

animal através do amido abaixo da peneira de 4,75 mm. Para chegar ao KPS, as amostras são colocadas em um conjunto de peneiras que oscila com telas no plano horizontal e estrutura de proteção na vertical. Múltiplas telas são usadas e o tamanho da abertura varia de 26,9 mm a 0,053 mm. A massa de material retida nas telas é então utilizada para calcular o comprimento médio geométrico, o desvio padrão das partículas na amostra e outras características da distribuição de partículas (Asabe, 2012).

Os resultados do trabalho de Mertens (2005) mostraram que partículas de grãos de milho retidas na peneira de 4,75 mm são fermentadas de forma incompleta no rúmen de vacas leiteiras, resultando em uma digestão insuficiente. Por outro lado, partículas que passaram pela peneira de 4,75 mm são prontamente digeridas pelas vacas sem qualquer mastigação adicional. Essa segregação baseada na peneira de 4,75 mm influencia na digestão, degradação e tempo de permanência dos grãos de milho no rumem, agindo, consequentemente, no aproveitamento do amido e da fração fibrosa pelos microrganismos ruminais.

2.4. Avaliação do processamento dos grãos e colheita nos últimos anos

Os estudos sobre inovações na colheita vêm crescendo nos últimos anos. Nigon et al. (2016), modificaram uma plataforma de colheita de milho convencional, de modo a colher a porção superior da planta e concentrar características da silagem de corte alto de milho com a de silagens de espigas, resultando em um produto denominado *toplage*. Uma segunda operação de colheita ficaria a cargo de coletar os caules restantes e esse material ensilado é chamado de *stalklage*. Essa possibilidade de fracionamento das plantas de milho com base na altura do corte tem impacto na formulação de dietas, como também no atendimento de animais com demandas energéticas diversas, como no caso de novilhas e vacas secas que podem ser alimentadas com a fração inferior de caules, que apresentam menor digestibilidade (Cook et al., 2016).

Martel e Savoie (2000) estudaram dois sensores, um na placa de impacto e outro para medir o deslocamento do rolo de alimentação, descobrindo uma boa correlação entre os mesmos. Ehlert (2002) analisou múltiplas culturas em diferentes condições de colheita e a passagem entre os rolos de alimentação em uma colhedora de forragem. Os resultados produziram um algoritmo que utiliza o tipo de cultura, a pressão, o teor de matéria seca e a espessura da camada para aumentar a precisão dos monitores de produção de forragem, baseados em deslocamento de alimentação.

A medição em tempo real dos parâmetros de qualidade da forragem durante a colheita fornece informações ao agricultor que permitem a manutenção da qualidade da sua silagem. Welle et al. (2003) avaliaram um espectrômetro de infravermelho (NIRS), instalado em uma colhedora de forragem com o intuito de determinar fatores como teor de matéria seca, amido e açúcares solúveis das plantas. Os resultados de matéria seca obtidos por meio do NIRS se assemelharam com os dados de laboratório. Apesar disso, a determinação de matéria em seca em diferentes regiões do país se mostrou imprecisa, indicando a necessidade de calibração local do sensor NIRS (Ferraretto et al., 2018). O monitoramento tecnológico da colheita permite ao produtor a delimitação de áreas dentro da propriedade e um investimento mais racional em insumos para produção, conforme as glebas. Com isso, as aplicações podem ser concentradas nas áreas onde os insumos sejam mais demandados, reduzindo o impacto ambiental de aplicações excessivas (Ferraretto et al., 2018).

Wild et al. (2015) demonstraram que a tecnologia de raios-X implementada na hora da colheita provou ser eficaz na medição do rendimento de matéria seca e na detecção de objetos estranhos Outras técnicas vêm sendo estudas e revistas com o intuito de melhorar a avaliação da qualidade de uma silagem. Uma delas é o processamento

por imagens, técnica utilizada no passado para quantificar a distribuição de tamanho de partículas de produtos agrícolas, melhorando o tempo para obtenção de dados. Igathinathane et al. (2009) desenvolveram um *plugin* capaz de identificar partículas em uma imagem e definir suas principais dimensões ortogonais. Essa ferramenta permite analisar a distribuição do tamanho de partículas de vários materiais (como grãos de arroz e palha de trigo), usando visão computacional a partir de um software. Os autores constataram valores de 96,6% de acurácia na medição de dimensões ortogonais de grãos das diferentes culturas agrícolas.

O tempo e a qualidade da colheita da planta inteira de milho são pontos críticos para a produção de uma boa silagem. Atualmente, a avaliação do processamento dos grãos é realizada por técnicas laboratoriais que podem ser demoradas, difíceis de executar e propensas a erros. Com o intuito de melhorar a medição do processamento dos grãos Rasmussen e Moeslund (2019) utilizaram 2043 imagens com 11601 dados e anotações da quantidade de grãos quebrados de milho após a colheita, objetivando correlacionar à avaliação do processamento dos grãos via imagem com métodos baseados em visão computacional via Redes Neurais Convolucionais (CNNs). Foram utilizadas as arquiteturas de Multi-task Network Cascade (MNC, no português cascata de rede multitarefa) e Region-based Fully Convolutional Network (R-FCN, no português rede convolucional totalmente baseada em região) para esta avaliação. As CNN's são um tipo de rede neural artificial que consiste em múltiplas camadas projetadas, reconhecendo padrões nas imagens, atuando diretamente nos pixels sem a necessidade de um pré-processamento (Lecun, 1998). Os autores encontraram uma correlação forte ($r = 0,88$; com P valor $< 0,001$) utilizando a arquitetura R-FCN, demonstrando que a quantidade de grãos quebrados na silagem de milho pode ser estimada com boa precisão a partir de imagens usando CNNs. Resultados semelhantes foram encontrados por Drewry et al. (2019), utilizando o software MATLAB (correlação de $r = 0,80$; com P valor $< 0,001$), demonstrando que as avaliações por imagem constituem ferramentas promissoras de monitoramento da colheita.

2.5. O aumento na disponibilidade de energia dos grãos

As principais estruturas físicas do grão de milho são: endosperma, gérmen, pericarpo e ponta. O amido está presente no endosperma na forma de grânulos, envolvidos por uma matriz proteica. A organização do amido e das proteínas do tipo zeína constitui uma barreira físico-química para a digestão do amido pelos ruminantes (Owens et al., 1986). A ensilagem de grãos de milho com ajuste no teor de umidade permite maximizar a degradação do amido, por meio da ação proteolítica sobre as proteínas hidrofóbicas do endosperma durante o processo de fermentação (Baron et al., 1986). Vários mecanismos estão envolvidos na quebra de proteínas em silagens, com destaque para a degradação promovida por enzimas presentes na cultura (Simpson, 2001), pelos microrganismos (Baron et al., 1986) e pelos ácidos da fermentação (Lawton, 2002). Junges et al. (2017) estudaram os agentes proteolíticos presentes em silagens de grãos de milho reidratados e reportaram que a ação de bactérias respondeu por 60% da proteólise, as enzimas da planta por outros 30%, enquanto a ação proteolítica de fungos e dos produtos de fermentação foi mínima (5% cada).

O estágio de maturidade e os processamentos secos e úmidos dos grãos impactam a digestibilidade do amido, especialmente quando aplicados em grãos de textura dura. Os grãos duros apresentam maior vitreosidade que os híbridos de textura farinácea e com o avanço da maturidade, a redução da degradabilidade ruminal é acentuada. Grãos originários de milhos de textura dura apresentaram valores de digestibilidade da matéria seca de 73,3 e 19 % nos estágios: dentado inicial e linha negra, respectivamente. Os grãos de textura macia, por sua vez, apresentaram valores de digestibilidade de 86,2 e 42,3 %, nos mesmos estágios (Pereira et al., 2004).

A quebra do pericarpo no momento da colheita da planta de milho permitirá que os microrganismos ruminais acessem rapidamente os nutrientes (McAllister et al., 1990) influenciando no escore de processamento dos grãos. O processamento dos grãos em pequenas partículas vem sendo usado como forma de maximizar a utilização do amido, principalmente em animais de alta produção (Shinners e Holmes, 2013).

Ferraretto et al. (2015), avaliando a influência da fermentação e do tempo de armazenamento de silagens de planta inteira de milho sobre o escore de processamento constataram que amostras fermentadas resultaram em maiores valores de escore de processamento dos grãos que as não fermentadas (60,1% *vs.* 50,2%, respectivamente). Silagens com 120 dias de armazenamento apresentaram elevação do escore de processamento de 6,9 unidades percentuais em relação a silagens não fermentadas (67,2% *vs.* 60,3%, respectivamente), não sendo registradas diferenças para as silagens com 30 dias de fermentação, cujo escore médio foi de 63,6%.

Potencializar a utilização do amido de silagens de planta inteira de milho pode melhorar o desempenho animal, como também reduzir os custos de alimentação, especialmente em épocas de alta nos preços dos grãos (Ferraretto e Shaver, 2012). A fermentação aliada ao processamento pode implicar na redução do uso de grãos secos e aumento do fornecimento de amido degradável oriundo da silagem, sendo esta a base de investigação do presente trabalho.

Referências

Allen, M. S., J. G. Coors e G. W. Roth. 2003. Corn silage. Pages 547-608. In: Silage Science and Technology. Buxton, D. R., R. E. Muck e H. J. Harrison, ed. ASA, CSA and SSSA, Madison, WI.

Andrae, J. G. Hunt, C. W. Pritchard, G. T. Kennington, L. R. Harrison, J. H. Kezar, W. Mahanna, W.. 2001. Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. Journal of Animal Science, 79 (2001), pp. 2268-2275.

ASABE, 2012. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving (ANSI/ASAE S319.4).

Baron, V. S., K. R. Stevenson e J. G. Buchanan-Smith. 1986. Proteolysis and fermentation of grain-corn ensiled at several moisture levels and under several simulated storage methods. Canadian Journal of Animal Science. 66:451–461.

Bernardes, T. F e A. C. Rego. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. Journal of Dairy Science. 97:1852-1861.

Bernardes, T. F., I. Q. Carvalho e N. C. Silva. 2012. A snapshot of maize silage quality on dairy farm in South Brazil. Pages 322-323 in Proc. 16th Int. Silage Conf. MTT Agrifood Research Finland and Universty of Helsinki, Hämeenlinna, Finland.

Bernardes, T. F., J. L. P. Daniel, A. T. Adesogan, T. A. McAllister, P. Drouin, L. G. Nussio, P. Huhtanen, G. F. Tremblay, G. Bélanger e Y. Cai. 2018. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. Journal of Dairy Science. 101:4001-4019.

Buck, G. R., W. G. Merril, C. E. Coppock e S. T. Slack. 1969. Effect of re-cutting and plant maturity on kernel passage and feeding value of corn silage. Journal of Dairy Science. 52(10): 1617-1623.

Cook, D. E., R. W. Bender, K. J. Shinners e D. K. Combs. 2016. The effects of calcium hyrdroxide-treated whole-plant and fractionated corn silage on intake, digestion, and lactation performance in dairy cows. Journal of Dairy Science. 99:5385–5393.

Cooke, K. M e J. K. Bernard. 2005. Effect of kernel processing and theoretical length of cut of corn silage on performance of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 88:310-316.

Dalle Carbonare, M. S. D. 2020. Processamento de grãos (KPS) da silagem de milho e aproveitamento do amido por vacas em lactação em fazendas comerciais. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. UFP, Curitiba.

Daniel, J. L. P., T. F. Bernardes, C. C. Jobim, P. Schmidt e L. G. Nussio. 2019. Production and utilization of silages in tropical areas with focus in Brazil. Grass Forage Sci. 1-13.

Dias Junior, G. S., L. F. Ferraretto, G. G. S. Salvati, L. C. de Resende, P. C. Hoffman, M. N. Pereira e R. D. Shaver. 2016. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. Journal of Dairy Science. 99:2719-2729.

Drewry, J. L., B. D. Luck, R. M. Willett, E. M. C. Rocha e J. D. Harmon. 2019. Predicting kernel-processing score of harvested and processed corn silage via image processing techniques. Comput. Electron. Agric. 160, 144–152.

Duarte, A. P., D. R. Henriques, P. C. Côrrea e M. A. G. G. Z. Paterniani. 2007. Produtividade, aparência, densidade e suscetibilidade à quebra dos grãos em híbridos de milho, na safrinha. Revista Brasileira de Milho e Sorgo. 6:174-185.

Ehlert, D. 2002. PA—Precision agriculture: Advanced throughput measurement in forage harvesters. Biosyst. Eng. 83:47–53.

Fernandes, J. 2014. Influence of genotype, maturity and length of storage on silage corn grain quality with high moisture. MS Thesis. University of São Paulo, Piracicaba, Brasil.

Ferraretto, L. F e R. D. Shaver. 2012. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. Prof. Anim. Sci. 28:141-149.

Ferraretto, L. F., P. M. Crump e R. D. Shaver. 2015. Effect of ensiling time and exogenous protease addition to whole-plant corn silage of various hybrids, maturities and chop lengths on nitrogen fractions and ruminal in vitro starch digestibility. Journal of Dairy Science. 98:8869-8881.

Ferraretto, L. F., R. D. Shaver, e B. D Luck. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. Journal of Dairy Science. 101:3937–3951.

Gomides, G. C. 2013 Fatores determinantes na ensilagem de milho: Da colheita à utilização. Monografia (Graduação em Zootecnia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

Igathinathane, C., L. O. Pordesimo e W. D. Batchelor. 2009. Major orthogonal dimensions measurement of food grains by machine vision using Image. J. Food Res. Int. 42(1):76–84.

Johnson, L. M. Harrison, J. H. Davidson, D. Robutti, D. J. L. Swift, M. Mahanna, W. C. Shinners, K. 2002. Corn silage management I: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. Journal Dairy Science. 85:833–853.

Johnson, L. M. J. H. Harrison, C. Hunt, K. Shinners, C. G. Doggett e D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. Journal of Dairy Science. 82:2813-2825.

Junges, D., G. Morais, M. H. F. Spoto, P. S. Santos, A. T. Adesogan, L. G. Nussio e J. L. P. Daniel. 2017. Short communication: Influence of various proteolytic sources during fermentation of reconstituted corn grain silages. Journal of Dairy Science. 100:9048-9051.

Lauer, J. G., J. G. Coors e P. J. Flannery. 2001. Forage yield and quality of corn cultivars developed in different areas. Crop Sci. 41:1449–1455.

Lawton, J. W. 2002. Zein: A history of processing and use. Cereal Chemistry. 79:1–18.

Lecun, Yann. Gradient-based learning applied to document recognition. Proceedings of the IEEE, 1998.

Martel, H e P. Savoie. 2000. Sensors to measure mass-flow-rate through a forage harvester. Can. Agric. Eng. 42:123–129.

Martin, N. P. M. P. Russelle, J. M. Powell, C. J. Sniffen, S. I. Smith, J. M. Tricarico e R. J. Grant. 2017. Invited review: Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry. Journal of Dairy Science. 100:9479–9494.

McAllister, T. A. R. C. PHillippe, L. M. Rode e K. J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. Journal of Animal Science, v.71, p.205-212.

McAllister, T.A.; L. M. Rodei, D.J.Majori, K. J. Chenc e J. G. Buchanan-Smith.1990.Effect of ruminal microbial colonization on cereal, grain digestion. Canadian Journal of Animal Science. 70:571-579.

Mello, R. P e Dalle Carbonare, M. S. 2018. Chemical quality of corn silage in Brazilian capital of milk during nine years. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 18. Bonn. Proceedings... Alemanha, 2018.

Mertens, D. R. 2005. Particle size, fragmentation index, and effective fiber: Tools for evaluating the pHysical attributes of corn silages. Pages 211-220 in Proc. Four-State Dairy Nutr. Mgmt. Conf., Dubuque, IA.

Miller, C. N., C. E. Pollan, R. A. Sandy e J. T. Huber. 1969. Effect of altering the pHysical form of corn silage on utilization by dairy cattle. Journal of Dairy Science. 52(12):1955-1960.

Muck, R. E., L. E. Moser e R. E. Pitty. 2003. Postharvest factors affecting ensiling. Pages 251-304 in Silage Science and Technology. Vol. 42. Buxton, D. R., R. E. Muck, e J. H. Harrison, ed. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., and Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.

Nigon, B.J., K. J. Shinners e D. E. Cook. 2016. Harvester modification to alter composition and dry matter of corn-silage. Appl. Eng. Agric. 32:157-167.

Owens, F. N., R. A. Zinn e Y. K. Kim. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. Journal of Animal Science. 63:1634–1648.

Pereira, M. N.; R. G. V. Pinho, R. G. S. Bruno e G. A. Calestine. 2004. Ruminal degradability of hard or soft texture corn grain at three maturity stages. Scientia Agricola, Piracicaba, 61:358-363.

Pratt, R. C., J.W. Paulis, K. Miller, T. Nelsen e J. A. Bietz. 1995. Association of zein classes with maize kernel hardness. Cereal Chemistry, v.72, p.162-167.

Rasmussen, C. B e T. B. Moeslund. 2019. Maize silage kernel fragment estimation using deep learning-based object recognition in non-separated kernel/stover rgb images. Sensors, 19 (19), 2019. ISSN 1424-8220.

Roberge, M., P. Savoie e E. R. Norris. Evaluation of a crop processor in a pull-type forage harvester. 1998. American Society of Agricultural Engineers 0001-2351/98/4104-967.

Robutti, J. L., R. C. Hoseney e C. E. Wassom. Modified opaque-2 corn endosperms. II. Structure viewed with a scanning electron microscope. Cereal Chemistry, v.51, p.173-180, 1974.

Rojas-Bourrillon, A. J. R. Russell, A. Trenkle e A. D. McGilliard. 1987. Effects of rolling on the composition and utilization by growing steers of whole plant corn silage. Journal of Dairy Science. 64(1):303-311.

Salvati, G.G.S. Strategies to improve kernel processing and dairy cow performance in wholeplant corn silage based on vitreous endosperm hybrid. 2019. 89f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba.

Satter, L. D., Z. Wu, V. R. Moreira, M. A. Bal, e R. D. Shaver. 1999. Processing corn silage. Page 49–58 in Proc. of the 24th Annual Minnesota Forage Conf., American. Forage and Grassland Council, Rochester, MN.

Schwab, E. C., R. D. Shaver, K. J. Shinners, J. G. Lauer, e J. G. Coors. 2002. Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. Journal of Dairy Science. 85:613–623.

Shinners, K. J e B. J. Holmes. 2013. Making sure your kernel processor is doing its job. Focus on Forage, v.15, n.4.

Shinners, K. J. 2003. Engineering principles of silage harvesting equipment. Pages 361-403 in Silage Science and Technology. D. R. Buxton., R. E. Muck, e H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI.

Shinners, K. J., A. G. Jirovec, R. D. Shaver, e M. Bal. 2000.Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. Appl. Eng. Agric. 16:323-331.

Simpson, D. J. 2001. Proteolytic degradation of cereal prolamins - The problem with proline. Plant Science. 161:825–838.

Straub, R. J., R. G. Koegel, L. D. Satter e T. J. Kraus. 1996. Evaluation of a corn silage processor. ASAE Paper No. 96-1033. St. JosepH, Mich.; ASAE.

Watson, S. A. Corn marketing, processing, and utilization. 1988. In: Sprague, G. F., Dudley, J. W. (Ed.) Corn and corn improvement. Madison: ASA. p. 881-940.

Weiss, W. P e D. J Wyatt. 2000. Effect of oil content and kernel processing of corn silage on digestibility and milk production by dairy cows. Journal of Dairy Science. 83:351–358.

Welle, R., W. Greten, B. Rietmann, S. Alley, G. Sinnaeve, e P. Dardenne. 2003. Near-infrared spectroscopy on chopper to measure maize forage quality parameters online. Crop Sci. 43:1407–1413.

Wild, K. J., T. Schmiedel, S. Lautenschlager, M. Stein, e J. K. Schueller. 2015. X-ray technique for simultaneous mass flow measurements and foreign body detection in a self-propelled forage chopper. ASABE Meeting Paper 152189703. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. JosepH, MI.

3. EFEITO DO PROCESSAMENTO DOS GRÃOS POR COLHEDORAS TRACIONADAS POR TRATOR SOBRE A QUALIDADE DE SILAGENS DE PLANTA INTEIRA DE MILHO

RESUMO

A colheita é um momento de suma importância na confecção de silagens de qualidade. As decisões tomadas na ocasião da colheita afetarão de maneira definitiva o valor nutricional desse alimento, visto que os aspectos de qualidade física, como tamanho de partículas e grau de processamento dos grãos serão definidos nesta fase. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do processamento dos grãos na colheita da planta inteira de milho sobre o padrão fermentativo e composição nutricional das silagens. Foram utilizadas duas colhedoras tracionadas por trator, um modelo com processador de grãos, tipo cracker (Menta ATM 1.3) e outro sem o processador (Menta ATM 1.1). A ensilagem da cultura de milho foi realizada em silos experimentais com capacidade de 20 litros, com tempo de estocagem de 140 dias. Silagens processadas apresentaram redução numérica de 2 pontos percentuais no valor de FDN em relação à não processada, o que refletiu em acréscimos correspondentes de CNF com o processamento. Silagens produzidas com o processador tenderam a um maior teor de cinzas, provavelmente resultante de contaminação com solo durante a colheita. Esse fato levou a um menor teor de matéria orgânica nas silagens processadas, sem prejuízos da presença de solo para a qualidade da fermentação, uma vez que as silagens alcançaram valores de pH inferiores a 4,0. Esses valores de pH apontam para uma adequada conservação dos materiais, apesar de terem sido registrados valores modestos de ácido lático nas silagens (1,40% e 2,70% MSCorr para as silagens processada e não processada). A estabilidade aeróbia foi semelhante entre os tratamentos, com média de 35,8 horas. Analisando-se, especificamente, o fracionamento dos grãos, foi observado menor tamanho geométrico na silagem processada, fruto da maior proporção de grãos abaixo de 4,75 mm (69,9%) em relação ao tratamento não processado (61,6%). Isso resultou em aumento do KPS de 37,23 para 48,30% com o uso do cracker. Desse modo, a colheita de milho utilizando equipamento tracionado por trator, dotado de processador de grãos (cracker) se mostrou eficiente em modificar as partículas da silagem de planta inteira e da sua fração de grãos, melhorando seu valor nutritivo.

Palavras-chave: Amido. Ensilagem. Valor nutritivo. Cracker.

EFFECT OF GRAIN PROCESSING BY PULL-TYPE HARVESTING MACHINES ON THE QUALITY OF WHOLE-PLANT CORN SILAGE

ABSTRACT

Harvesting is an extremely important moment in making quality silages. The decisions taken at the time of harvest will affect the nutritional value of this food, since physical quality aspects such as particle size and degree of grain processing will be defined at this stage. The aim of this work was to evaluate the effect of grain processing in the harvesting of the whole-plant corn on the fermentative pattern and nutritional composition of silages. Two pill-type harvesting machines were evaluated, one containing a cracker grain processor (Menta ATM 1.3) and the other without a processor (Menta ATM 1.1). The ensiling of the corn was carried out in experimental silos with a capacity of 20 liters, with a storage time of 140 days. Processed silages showed a numerical reduction of 2 percentage points in the value of NDF in relation to the unprocessed, which reflected in corresponding increases in NFC with the processing. Silages produced with the processor tended to have a higher ash content, probably resulting from contamination with soil during harvest. This fact led to a lower organic matter content in the processed silages, without impairing the presence of soil for the quality of the

fermentation, since the silages reached pH values below 4.0. These pH values point to an adequate conservation of the material, although modest values of lactic acid have been registered in the silages (1.40% and 2.70% MSCorr for the processed and unprocessed silages). Aerobic stability was similar between treatments, with an average of 35.8 hours. Analyzing the fractionation of grains, a smaller geometric size was observed in the processed silage, due to the greater proportion of grains below 4.75 mm (69.9%) in relation to the unprocessed treatment (61.6%). This resulted in an increase in KPS from 37.23 to 48.30% with the use of crackers. Thus, corn harvesting using pull-type machine, equipped with a grain processor (cracker) proved to be efficient in modifying the particles of the whole-plant silage and its grain fraction, improving its nutritional value.

Keywords: Starch. Silage. Nutritional value. Cracker.

3.1. Introdução

O processamento da silagem de milho na colheita tem sido proposto para melhorar seu valor nutritivo, por meio de um aproveitamento máximo da fração dos grãos e da manutenção de um tamanho de partículas adequado da fração vegetativa (Dias Junior et al., 2016). O corte da forragem e outros danos físicos contribuem para uma compactação e remoção do oxigênio mais efetiva, além de exporem substratos para ação das bactérias láticas, favorecendo uma adequada fermentação. No entanto, a eficiência do processamento de grãos é variável, sendo influenciada por fatores como maturidade fisiológica da cultura no momento da colheita, textura dos grãos, regulagem do equipamento visando tamanho de partícula ideal, tipo e ajuste dos processadores (Shinners et al., 2000; Ferraretto e Shaver, 2012).

Sob o enfoque de disponibilização de nutrientes, o processamento mecânico da silagem de milho favorece a quebra dos grãos pelo rompimento do seu revestimento externo (pericarpo) e a redução do tamanho da espiga. A digestão do amido é aumentada em função da maior área de superfície para ataque dos microrganismos e enzimas, além de um maior aproveitamento da fração fibrosa, resultando em melhoria global do valor nutritivo da silagem (Cooke e Bernard, 2005).

O processamento dos grãos e a avaliação da sua efetividade são fundamentais para uma colheita de qualidade e esse monitoramento deve ser realizado ao longo de toda a operação de colheita. Na Califórnia (EUA), a quase totalidade das fazendas (92,5%) monitoram o processamento dos grãos enquanto colhem plantas de milho (Heguy et al., 2016). No Brasil, 70% das propriedades observam a quebra de grãos com pouca frequência, 8% dificilmente avaliam e apenas 22% monitoram sempre o processamento dos grãos (Bernardes, 2012). Outra particularidade do país é a variedade de colhedoras empregadas, fato atrelado ao nível tecnológico e tamanho das propriedades. Enquanto propriedades especializadas, ou maiores, acessam serviços terceirizados de colheita com autopropelidas (Mello e Dalle Carbonare, 2018; Dalle Carbonare, 2020), os pequenos produtores, com menor acesso à tecnologia utilizam colhedoras tracionadas por trator (Bernardes e Rêgo, 2014), fazendo desse tipo de equipamento uma realidade no país.

Onde a utilização do processador na colheita com forrageiras tracionadas por trator pode alterar o fracionamento dos grãos de silagem de planta inteira de milho, impactando em ganhos de escore de processamento. Tendo como objetivo, avaliar o grau de processamento, composição bromatológica e a qualidade da fermentação de silagens produzidas com colhedoras tracionadas por trator, dotadas ou não de processador de grãos.

3.2. Material e Métodos

3.2.1. Local e confecção das silagens

O cultivo do milho foi realizado no Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP/ESALQ), município de Piracicaba, São Paulo, com espaçamento de 0,80 metros entre as linhas de plantio. Os procedimentos de cultivo foram realizados conforme recomendações de fertilização e calagem do boletim 100 para a cultura do milho.

A colheita da forragem foi realizada quando as plantas alcançaram teor de matéria seca próximo de 34%, sendo empregados dois tipos de colhedoras tracionadas por trator, reguladas para um tamanho teórico de corte de 10 mm. Foi utilizado o modelo Menta ATM 1.1-AR, sem processador de grãos, com produção nominal de até 35 toneladas por hora, plataforma colhedora de 1,15 metros com seis rolos verticais, com peso de 810 kg e capacidade de corte de duas linhas espaçadas em até 0,80 metros. O segundo modelo foi a Menta ATM 1.3 com processador de grãos "Cracker", produção nominal de 35 toneladas por hora, plataforma colhedora de 1,35 metros dotada de seis rolos verticais, peso de 1050 kg e capacidade de corte de duas linhas espaçadas em até 0,90 metros ou de 3 linhas com espaçamento de até 0,50 metros.

As diferentes forragens obtidas a partir das colhedoras com ou sem processador representaram os dois tratamentos avaliados. A ensilagem da cultura de milho foi realizada em silos experimentais com capacidade de 20 L, com 10 repetições por tratamento. Os baldes permaneceram vedados por 140 dias, sendo fechados com tampa plástica envolta por fita adesiva.

3.2.2. Coleta de amostras e análises químico-físicas

Após a abertura de cada silo, foi descartada uma camada superficial de 15 cm e toda a silagem restante foi recolhida em saco plástico e homogeneizada. Na sequência, uma amostra de 500 g foi coletada em saco de papel para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas. Após secagem, o material foi processado em moinho de facas tipo Willey com peneira de malha de 1 mm e armazenado em pote plástico devidamente vedado para posterior avaliação bromatológica.

A determinação do teor absoluto de matéria seca (MS) foi realizada por secagem em estufa a 105°C durante 16 h (AOAC, 2000). As cinzas (MM) foram obtidas por combustão das amostras a 600°C durante 4 h (AOAC, 1997). A análise de proteína bruta (PB) foi realizada pelo método de combustão de Dumas (Leco 2000, Leco Instruments Inc). O extrato etéreo (EE) foi determinado pelo método de extração Soxhlet segundo AOAC (1997). A fibra em detergente neutro (FDN) foi determinada conforme o método de Van Soest et al., (1991) utilizando sulfito de sódio e α-amilase, adaptada para o método sequencial proposto pela ANKON Fiber Analyser (Holden,1999). A análise de amido foi realizada segundo Hall et al., (2015). O teor de carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculado como: CNF = 100 - (FDN + PB +EE +MM).

Uma amostra de 500g da silagem fresca foi utilizada para determinação do tamanho médio de partícula (TMP) de cada tratamento, conforme método descrito por Kononoff et al., (2003). Outra amostra de 500 g foi coletada em saco de papel para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 55°C por 72 horas. Após secagem, o *corn score processing score* (CSPS) foi determinado em duplicata, como descrito por Ferreira e Mertens (2005), também chamado de *kernel processing score* (KPS). Uma terceira amostra de 1 kg foi coletada em bandeja de alumínio e

igualmente seca em estufa de circulação forçada. Após a secagem, as frações de grãos, caules e folhas foram separadas por um procedimento de separação hidrodinâmica (Savoie et al., 2004). Este método baseia-se nas diferenças de flutuação entre os grãos, folhas e caules. Cada amostra seca de cerca de 400 g foi colocada em um recipiente de 10 L contendo 7 L de água, agitada manualmente de forma suave por 2 minutos, para que toda a amostra ficasse imersa em água. Após 2 minutos, a fração fibrosa (folhas + caule) que flutua devido à menor densidade foi removida suavemente, com auxílio de uma peneira pequena de 1,17 mm (Savoie et al., 2004). Após o descarte da água do contêiner, a fração de grãos, mais densa que a água foi recolhida (Savoie et al., 2004). Os grãos foram secos a 55 °C por 72 h em estufa de ventilação forçada e agitados em um agitador Tyler Ro-Tap (modelo RX-29, Tyler, Mentor, OH), contendo 9 peneiras com os seguintes diâmetros de furos, além do fundo: 9,50, 6,70, 4,75, 3,35, 2,36, 1,70, 1,18, 0,59 mm. O tamanho geométrico médio do grão - GMPS (uM) e a superfície (cm2/g) foram calculados usando uma distribuição logarítmica normal (Baker e Herrman, 2002).

3.2.3. Avaliação dos atributos fermentativos

A base das avaliações fermentativas foi um extrato aquoso produzido a partir da homogeneização de 25 g de silagem em 225 g de água destilada, durante 4 minutos em aparelho homogeneizador de alimentos. Após filtragem, foi realizada a leitura imediata do pH, utilizando-se um potenciômetro digital. Uma parte desse extrato foi armazenada a -20ºC para análise posterior dos produtos de fermentação, por meio de um cromatógrafo gasoso com detector de massas (GC-MS) (GCMS QP 2010 plus, Shimadzu®, Kyoto, Japan), usando coluna capilar (Stabilwax, Restek®, Bellefonte, USA; 60 m, 0,25 mm ø, 0,25 μm crossbond carbowax polyethylene glycol). Após o conhecimento dos produtos de fermentação, obteve-se o valor de matéria seca corrigida para voláteis, conforme Weissbach (2009):

MS corrigida (%MV) = MS estufa (%MV) + 0,08 × ácido lático (%MV) + 0,77 × 1,2-propanodiol (%MV) + 0,87 × 2,3-butanodiol (%MV) + 0,95 × ácidos graxos voláteis (%MV) + lactato de etila (%MV) + 1-propanol (%MV) + 2-butanol (%MV) + acetato de propila (%MV) + etanol (%MV) + álcool iso-propílico (%MV) + acetato de etila (%MV) + acetona (%MV).

Os produtos de fermentação foram expressos com base na matéria seca corrigida. O teor de nitrogênio amoniacal (N-NH3) das silagens foi determinado conforme método colorimétrico descrito por Chaney e Marbach (1962), adaptado para uso em placas de microtúbulos e mensuração em colorimetro Elisa Reader (absorbância de 550 nanômetros). A concentração de ácido lático foi analisada por espectrometria com leitura a 565 nm de acordo com metodologia adaptada de Pryce (1969).

3.2.4. Ensaio de estabilidade aeróbia

A estabilidade aeróbia das silagens foi avaliada conforme Kung et al., (2000). Amostras de 3 kg das silagens de cada unidade experimental foram colocadas sem compactação em baldes plásticos sem tampa, mantidos em sala climatizada a 25 ± 1 ºC, por 240 horas. As temperaturas foram mensuradas a cada 30 minutos com o uso de sistema eletrônico de aquisição de dados modelo Novus Tag Temp, inseridos no centro geométrico da massa em cada balde.

As variáveis analisadas a partir deste ensaio foram a estabilidade aeróbia, definida como o tempo para que a silagem atingisse uma temperatura 2ºC acima da temperatura ambiente; temperatura máxima (Tmax) e o tempo para alcance da temperatura máxima (T_Tmax).

3.2.5. Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 10 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizados o PROC MIXED do SAS (2013) e as diferenças foram reportadas como significativas quando $P<0,05$ e abaixo de 0,10 como tendência. O modelo estatístico foi:

$Yij=\mu+ti+eij$

Onde:

Yij é o valor da variável avaliada, i-ésimo tratamento (i=1 e 2), na j-ésima repetição (j=1 a10)

μ é a média geral do experimento

ti é o valor da produção do i-ésimo tratamento

eij é efeito aleatório (variação do acaso), do i-ésimo tratamento na j-ésima repetição.

3.3. Resultados e Discussão

Os teores de matéria seca das silagens foram semelhantes e superiores a 32% (Tabela 1), podendo ser considerados adequados para uma fermentação de qualidade. Quanto à concentração de FDN (45,2 *vs.* 43,2% MS; sem e com processador, respectivamente), as silagens apresentaram valores dentro do observado na metanálise de Ferraretto e Shaver (2015), que foram de 32,8% a 52,8% MS. Os resultados deste trabalho também foram próximos do levantamento de Dalle Carbonare (2020) em diferentes regiões do Brasil, com valores entre 40% e 43% MS.

A fibra correlaciona-se negativamente com os teores de amido. Assim, silagens que obtiveram concentração de fibra menor em função do processamento, apresentam aumento na concentração de amido. Os teores de amido encontrados neste trabalho foram de 32,3 e 33,0 % para as silagens sem e com processador. Os valores foram próximos do observado por Ferraretto e Shaver (2015), com média de amido em silagem de planta inteira de milho de 31,2% e maiores que Ferreira e Mertens (2005) com valores de 25,2% seguindo a lógica do aumento de amido como consequência do processamento. A variação no amido e diminuição no teor de FDN encontrado nas silagens que sofreram processamento acarretou em um aumento no teor de CNF em comparação a silagem não processada (44,0 *vs.* 42,1; *P*-valor de 0,02).

Ambas as silagens registraram boa acidificação, mesmo sem a utilização de inoculantes, com pH's inferiores a 4,0, apesar dos valores baixos de ácido lático para silagens de milho (2,70 *vs.* 1,40% MSCorr, sem e com o processador, respectivamente; *P*-valor <0,01) e tendência de aumento do teor de matéria mineral na silagem processada (3,92 *vs.* 4,25% MSCorr, sem e com processador, respectivamente; *P*-valor = 0,09). Os valores de pH alcançados podem ser considerados efetivos para controlar o desenvolvimento de clostrídios no silo (McDonald et al., 1991). Os tratamentos apresentaram valores semelhantes e baixos de etanol, bem como, similaridade no valor de ácido butírico (0,01% MSCorr, *P*-valor = 0,96), confirmando a obtenção de silagens de qualidade.

A ocorrência da proteólise está positivamente correlacionada com a digestibilidade do amido (Ferraretto et al., 2015; Kung Jr et al., 2018). A quebra da matriz proteica por ação microbiana e ação de enzimas vegetais

(proteases e desaminases) aumentam a concentração de N-amoniacal (McDonald et al., 1991; Pahlow et al., 2003; Rooke e Hatfield, 2003). A quebra do pericarpo pelo processamento aumenta o acesso dos microrganismos ruminais aos nutrientes (McAllister et al., 1990) e consequentemente à matriz proteica. Neste trabalho, o teor de N-amoniacal aumentou de 5,39% na silagem não processada para 7,50 % N total, em função do processamento aliado à ação de microrganismos, enzimas e do tempo de armazenamento aplicado.

Tabela 1. Composição química e perfil fermentativo de silagens de planta inteira de milho obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento dos grãos

Item	Sem Processador	Com Processador	SEM	*P*-valor
MS, %	32,4	32,2	0,71	0,87
MO, % MS	96,1	95,5	0,16	0,01
PB, % MS	6,78	6,47	0,28	0,49
EE, % MS	2,19	2,11	0,05	0,29
MM, % MS	3,92	4,25	0,15	0,09
FDN, % MS	45,2	43,2	0,88	0,13
CNF, % MS	42,1	44,0	0,20	0,02
Amido, % MS	32,3	33,0	0,31	0,21
Perfil fermentativo				
MSCorr, %	34,1	34,7	0,61	0,61
Ph	3,93	3,99	0,01	0,06
Ácido lático, % MSCorr	2,70	1,40	0,06	<0,01
Ácido acético, % MSCorr	0,65	0,70	0,02	0,13
Ácido propiônico, % MSCorr	0,007	0,011	0,00	0,09
1,2-propanodiol, % MSCorr	0,01	0,02	0,00	0,01
2,3-butanodiol, % MSCorr	0,01	0,03	0,00	<0,01
1-propanol, % MSCorr	0,17	0,14	0,14	0,42
Etanol, % MSCorr	0,40	0,38	0,04	0,79
Ácido butírico, % MSCorr	0,01	0,01	0,00	0,96
N-amoniacal, % N total	5,39	7,50	1,01	0,05

Os dados de estabilidade aeróbia estão apresentados na Tabela 2. A estabilidade aeróbia das silagens não foi afetada pelo processamento, com média de 35,8 horas. Entretanto, a silagem processada apresentou menor temperatura máxima (49,8 *vs.* 44,9; *P*-valor = 0,01) e ambas as silagens levaram tempos semelhantes para alcance das respectivas temperaturas máximas, demonstrando que o processamento em si não promoveu alterações consistentes sobre a deterioração aeróbia das silagens. Ohyama et al., (1980) identificaram os principais fatores bioquímicos e microbianos relacionados à deterioração aeróbia, apontando as concentrações de MS, ácido acético, ácido butírico e a contagens de leveduras no momento da abertura do silo como os fatores primordiais para a estabilidade aeróbia de silagens. Os teores de MS e contagem de leveduras apresentam coeficientes de correlação negativos com a estabilidade, de modo que MS e contagens altas foram associadas a tempos curtos de estabilidade após a exposição das silagens ao ar. Os coeficientes de correlação foram positivos para os ácidos acético e butírico, indicando que as concentrações mais altas desses produtos de fermentação estão associadas a silagens relativamente mais estáveis ao ar (Wilkinson e Davies, 2012).

Tabela 2. Estabilidade aeróbia de silagens de planta inteira de milho obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento dos grãos

Item	Sem Processador	Com Processador	SEM	*P*-valor
Estabilidade aeróbia, h	35,6	36,1	2,38	0,88
Tmax, °C	49,8	44,9	1,25	0,01
T_Tmax, h	152	138	7,66	0,20

Os atributos físicos das silagens estão apresentados na Tabela 3. O processamento neste estudo acarretou em menores valores de retenção nas peneiras de 8 e 4 mm (56,9% e 18,8%) em comparação ao tratamento Sem Processador (59,6% e 20,0%). Jonhson et al. (2002) relataram uma diminuição das partículas na peneira superior que, por sua vez, aumentou a retenção na peneira de 8 mm, influenciando no tamanho médio das partículas para o tratamento que continha silagem processada.

Dalle Carbonare (2020) em estudo realizado no sul de São Paulo e Centro Oriental Paranaense nos anos de 2015 a 2019, avaliando padrões de qualidade das silagens de planta inteira de milho, como KPS, tamanho geométrico médio e porcentagem de partículas retidas nas peneiras da Penn State em diferentes colhedoras (tracionada por trator e autopropelidas), obteve uma redução na porcentagem de partículas retidas na peneira 19 mm ao longo dos anos de avaliação. Em 2016 a média de retenção nesta peneira foi de 8%, 7% nos anos de 2017 e 2018 e 5% em 2019. Tais mudanças refletiram na retenção de partículas na peneira de 8 a 19 mm, com média de 67% em 2016, 66% em 2017 e 69% em 2018 e 2019. Para o dado de tamanho médio de partículas foi observado maior valor no ano de 2016 (10 mm) estabilizando com 8 mm nos anos de 2017, 2018 e 2019. O maior valor obtido para tamanho médio de partícula foi do ano de 2016, com 15 mm e o menor em 2017, com 4,6 mm. Neste levantamento as colhedoras tracionadas por trator apresentaram médias de retenção de partículas na peneira de 19 mm iguais a 7,9 ± 4,9 %. Na peneira de 8 mm a média foi de 58,9 ± 7,6 %. O tamanho médio das partículas foi de 8,0 ± 1,5 mm neste tipo de equipamento.

No presente estudo foi observada maior retenção na peneira de 1,18 e maior escape para o fundo da silagem colhida com processador de grãos (12,2 e 2,44%). Além do fator processamento dos grãos, o tamanho geométrico das partículas pode ser influenciado pelo tamanho de corte, conteúdo de matéria seca (Shinners et al., 2000), proporção de grãos (Mertens, 2005), híbrido de milho (Johnson et al., 2002), afiação das facas (Shinners, 2003), como também a distância entre os rolos processadores (Shinners et al., 2000). A distância entre rolos também responsável por modificar a distribuição e o tamanho médio das partículas da fração grão em silagens de planta inteira de milho.

Tabela 3. Distribuição de partículas estratificadas pelo método na Penn State e características físicas de silagens de planta inteira de milho obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento dos grãos

Item	Sem Processador	Com Processador	SEM	*P*-valor
Peneira				
19-mm	7,82	9,85	0,62	0,04
8-mm	59,6	56,9	0,77	0,02
4-mm	20,0	18,8	0,32	0,01
1,18-mm	10,9	12,2	0,23	<0,01
Fundo	1,62	2,44	0,18	<0,01
Tamanho médio das partículas, mm,	9,05	8,92	0,08	0,50
DGP	2,02	2,12	0,016	<0,01

A granulometria é um método onde o material passa por uma série de peneiras, tendo sido utilizadas neste experimento as peneiras de 6,7, 4,75, 3,35, 2,36, 1,7, 1,18, 0,59 mm e o fundo. O material retido nas peneiras é pesado individualmente, a fim de determinar a distribuição do tamanho de partícula de matérias-primas para alimentação animal (Clementson e Ileleji, 2012). O tamanho geométrico médio das partículas é o método mais comumente usado para comparação da distribuição do tamanho de partícula em grãos de cereais (ASABE, 2007). Sugere-se a combinação do tamanho geométrico médio com a determinação das concentrações de zeína ou do N-amoniacal, para modelar a taxa de digestão ruminal do amido e as digestibilidades ruminal e no trato total do amido de grãos secos e úmidos (Hoffman et al., 2012). A granulometria dos grãos está apresentada na Tabela 4.

Foi observado um aumento de grãos retidos nas peneiras de 3,35 mm a 1,18 mm para as silagens de planta inteira de milho colhida com processador de grãos. Em função disso, o tamanho geométrico médio dos grãos e a porcentagem de grãos retidos nas peneiras abaixo de 4,75 mm foram afetados, apresentando valores de 2650,0 µm e 69,9 % para o tratamento com processador de grãos e 2990,6 µm e 61,6% para o tratamento sem o processador, demonstrando a efetividade na quebra dos grãos pelos rolos. Shinners et al. (2000), relataram um aumento de até 50% de grãos quebrados ou mascados quando se utilizou o processador de grãos na colheita, observando, com isso, uma queda no tamanho geométrico médio dos grãos e consequente aumento da área de superfície para silagens processadas.

Existe uma recomendação de que as partículas de milho devem ter mais de 65 a 70% de grãos quebrados em pedaços menores que um terço a um quarto de um grão de tamanho normal (Kung Jr e Muck, 2017), para aumentar o aproveitamento dos grãos pelos microrganismos ruminais. Dias Junior et al. (2016), cortaram manualmente os grãos não fermentados de 110 híbridos em 4 e 8 pedaços, peneirando-os no agitador Ro-Tap, como realizado neste experimento. As porcentagens de grãos menores que 4,75 mm encontrados pelos autores foram 38,9 e 94,4%, respectivamente, demonstrando que a maior parte dos grãos foi quebrada em pelo menos 4 pedaços.

A porcentagem de grãos menores que 4,75 mm foi maximizada no tratamento com processador de grãos no presente experimento. O ganho em porcentagem de grãos menores que 4,75 mm na silagem com processador aumentou o KPS em 30% em relação à silagem não processada. O valor médio de KPS de amostras analisadas pelo laboratório comercial 3rLab em 2015 foi de 51%, enquanto as amostras recebidas entre 2017 e 2018 pelo EsalqLab, laboratório comercial da USP/ESALQ, resultaram em um KPS médio de 61% (Ramos, 2016 e Cassoli e Amaral, 2018). Dalle Carbonare (2020) observou um aumento do KPS ao longo dos anos nas regiões do estado de São Paulo e Paraná avaliadas, com 44% em 2016, 46% em 2017, 50% em 2018 e 54% em 2019. Nos Estados Unidos, a média de KPS foi de 64,6% (Shaver e Ferraretto, 2016) e de 66,0% (Goeser, 2017). Quando Dalle Carbonare (2020)

comparou o desempenho de colhedoras tracionadas por trator e autopropelidas no Brasil, observou médias de KPS iguais a 45,3% e 48,5%, respectivamente para as colhedoras. Estes valores próximos revelaram que nem sempre as autopropelidas estão associadas a incrementos significativos de KPS. No Brasil ainda conta com muitas fazendas com processamento inadequado, mostrando que a quebra dos grãos durante a colheita é um desafio.

Tabela 4. Estratificação de partículas e aspectos físicos da fração de grãos de silagens de planta inteira de milho obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento dos grãos

Item	Sem Processador	Com Processador	SEM	*P*-valor
Peneira				
6.7-mm	21,0	12,6	1,04	<0,01
4.75-mm	17,2	17,4	0,56	0,80
3.35-mm	13,5	15,1	0,50	0,04
2.36-mm	16,1	18,5	0,42	<0,01
1.70-mm	8,92	10,7	0,31	<0,01
1.18-mm	7,35	8,45	0,25	<0,01
0.59-mm	8,02	9,01	0,43	0,12
Fundo	7,63	8,12	0,63	0,60
Grãos < 4,75; %	61,6	69,9	0,01	<0,01
Tamanho geométrico médio, μm	2990,6	2650,0	100,01	0,02
Área superficial, cm^2/g	20,3	21,7	0,60	0,12
KPS[1], %	37,23	48,30	0,86	<0,01

. [1]Percentual de amido abaixo da peneira de 4,75 mm.

3.4. Conclusão

O processamento dos grãos na colheita promovido por colhedora tracionada por trator com tamanho teórico de corte de 10 mm foi efetivo em reduzir o tamanho geométrico dos grãos e o desvio geométrico padrão das partículas, aumentando a proporção de grãos abaixo de 4,75 mm e o escore de processamento dos grãos da silagem - KPS em 30%.

As silagens alcançaram valores finais de pH inferiores a 4,0 sugerindo alimentos bem conservados. A estabilidade aeróbia não foi afetada pelo processamento, com média de 35,8 horas. Silagens processadas apresentaram maior CNF que silagens não processadas.

Referências

AOAC. 1997. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International. 16th ed. Washington, USA.

AOAC. 2000. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International. 17th ed. Gaithersburg, USA.

ASABE. 2007. Method of determining and expressing fineness of feed materials by sieving. ANSI/ASAE S319.4:646–649. Am. Soc. Ag. Biol. Eng., St. Joseph, MI.

Baker, S e T. Herrman. 2002. Evaluating particle size. MF-2051.Kansas State Univ., Manhattan.

Bernardes, T. F e A. C. Rego. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. Journal of Dairy Science. 97:1852-1861.

Bernardes, T.F. Levantamento das práticas de produção e uso de silagens em fazendas leiteiras no Brasil. 2012. 17f. E-book – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Cassoli, L.D e Amaral, R.C. 2018. Raio X da qualidade da silagem de milho. Milk Point. Disponível em:<https://www.milkpoint.com.br/colunas/esalqlab/raio-x-daqualidade-da-silagem-de-milho 207669/> Acesso em: 15 setembro 2020.

Chaney, A. L e E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinical chemistry 8:130–132.

Clementson, C. L. e K. E. Ileleji. 2012. Particle heterogeneity of corn distillers dried grains with solubles (DDGS). Bioresour. Technol. 107:213–221.

Cooke, K. M e J. K. Bernard. 2005. Effect of kernel processing and theoretical length of cut of corn silage on performance of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 88:310-316.

Dalle Carbonare, M. S. D. 2020. Processamento de grãos (KPS) da silagem de milho e aproveitamento do amido por vacas em lactação em fazendas comerciais. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. UFP, Curitiba.

Dias Junior, G. S., L. F. Ferraretto, G. G. S. Salvati, L. C. de Resende, P. C. Hoffman, M. N. Pereira e R. D. Shaver. 2016. Relationship between processing score and kernel-fraction particle size in whole-plant corn silage. Journal of Dairy Science. 99:2719-2729.

Ferraretto, L. F e R. D. Shaver. 2012. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. Prof. Anim. Sci. 28:141-149.

Ferraretto, L. F e R. D. Shaver. 2015 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, 98:2662-2675.

Ferraretto, L. F., R. D. Shaver, e B. D Luck. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. Journal of Dairy Science. 101:3937–3951.

Ferraretto, L. F.; Shaver, R. D.; Massie, S.; Singo, R.; Taysom, D. M. and Brouillette, J. P. 2015. Effect of ensiling time and hybrid type on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal in vitro starch and neutral detergent fiber digestibility in whole-plant corn silage. The Professional Animal Scientist 31:146-152.

Ferreira, G e D. R. Mertens. 2005. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. Journal of Dairy Science. 88:4414-4425.

Goeser, J. 2017. Corn Silage Kernel Processing Score (KPS) Guidelines and Benchmarks. Rock River Laboratory.

Hall, M. B. 2015. Determination of dietary starch in animal feeds and pet food by an enzymatic-colorimetric method. Collaborative study. J. AOAC Int. 98:397-409.

Heguy, J.M.; Meyer, D.; Silva Del Rio, N. 2016. A survey of silage management practices on California dairies. Journal of Dairy Science, 98:1649-1654.

Hoffman, P. C. Mertens, D. R. Larson, J. Coblentz, W. K. Shaver, R. D. 2012. A query for effective mean particle size of dry and high moisture corns. Journal Dairy Science. 95:3467–3477.

Holden, L. A. 1999. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. Journal of Dairy Science 82:1791–1794.

Johnson, L. M. Harrison, J. H. Davidson, D. Robutti, D. J. L. Swift, M. Mahanna, W. C. Shinners, K. 2002. Corn silage management I: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. Journal Dairy Science. 85:833–853.

Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs, e D. R. Buckmaster. 2003. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. Journal of Dairy Science 86:1858–1863.

Kung Jr, L. e R. E. Muck. 2017. Silage harvesting and storage. Pages 723-738 in Large Dairy Herd Management (3ºed.) edited by D. K. Beede. 1376 p.

Kung Jr, L. Shaver, R. Grant, R. J. Schmidt, R. J. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. Journal Dairy Science. 101:4020-4033.

Kung Jr, L., J. R. Robinson, N. K. Ranjit, J. H. Chen, C. M. Golt, e J. D. Pesek. 2000. Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. Journal of Dairy Science 83:1479–1486.

McAllister, T.A.; L. M. Rodei, D.J.Majori, K. J. Chenc e J. G. Buchanan-Smith.1990.Effect of ruminal microbial colonization on cereal, grain digestion. Canadian Journal of Animal Science. 70:571-579.

McDonald, P. Henderson, A. R. Heron, S. J. E. 1991. Biochemistry of silage. 2.ed. Marlow: Chalcombe Publication. 340p.

Mello, R. P e Dalle Carbonare, M. S. 2018. Chemical quality of corn silage in Brazilian capital of milk during nine years. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 18. Bonn. Proceedings... Alemanha, 2018.

Mertens, D. R. 2005. Particle size, fragmentation index, and effective fiber: Tools for evaluating the physical attributes of corn silages. Pages 211–220 in Proc. Four-State Dairy Nutr. Mgmt. Conf., Dubuque, IA.

Ohyama, Y. Hara, S.H. Masaki, S.H. 1980. Analysis of the factors affecting aerobic deterioration of grass silages. In: FORAGE CONSERVATION IN THE 80'S. OCCASIONAL SYMPOSIUM, 11. London. Proceedings… London: British Grassland Society. p. 257-263.

Pahlow, G.; Muck, R. E.; Driehuis, F.; Oude Elferink, S. J. W. H.; Spoelstra, S. F. 2003. Microbiology of ensiling. p.31-93. In: Silage science and technology. Buxton, D. R.; Muck, R. E. and Harrison, J. H., eds. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Pryce, J. D. 1969.A modification of the Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. Analyst 94:1151–1152.

Ramos, M.H. 2016. Panorama da qualidade das silagens de milho no Brasil. Revista Leite Integral. Disponível em:< http://www.revistaleiteintegral.com.br/noticia/panorama-da-qualidade-das-silagensde-milho-no-brasil> Acesso em: 15 setembro 2020.

Rooke, J. A. and Hatfield, R. D. 2003. Biochemistry of ensiling. p.95-139. In: Silage science and technology. Buxton, D. R.; Muck, R. E. and Harrison, J. H., eds. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Savoie, P., K. J. Shinners, e B. N. Binversie. 2004. Hydrodynamic separation of grain and stover components in corn silage. Applied Biochemistry and Biotechnology 113–116:41–54.

Shaver, R.D e Ferraretto, L.F. 2016. Making Sense of Modern Feed Tests. University Wisconsin- Dairy Science Department. Disponível em: <https://www.shaverlab.dysci.wisc.edu/> Acesso em: 12 agosto 2020.

Shinners, K. J. 2003. Engineering principles of silage harvesting equipment. Pages 361–403 in Silage Science and Technology. D. R. Buxton, R. E. Muck, and H. J. Harrison, ed. ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI.

Shinners, K. J., A. G. Jirovec, R. D. Shaver, e M. Bal. 2000.Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. Appl. Eng. Agric. 16:323-331.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson, e B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74:3583–3597.

Weissbach, F. 2009. Correction of dry matter content of silages used as substrate for biogas production. Pages 483-484 in Proceedings of the 15th International Silage Conference, US Dairy Forage Research Center, Madison, WI.

Wilkinson, J. M e D. R. 2012. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. Grass and Forage Science, 68:1–19.

4. PROCESSAMENTO DOS GRÃOS DE SILAGEM DE PLANTA INTEIRA DE MILHO E SUPLEMENTAÇÃO ESTRATÉGICA NO DESEMPENHO DE VACAS LEITEIRAS

RESUMO

A presença do processador de grãos durante a colheita das plantas de milho para silagem favorece a disponibilização do amido dos grãos. Esse benefício será potencializado pela fermentação, uma vez que a proteólise ocorrida no silo libera os grânulos de amido inicialmente organizados, permitindo o acesso dos microrganismos ruminais. As formas mais comuns de processamento do milho a seco são a moagem e a laminação. Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do processamento dos grãos na colheita da planta inteira de milho sobre as respostas produtivas e fisiológicas de vacas leiteiras, bem como, comparar a efetividade do processamento dos grãos em relação à estratégia de adicionar milho seco moído à dieta de vacas alimentadas com silagem não processada, disponibilizando energia na forma de amido. Os tratamentos foram estabelecidos a partir da colheita das plantas com dois tipos de colhedoras tracionadas por trator, uma delas contendo processador de grãos "cracker" (Menta ATM 1.3) e outra sem o processador (Menta ATM 1.1). O terceiro tratamento foi composto por silagem não processada adicionada de 0,5 kg de milho seco moído, para oferta de energia a silagem não processada, com base no percentual de grãos abaixo de 4,75 mm. Foram utilizadas 21 vacas leiteiras em delineamento quadrado latino 3 x 3, sendo um destes composto por vacas canuladas. A ensilagem da cultura de milho foi realizada em silos trincheira, um para cada tratamento, com tempo de estocagem de 140 dias. Foi constatado um aumento de produção de leite de 1 kg d^{-1} para as dietas com silagem processada, comparado à dieta sem processamento. Esse dado foi suportado pelo maior aporte de glicose plasmática no tratamento com processador. A produção de leite registrada para a silagem não processada + milho foi semelhante à da silagem processada, ambas com média de 26,9 kg d^{-1}. No entanto, o tratamento com adição de milho resultou em aumento de amido fecal de 2,53% para 3,45%. Essa perda em função do maior uso de grãos secos na dieta, dentro do contexto de alta no preço dos ingredientes concentrados revelou a menor eficiência desse tratamento, cuja dieta se mostrou mais cara.

Palavras-chave: Amido. Colheita de milho. Produção de leite.

PROCESSING OF GRAINS FROM WHOLE-PLANT CORN SILAGE AND STRATEGIC SUPPLEMENTATION ON THE PERFORMANCE OF DAIRY COWS

ABSTRACT

The presence of the grain processor during the harvest of corn plants for silage favors the availability of starch. This benefit will be enhanced by fermentation, since the proteolysis that occurs in the silo releases the initially organized starch granules, allowing the access of ruminal microorganisms. The most common forms of dry corn processing are grinding and rolling. The objective of this work was to evaluate the effect of grain processing in the harvest of the whole-plant corn on the productive and physiological responses of dairy cows, as well as to compare the effectiveness of grain processing in relation to the strategy of adding dry ground corn to the diet of cows fed unprocessed silage, providing energy in the form of starch. Two pull-type harvesting machines were evaluated, one containing a cracker grain processor (Menta ATM 1.3) and the other without a processor (Menta ATM 1.1). The third treatment consisted of unprocessed silage added with 0.5 kg of dry ground corn to supply energy to unprocessed silage, based on the percentage of

grains below 4.75 mm. Twenty-one dairy cows were used in a 3 x 3 Latin square design, one of which was composed of cannulated cows. Corn silage ensiling was carried out in trench silos, one for each treatment, with a storage time of 140 days. An increase in milk production of 1 kg d-1 was found for diets with processed silage, compared to the diet without processing. This data was supported by the greater supply of plasma glucose in the treatment with a processor. The production of milk recorded for unprocessed silage + corn was similar to the processed silage, both with an average of 26.9 kg d-1. However, the treatment with the addition of corn resulted in an increase in fecal starch from 2.53% to 3.45%. This loss due to the increased use of dry grains in the diet, within the context of high prices for concentrated ingredients, revealed the lower efficiency of this treatment, whose diet proved to be more expensive.

Keywords: Starch. Corn harvest. Milk production.

4.1. Introdução

O milho é o alimento energético padrão, normalmente utilizado na alimentação de vacas leiteiras nas formas de silagem ou de grãos processados. As diferentes formas de processamento (moagem, quebra, laminação e floculação) do milho podem alterar seu valor nutricional e sua digestibilidade. Aproximadamente 72-74% da matéria seca da fração de grão é amido (Huntington, 1997), com digestibilidade total de amido de 80 a 98%, representando cerca de metade da energia na silagem de plantas de milho inteiro (Mertens, 2005), com variações entre 16 a 46% nos teores de amido total das silagens (Ferraretto e Shaver, 2015), na região Centro Oriental Paranaense e Sul de São Paulo no Brasil com variação de 5 a 47% (Mello e Dalle Carbonare, 2018 e Dalle Carbonare, 2020).

Os valores de degradabilidade ruminal deste amido em silagem de planta inteira de milho podem variar de 24 a 66% e de 80 a 99% no trato total (Ferraretto e Shaver, 2015). O amido é um dos principais nutrientes utilizados para promover melhorias na produção animal, sua eficiência de uso é altamente dependente da espécie, tipo e os métodos de processamento de grãos (Theurer, 1999). A granulometria da moagem do milho seco (fubá) utilizado na ração também pode afetar a digestibilidade do amido (Owens e Soderlund, 2007).

A silagem de planta inteira de milho é a mais utilizada em vacas leiteiras no Brasil (Bernardes e Rêgo, 2014), nos Estados Unidos (Martin et al., 2017, Ferraretto et al., 2018) e em todo o mundo, devido ao suprimento de alta energia (principalmente do amido presente no grão) e FDN fisicamente efetiva (oriunda da fração vegetativa, Ferraretto et al., 2018). Em meta-análise realizada por Ferraretto e Shaver, (2015), avaliando trabalhos publicados ao redor do mundo, a média de amido encontrada nas silagens de planta inteira de milho foi de 31,2%, com valor mínimo de 15,9% e máximo de 45,9%. Entretanto, em levantamento realizado com dados de laboratório comercial nos Estados Unidos, as médias de porcentagem de amido nas silagens foram mais baixos com valor médio de 25,2% de amido, variando de 12,2% a 36,2% (Ferreira e Mertens, 2005).

O processamento adequado do grão na colheita da silagem de planta inteira de milho afeta, diretamente a qualidade da silagem fornecida e a produção de leite em vacas leiteiras (Johnson et al., 2003; Weiss e Wyatt, 2000). No Brasil, a maioria dos híbridos colhidos é de grãos duros (Bernardes et al., 2018), dificultando o processamento dos grãos na colheita. O processamento da silagem de planta inteira de milho durante a colheita pode ser realizada com um sistema de rolos esmagadores ("crackers"), os rolos usados para o processamento da cultura de milho são instalados nas colhedoras de forragem e são constituídos de dois cilindros com ranhuras em contra-rotação (Shinners et al., 2000) que fornecem quebra e esmagamento do material que passa entre eles, modificando o tamanho dos grãos de milho e a uniformidade das partículas da silagem.

A redução do tamanho de partícula dos grãos de milho fornece aumento dos nutrientes digestíveis totais e maior desaparecimento in vitro da matéria seca (Ferraretto e Shaver, 2012; Weiss e Wyatt, 2000), o que tem sido relacionado ao aumento da digestibilidade do amido no trato digestivo total (Bal et al., 2000; Johnson et al., 2002; Cooke e Bernard, 2005) como também, no tempo de ruminação, ingestão e mastigação (Schwab et al., 2002; Nasrollahi et al., 2015; Grant e Ferraretto, 2018). Alavancando a produção animal em todo o mundo.

4.2. Material e Métodos

Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo comitê de ética em uso de animais da Universidade de São Paulo (CEUA N^0 5406030220).

4.2.1. Ensilagem

O cultivo do milho foi realizado no Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP/ESALQ), município de Piracicaba, São Paulo, com espaçamento de 0,80 metros entre as linhas de plantio. Os procedimentos de cultivo foram realizados conforme recomendações de fertilização e calagem do boletim 100 para a cultura do milho.

A colheita da forragem foi realizada quando as plantas alcançaram teor de matéria seca próximo de 34,0%, sendo empregados dois tipos de colhedoras tracionadas por trator e reguladas para um tamanho teórico de corte de 10 mm. Foi utilizado o modelo Menta ATM 1.1-AR, Sem Processador de grãos, com produção nominal de até 35 toneladas por hora, plataforma colhedora de 1,15 metros com seis rolos verticais, peso de 810 kg e capacidade de corte de duas linhas espaçadas em até 0,80 metros de espaçamento. O segundo modelo foi a Menta ATM 1.3 com processador de grãos ("Cracker"), produção nominal de 35 toneladas por hora, plataforma colhedora de 1,35 metros dotada de seis rolos verticais, peso de 1050 kg e capacidade de corte de duas linhas espaçadas em até 0,90 metros ou de 3 linhas com espaçamento de até 0,50 metros. As silagens de milho foram confeccionadas 140 dias antes do início do experimento com animais e armazenadas em silos trincheira.

4.2.2. Animais e alimentação

Vinte e uma vacas da raça Holandesa foram divididas em sete grupos de três animais, sendo um destes grupos composto por vacas canuladas no rúmen. Os animais foram distribuídos com base na ordem do parto (primípara vs. multípara), produção de leite, dias em lactação (DEL) e peso. Foram utilizadas dez vacas primíparas com produção de 25,7±3,5 kg, DEL de 180±23 e peso de 514±52 kg, como também, sete vacas multíparas com produção de 30,6±5,1 kg, DEL de 128±20 e peso de 597,5±78 kg, o grupo de animais canulados contou com 3 vacas de produção 24,9±6,0 kg, DEL de 200±4,0 e 582,3±41 kg de peso corporal. Dentro de cada grupo, os animais foram distribuídos aleatoriamente em uma sequência de três tratamentos, em delineamento em quadrado latino 3x3, conduzidos simultaneamente, com períodos de 18 dias e respostas aos tratamentos medidas do 13º ao 18º dia. Os tratamentos utilizados foram:

- **Com Processador**: Silagem de planta inteira de milho colhida com equipamento tracionado por trator com processador de grãos.
- **Sem Processador**: Silagem de planta inteira de milho colhida com equipamento tracionado por trator sem o processador de grãos; e
- **Sem Processador + Milho**: Silagem de planta inteira de milho colhida com equipamento acoplada ao trator sem o processador de grãos e com adição de 500 g de milho seco moído por dia para cada animal presente no tratamento.

Foram usados parâmetros de amostras irmãs aos tratamentos para o cálculo do incremento de milho seco moído de 0,500 kg a diferença da % de grãos <4,75 mm das silagens (62% Sem Processador e 71% Com Processador), o consumo médio por dia em kg de MS de silagem de milho (12 kg.d-1/vaca; NRC 2001), como também, a porcentagem de amido presente nas silagens (30%) por meio de análise prévia em NIRS (Espectrofotometria de Refletância no Infravermelho Proximal) e adoção da porcentagem média de amido no grão de milho seco moído (70%).

Equações:

12 kg.d^{-1}/vaca x 30% = 3,6 kg/amido oriundo da silagem

3,6 x 62% (Sem Processador) = 2,2 kg/amido oriunda da % de grãos <4,75 mm

3,6 x 71% (Com processador) = 2,5 kg/amido oriunda da % de grãos <4,75 mm

2,5 - 2,2 = 0,3 kg (diferença entre as silagens da fração amido decorrente da % de grãos <4,75 mm)

Portanto, para se fornecer aproximadamente 0,3 kg de amido deve-se incluir 0,5 kg de milho seco moído, conforme demonstrado:

0,3 kg x 70% (amido presente no milho seco moído) = 0,5 kg de milho seco

As dietas foram propostas com o objetivo de representar formulações típicas de confinamentos de vacas leiteiras localizadas na região Sudeste do Brasil, baseadas em silagem de milho como volumoso único e polpa cítrica como subproduto fibroso. A participação dos ingredientes dietéticos está apresentada na tabela 5, conforme os tratamentos estabelecidos.

Tabela 5. Composição das dietas experimentais contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos

Item	Com Processador	Sem Processador	Sem Processador + Milho
Ingredientes da dieta, % da MS			
Silagem de planta inteira de milho	50,4±1,5	50,4±1,5	49,5±2,5
Farelo de soja	19,7±1,2	19,7±1,2	19,4±1,1
Milho seco moído	13,0±0,6	13,0±0,6	14,7±0,5
Polpa cítrica	13,7±0,6	13,7±0,6	13,4±0,5
Mix vitamínico e mineral[1]	2,3±0,1	2,3±0,1	2,2±0,1
Gordura	0,9±0,1	0,9±0,1	0,9±0,1

[1]20,0% de Ca; 15,6% de P; 3,5% S; 3,0% Mg; 150 mg / kg de Co; 2.000 mg / kg de Cu; 200 mg / kg I; 5.000 mg / kg Mn; 11.900 mg / kg Zn; 82 mg / kg de Se; 100.000 UI / kg de vitamina A; 220.000 UI / kg de vitamina D3; 6.200 UI / kg de vitamina E

As vacas foram mantidas em um confinamento do tipo Freestall, equipado com cochos de acesso automático (Intergado Ltda, Brasil) programados para reconhecer o animal designado a cada cocho, conforme sua

exigência nutricional e tratamento experimental. Os animais foram alimentados individualmente, duas vezes ao dia, após as ordenhas. Utilizou-se um misturador vertical de ração completa (DeLaval VM 5 descarga lateral) e os alimentos foram fornecidos em quantidade suficiente para 10% de sobra diária. O teor de matéria seca das silagens foi monitorado semanalmente e, quando necessário, a inclusão de matéria natural para cada ingrediente foi ajustada para manter a consistência em sua proporção na matéria seca da dieta. A concentração de nutrientes das dietas está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Composição nutricional e tamanho de partícula das dietas experimentais contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos

Item	Com Processador	Sem Processador	Sem Processador + Milho
Matéria seca, % do consumido	56,0±1,2	56,0±1,6	56,7±2,0
Composição nutricional da dieta, % da MS			
Proteína bruta	15,8±0,62	15,9±0,50	15,7±0,5
FDN	31,5±0,32	32,1±0,92	30,5±0,75
$FDNfe_{>8}$[1]	11,6±0,12	11,6±0,62	9,62±0,32
$FDNfe_{>1,18}$[2]	21,5±0,22	19,9±0,35	20,3±0,72
Extrato etéreo	3,35±0,12	3,32±0,12	3,31±0,23
MM	5,55±0,23	5,36±0,19	5,37±0,26
Carboidrato não fibroso	43,8±0,53	43,32±0,83	45,12±0,51
Amido	28,1±0,58	28,0±0,12	29,1±0,27
PSPS[3], % retida do oferecido			
19-mm	10,1±0,71	8,65±0,85	6,89±0,45
8-mm	31,0±0,18	34,9±5,12	31,4±1,41
4-mm	14,2±0,36	14,9±0,10	14,9±0,18
1.18-mm	28,5±0,98	26,0±2,50	28,6±1,20
Fundo	16,1±0,70	15,5±2,54	18,1±0,59
Comprimento médio das partículas, mm	8,05±0,11	8,20±0,54	7,55±0,18
Sgm[4]	2,18±0,02	2,13±0,07	2,15±0,01
$pfe_{>8mm}$[5]	41,9±4,2	43,5±3,6	38,3±5,2
$pfe_{>1,18mm}$[6]	83,8±3,9	84,4±4,2	81,9±6,0
FDNfe da dieta oferecida, % da MS			
$FDNfe_{>8mm}$	12,1±0,10	12,3±0,4	10,7±0,3
$FDNfe>_{1.18mm}$	24,2±0,12	23,8±0,2	22,9±0,6

[1]FDN fisicamente efetiva acima da peneira PSPS de 8 mm.

[2]FDN fisicamente efetiva acima da peneira PSPS de 1,18 mm.

[3]A distribuição do tamanho das partículas foi medida usando o separador de tamanho de partículas Penn State.

[4]Desvio padrão geométrico.

[5]Fator fisicamente eficaz acima de 8 mm.

[6]Fator fisicamente eficaz acima de 1,18 mm.

4.2.3. Coletas de amostras

As amostras de silagens, de ingredientes concentrados, das sobras alimentares e das fezes foram coletadas entre o 13º e o 18º dia dos períodos experimentais. Após a formação de uma amostra composta por período, procedeu-se à seguinte marcha analítica:

4.2.4. Análises bromatológicas

Amostras de silagens, ingredientes concentrados, sobras e fezes foram secas a 55 °C por 72 horas em estufa de ventilação forçada. Após a secagem, as amostras foram trituradas em um moinho de facas com peneira de 1 mm e, em seguida, determinou-se a MS final em estufa a 105 °C (AOAC, 2000). A fibra em detergente neutro (FDN) foi determinada de acordo com o método de Van Soest et al. (1991) usando sulfito de sódio e α-amilase, com base no método sequencial proposto por ANKON e descrito por Holden (1999). A análise de amido foi realizada segundo Hall et al. (2015). O conteúdo de carboidratos não fibrosos calculado como CNF = 100 - (PB + FDN + EE + cinza).

4.2.5. Características fermentativas das silagens

Amostras frescas de silagens foram usadas para preparar um extrato aquoso, por meio da adição de 225 mL de água destilada em 25 g de silagem. Essa mistura foi agitada em homogeneizador de alimentos durante 4 minutos e filtrada em dupla gase de tecido para obtenção do extrato líquido. A partir deste, foi realizada a leitura do pH, em potenciômetro digital. Procedeu-se à centrifugação do extrato durante 15 minutos a 10000 rpm para posterior determinação dos produtos de fermentação.

Os produtos finais da fermentação foram avaliados por cromatografia gasosa com um detector de massa (GCMS QP 2010 plus, Shimadzu, Kyoto, Japão), usando uma coluna (Stabilwax, Restek, Bellefonte, PA; 60 m, 0,25 mm, i.d., 0,25 90 m). A determinação do nitrogênio amoniacal (N-NH3) foi feita por colorimetria, conforme método descrito por Chaney e Marbach (1962), adaptado para uso em placas de microtúbulos e mensuração em colorímetro – Elisa Reader (absorbância de 550 nanômetros). A concentração de ácido lático foi analisada por espectrometria com leitura em 565 nm de acordo com metodologia adaptada de Pryce (1969).

O teor de matéria seca corrigido para os voláteis (MScorr) foi calculado pela equação de Weissbach (2009): MScorr (% do oferecido) = MS em estufa (% do oferecido) + n-álcoois (% do oferecido) + 2,3-butanodiol (% do oferecido) + 0,95 × ácidos graxos voláteis (% do oferecido) + 0,77 × 1,2-propanodiol (% do oferecido) + 0,08 × ácido lático (% do oferecido).

4.2.6. Características físicas das silagens

Uma amostra de 500 g de silagem fresca foi usada para determinar o tamanho médio de partícula (TMP) em um separador de partículas Penn State (Kononoff et al., 2003). O FDN fisicamente efetivo acima da peneira de 8 mm (FDNfe> 8) ou acima da peneira de 1,18 mm (FDNfe> 1,18) foi calculado como proposto por Lammers et al.

(1996) e Kononoff et al. (2003), respectivamente (proporção de matéria seca acima de 1,18 ou 8 mm da peneira multiplicada pela % de FDN).

Outra subamostra foi utilizada para determinar o escore de processamento do milho (KPS), em duplicata, conforme descrito por Ferreira e Mertens (2005). A partir de outra subamostra, as frações grãos, caules e folhas, foram separadas por um procedimento de separação hidrodinâmica (Savoie et al., 2004). Este método baseia-se nas diferenças de flutuação entre os grãos, folhas e caules. Cada amostra de cerca de 400 g de material seca foi colocada em um recipiente de 10 L contendo 7 L de água. Procedeu-se uma agitação manual suave por 2 minutos, para que toda a amostra fosse imersa em água. Após 2 minutos, a fração fibrosa (folhas + caule) que flutuou devido à densidade menor que a água foi removida suavemente, usando uma peneira pequena de 1,17 mm (Savoie et al., 2004). Após a remoção da água do contêiner a fração de grãos, com densidade maior que a da água, foi separada (Savoie et al., 2004). Após a separação, a fração de grão foi seca a 55 ° C por 72 h em um estufa de ventilação forçada e agitada usando um agitador Tyler Ro-Tap (modelo RX-29, Tyler, Mentor, OH) com um conjunto de 9 peneiras com Malhas e fundo 9,50, 6,70, 4,75, 3,35, 2,36, 1,70, 1,18, 0,59 mm. O tamanho geométrico médio do grão - GMPS (uM) e a superfície (cm2 / g) foram calculados usando uma distribuição logarítmica normal (Baker e Herrman, 2002).

A caracterização das silagens utilizadas no experimento de desempenho animal será apresentada na tabela 7 de forma descritiva (médias e respectivos desvios-padrões), uma vez que os tratamentos não contaram com repetições de silos a campo.

Tabela 7. Composição química, perfil de fermentação e características físicas da silagens de planta inteira de milho, obtidas por colhedora tracionada, com e sem processamento de grãos

Itens	Com Processador	Sem Processador
Nutriente		
MS, %	36,0±2,8	40,0±2,5
MScorr, %	37,2±1,8	41,3±1,5
MO, % MS	95,9±0,9	96,7±0,7
MM, % MS	4,22±0,2	3,93±0,1
PB, % MS	6,53±0,5	6,78±0,46
Extrato etéreo, % MS	2,45±0,2	1,72±0,3
FDN, % MS	42,2±2,3	43,4±1,0
Amido, % MS	32,9±0,5	32,3±0,5
Perfil de fermentação		
pH	4,12±0,1	4,01±0,2
Ácido lático, % MScorr	2,05±0,2	3,15±0,4
Ácido acético, % MScorr	1,26±0,6	1,53±0,64
Ácido propiônico, % MScorr	0,28±0,1	0,71±0,19
1,2-propanodiol, % MScorr	0,44±0,2	0,16±0,02
2,3-butanodiol, % MScorr	0,22±0,1	0,86±0,20
1-propanol, % MScorr	0,01±0,02	0,047±0,08
Etanol, % MScorr	0,04±0,05	0,06±0,06
Ácido butírico, % MScorr	0,03±0,01	0,03±0,01
N-amoniacal, % N total	7,20±2,10	6,15±1,70
PSPS[2], % retido do consumido		
19-mm	18,1±2,1	11,9±0,4
8-mm	58,4±2,6	61,1±0,61
4-mm	15,1±0,2	17,0±0,96
Fundo	8,44±0,3	10,1±0,07
Tamanho médio de partícula, mm	13,5±0,2	12,5±0,1
Sgm[3]	1,54±0,03	1,5±0,02
Distribuição do tamanho de partícula da fração grão		
6.7-mm	13,0±3,3	21,8±3,0
4.75-mm	13,5±3,4	15,6±1,7
3.35-mm	10,6±1,4	8,12±0,7
2.36-mm	10,5±0,2	10,2±0,1
1.70-mm	10,3±1,4	7,85±0,4
1.18-mm	8,05±0,5	8,12±0,3
0.60-mm	14,9±1,2	13,2±0,7
Fundo	17,6±1,3	15,1±1,7
% < 4.75[4]	71,9±2,2	62,6±2,5
GMPS, μm[5]	2003±224	2308±163
Área superficial, cm^2/g	28,3±2,2	26,0±1,3
KPS, % de amido abaixo de 4,75 mm[6]	48,6±2,2	37,7±1,0

[1]O teor de matéria seca corrigido para os voláteis (MScorr).

[2]O tamanho das partículas foi medido usando o separador de tamanho de partículas da Penn State,.

[3]Desvio padrão geométrico.

[4]Proporção da fração de grãos separada hidrodinamicamente que passa por uma peneira de 4,75 mm.

[5]O tamanho médio das partículas geométricas.

[6]O escore de processamento.

4.2.7. Produção e Qualidade do Leite

A produção de leite foi medida entre os dias 13 e 17 de cada período experimental e utilizada para comparar os tratamentos. Amostras de leite para avaliação de sólidos foram coletadas em frascos com o conservante Bronopol para posterior entrega ao laboratório. Nas amostras de leite, os teores de proteínas, gorduras, lactose, sólidos totais e nitrogénio uréico foram analisados por espectrometria de infravermelho (Clínica do Leite, Piracicaba-SP). A secreção diária de energia no leite foi calculada pela equação (NRC, 2001): EnLeite = [(0,0929 x % de gordura) + (0,0547 x % de proteína) + (0,0395 x % de lactose)] x kg de leite. A produção de leite com correção de energia (LCE) foi calculada por: LCE = EnLeite / 0,70. Este procedimento pressupõe que o conteúdo energético do leite com 3,7% de gordura, 3,2% de proteína e 4,6% de lactose seja de 0,70 Mcal / kg. A produção de leite corrigida para 4% de gordura (LC4) foi calculada pela seguinte equação: LC4 = (0,4 + 15 x% de gordura / 100) x kg de leite.

4.2.8. Consumo de Alimentos

O consumo de matéria seca (CMS) foi medido entre os dias 13 e 17 de cada período. A quantidade de dieta oferecida e as sobras de cada vaca foram medidas diariamente. Amostras diárias de ingredientes alimentares e sobras de cada vaca foram congeladas e amostras compostas formadas por período para determinação bromatológica conforme explicado anteriormente.

A seleção foi avaliada conforme descrito por Leonardi e Armentano (2003), valores <100% indicam recusas seletivas,> 100% indicam um consumo preferencial e aqueles iguais a 100% indicam nenhuma classificação. Amostras individuais das sobras diárias de cada vaca e das dietas oferecidas foram coletadas para determinar o tamanho das partículas, conforme descrito por Kononoff et al. (2003). A eficiência alimentar calculada pela relação entre produção de leite e CMS e entre LCE e CMS.

4.2.9. Comportamento ingestivo e peso dos animais

No 14º dia, a atividade mastigatória foi avaliada por observação visual das atividades de cada animal a cada 10 minutos do dia. As atividades consideradas foram ingestão de alimentos, ingestão de água, ruminação e ócio. O tempo de mastigação foi definido como a soma dos tempos de ingestão e ruminação dos alimentos. Os tempos de mastigação, ingestão e ruminação por unidade de CMS foram calculados usando o CMS medido no dia da determinação da atividade de mastigação. A ingestão, mastigação e ruminação por unidade de FDN e FDNfe> 8 e FDNfe> 1,18 ingerido seguiram a mesma lógica.

O peso vivo e a condição corporal dos animais foi medida no dia 18 de cada período para descrever as unidades experimentais. A condição corporal medida em uma escala de 1 a 5 (Wildman et al., 1982).

4.2.10. Digestão e parâmetros sanguíneos

Nos dias 17 e 18 de cada período foram obtidas as amostras de líquido ruminal em 3 animais canulados recebendo a mesma dieta que os demais animais. As amostras foram coletadas a cada 4 horas após a alimentação da

manhã totalizando 6 amostras. Para cada amostra o pH do líquido ruminal foi medido imediatamente e o fluido ruminal armazenado sob congelamento para determinar o perfil de fermentação ruminal por análise de ácidos graxos voláteis por cromatografia gás-líquido (CP 3800 Gas Cromatography Varian, Varian Cromatography Systems, EUA).

A coleta de fezes foi realizada nos dias 16 a 18, com as amostras sendo coletadas às 04 horas, 12 horas e 20 horas, uma vez por dia. O pH fecal medido por diluição em água destilada imediatamente após cada amostragem. Uma amostra de fezes de cada vaca foi congelada e formou uma amostra composta no final de cada período. Os compostos fecais foram desidratados e os teores de amido determinado conforme descrito anteriormente.

Para o cálculo de digestibilidade aparente do amido no trato total foram utilizadas duas diferentes equações, proposta por Ferraretto e Shaver (2012), onde a digestibilidade aparente do amido no trato total (%) =100 x (0,9997 – 0,0125 x % amido fecal) e Fredin et al. (2014), sendo a digestibilidade aparente do amido no trato total (%) = 100 – (1,25 x % amido fecal).

No 18º dia, amostras de sangue para medição da glicose no plasma foram obtidas dos vasos coccígeos, 6 e 12 horas após a alimentação. O sangue foi coletado em tubos vacuolizados contendo fluoreto de sódio como anticoagulante e armazenado sob refrigeração. Em seguida, as amostras de sangue centrifugadas a 2.118 x g por 10 minutos, removendo o plasma para análises posteriores.

4.2.11. Análise Estatística

Os dados foram analisados pelo procedimento SAS usando o seguinte modelo: Yijklm = μ + Qi + Vj (i) + Pk + Sl + εijklm, onde: μ = média geral; Qi = efeito fixo do quadrado (i = 1 a 6); Vj (i) = efeito aleatório da vaca no quadrado (j = 1 a 18); Pk = efeito fixo de período (k = 1 a 3); Sl = efeito fixo do tratamento; εijkl = erro residual assumindo distribuição independente e idêntica em uma distribuição normal com média 0 e variância δ2. Foram utilizados como comparação entre os tratamentos os contrastes ortogonais que incluem C1 - Com Processador vs. Sem Processador e C2 - Com Processador vs. Sem Processador + Milho e os valores de probabilidade ≤0,05 serão considerados significativos e abaixo de 0,10 como tendência.

Os dados obtidos da vacas canuladas no rúmen foram analisados como medidas repetidas usando o seguinte modelo: Yijklm = μ + Vi + Pj + Sl + Hk + SlHk + eijlk, onde μ = média geral, Vi = efeito aleatório da vaca (i = 1 a 3), Pj = efeito fixo do período (j = 1 a 3), Sl = efeito fixo do tratamento (l = 1 a 3), Hk = efeito fixo e repetido no tempo da hora (k= 0 a 5), SlHk = interação entre tratamento e hora e eijlk = erro residual. Os graus de liberdade foram ajustados pelo método de Kenward-Roger. A estrutura de covariância foi escolhida com base no critério de informação de Akaike entre estrutura de componente de variância (VC), simetria composta (CS) e estrutura autoregressiva (Lag 1) (AR (1)). Foram utilizados como comparação entre os tratamentos os contrastes ortogonais que incluem C1 - Com Processador vs. Sem Processador e C2 - Com Processador vs. Sem Processador + Milho e os valores de probabilidade ≤0,05 serão considerados significativos e abaixo de 0,10 como tendência.

4.3. Resultados e Discussão

As respostas em desempenho animal estão apresentadas na Tabela 8. Vacas leiteiras alimentadas com as dietas Sem Processador + Milho e Com Processador produziram em média 1,0 $kg.d^{-1}$ de leite a mais que os animais alimentados com dieta contendo silagem não processada, sem alterações na ingestão de matéria seca entre os

tratamentos. Tais respostas não repercutiram em aumento de eficiência alimentar (produção de leite / CMS), possivelmente, devido ao estágio de lactação em que os animais usados no experimento se encontravam (média de 170 dias), conduzindo-as a um ganho de escore corporal, com maior deposição de tecido adiposo influenciando na eficiência alimentar. Os animais nos três tratamentos apresentaram escore de condição corporal próximo de 3,0 que, segundo Wildman et al. (1982), condiz com o período de lactação de 160 a 239 dias. Segundo o mesmo autor, o ganho de escore corporal diminui acentuadamente durante o início da lactação, aumentando aproximadamente a partir do pico até o final da lactação.

Tabela 8. Desempenho de vacas em lactação recebendo dietas contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos

Item	Com Processador	Sem Processador	Sem Processador + Milho	EPM	*P*-valor[1]	
					C_1	C_2
Peso vivo, kg	602	599	602	14,2	0,35	0,84
ECC[2] (1-5)	3,02	3,00	2,97	0,12	0,48	0,16
IMS, kg.d-1	23,1	22,8	23,4	0,94	0,43	0,68
Leite, kg.d-1	26,9	25,9	26,9	1,37	0,08	0,99
4% LCG[3], kg.d-1	24,5	23,7	24,0	1,22	0,52	0,66
EnLeite[4] , Mcal. d-1	17,5	17,2	17,3	0,88	0,70	0,41
LCE[5] , kg.d-1	25,0	24,5	24,7	1,26	0,72	0,41
Gordura, kg.d-1	0,87	0,89	0,88	0,005	0,64	0,82
Gordura, %	3,30	3,43	3,29	0,01	0,14	0,87
Proteína, kg.d-1	0,79	0,80	0,79	0,003	0,78	0,94
Proteína, %	3,06	3,08	2,99	0,01	0,08	0,10
Lactose, kg.d-1	1,17	1,16	1,17	0,01	0,73	0,90
Lactose, %	4,48	4,46	4,41	0,01	0,42	0,32
Sólidos, kg.d-1	3,09	3,07	3,10	0,02	0,97	0,79
Sólidos, %	11,8	11,9	11,6	0,02	0,04	0,28
Caseína, %	2,40	2,42	2,35	0,05	0,07	0,22
Caseína, % protein	0,783	0,785	0,793	0,001	0,05	0,19
NUL[6], mg/dL	12,1	12,4	11,8	0,66	0,72	0,74
Leite/IMS, kg/kg	1,19	1,13	1,16	0,04	0,58	0,52
4%LCG/IMS, kg/kg	1,07	1,03	1,04	0,04	0,96	0,51

[1]Os contrastes ortogonais incluem C1 - Com Processador vs. Sem Processador e C2 - Com Processador vs. Sem Processador + Milho.

[2]Ecc= Escore de condição corporal.

[3]O leite corrigido para 4% de gordura.

[4]O leite corrigido para energia.

[5]A secreção energética diária no leite.

[6]NUL= nitrogênio uréico no leite.

As diferenças de produção entre os tratamentos "Com Processador" e "Sem Processador" estão de acordo com Bal et al. (2000), que obtiveram aumento na produção de leite de 1,2 $kg.d^{-1}$ com a silagem de milho processada com folga de 1 mm, em comparação à silagem não processada, para vacas alimentadas com silagem de planta inteira de milho colhida com tamanho teórico de corte de 9,5 mm. O aumento na produção de leite com a utilização de silagem de milho processada está relacionado ao aumento da disponibilidade do amido, devido à quebra

mais efetiva do grão pelos rolos processadores. Ferraretto e Shaver (2012) realizaram uma meta-análise sobre a influência do processamento do grão no desempenho de vacas leiteiras e na digestibilidade dos nutrientes. Silagens de planta inteira de milho processadas de 1 a 3 mm ou não processadas apresentaram uma tendência de maior produção de leite (+ 1,8 $kg.d^{-1}$) em comparação com o processamento de 4 a 8 mm. Os autores não observaram diferenças na produção de leite entre silagens processadas com tamanhos de 1 a 3 mm e silagens não processadas, demonstrando que existe uma variação de respostas ao processamento durante a colheita. As respostas obtidas com a utilização do processamento dos grãos na colheita são suportadas pela caracterização da silagem (Tabela 7), apesar dos dados não contemplarem análise estatística. Foram obtidos valores de KPS de 48,6 ± 2,2 para a silagem processada e 37,7 ± 1,0% para a silagem não processada na colheita, decorrentes da porcentagem de grãos menores que 4,75 mm de 71,9 ± 2,2 constatada com o processamento, impactando no aporte de amido abaixo da peneira com crivo de 4,75 mm.

A similaridade de produção entre os tratamentos "Com Processador" e "Sem Processador + Milho" deve ser destacada em face da alta nos preços dos grãos ao longo do ano de 2020, fazendo com que a inclusão de milho aumentasse o custo da dieta (Figura 1). Assim, a estratégia de aumento do amido pela adição de milho seco moído como forma de equiparar os ganhos produtivos obtidos com o processamento de grãos na colheita, impactará na margem líquida da propriedade (Figura 2) em cenários econômicos de alta nos preços dos grãos. Isso reforça a importância do processamento como estratégia de aumento da inclusão de silagens na dieta de vacas leiteiras e de redução dos custos de produção, tendo a dieta "Sem Processador" como valor de referencia relativa (Figura 1 e 2).

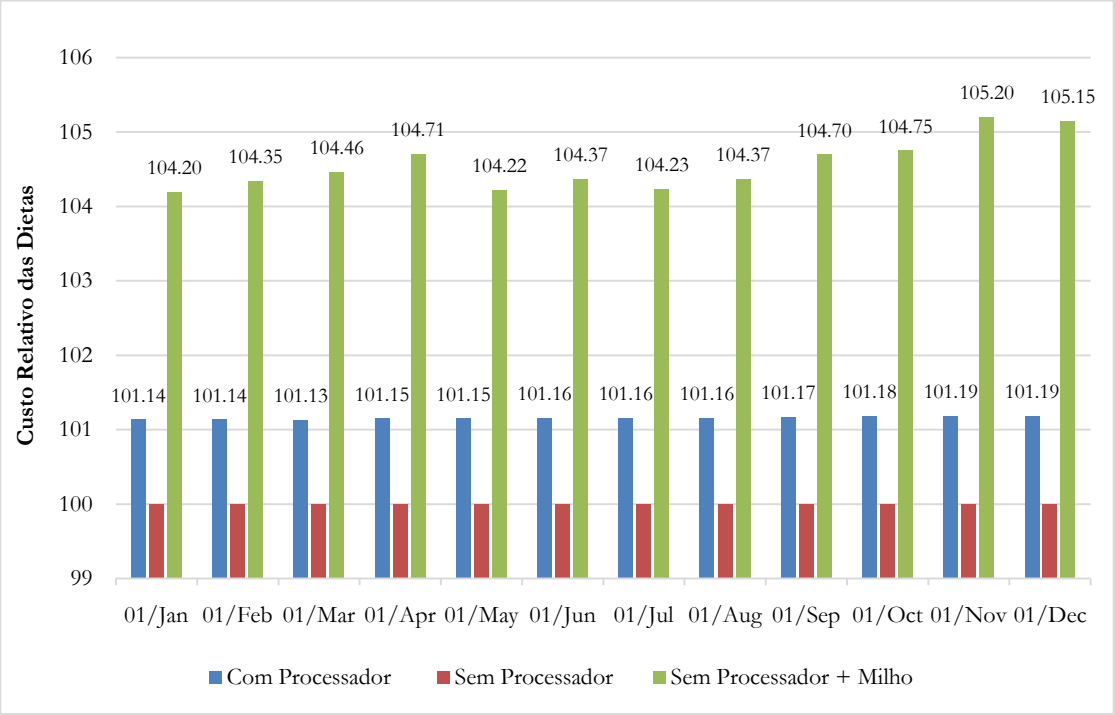

Figura 1. Evolução anual relativa do custo de alimentação com silagem processadas mecanicamente

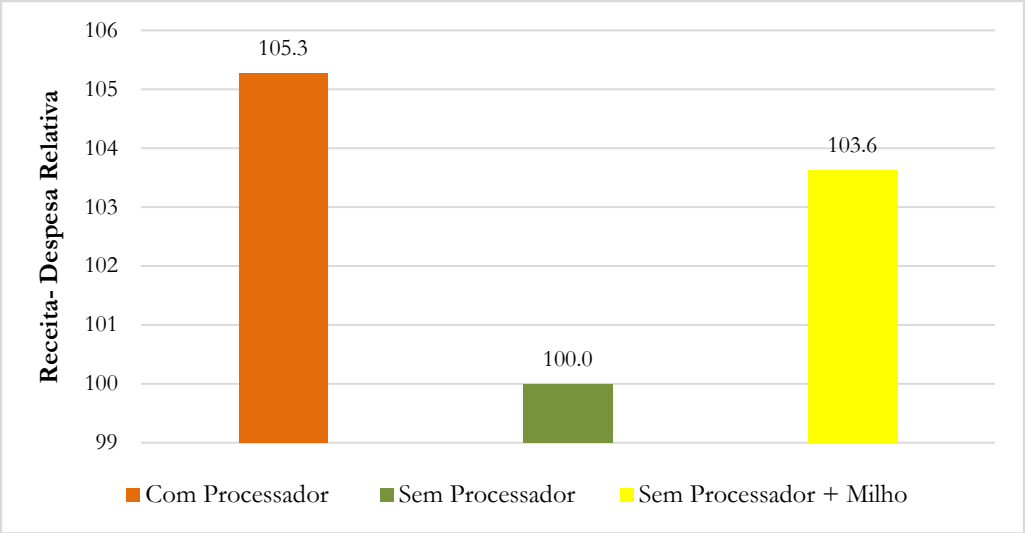

Figura 2. Margem líquida relativa das dietas

Não houve efeito significativo na porcentagem de gordura no leite e quantidade produzida por dia entre os tratamentos. O impacto do processamento do grão na gordura do leite é inconsistente na literatura. Shinners et al. (2000) observaram maior teor de gordura no leite das vacas alimentadas com silagens de planta inteira de milho processada. Entretanto, Ferraretto e Shaver (2012) relataram maior teor de gordura do leite para silagens de planta inteira de milho não processadas (3,55%), quando comparadas às silagens processadas com distância entre rolos de 1 a 3 mm (3,44%).

A produção diária de proteína no leite não diferiu entre os tratamentos e, de fato, Ferraretto e Shaver (2012) não observaram uma melhoria consistente no rendimento de proteína do leite quando as vacas foram alimentadas com silagem de planta inteira de milho processada. Houve tendência de um maior percentual de proteína no leite para o tratamento "Sem Processador" comparado ao "Com Processador" (3,08% *vs.* 3,06%, respectivamente, *P*-valor de 0,08), impactando significativamente na porcentagem de sólidos do leite (Sem Processador = 11,9%, Com Processador = 11,8%, *P*-valor de 0,05). O teor de caseína também tendeu a ser superior no tratamento Sem processador (2,42% *vs* 2,40% para o tratamento Com processador, *P*-valor de 0,08). Quando a caseína foi analisada como porcentagem da proteína, houve diferença entre os teores obtidos "Sem" e "Com processador" (0,785% *vs* 0,783%, respectivamente, *P*-valor de 0,05).

Apesar da diferença numérica de NUL em função do processamento, não foram observados valores significativos para os contrastes utilizados. Diferentemente, Schwab et al. (2002) observaram uma redução de 1,2 mg dL^{-1} no NUL para silagens processadas, o que pode ser relacionado ao aumento da digestibilidade do amido no rúmen (Ferraretto e Shaver, 2012), podendo afetar o pH e a produção de ácidos graxos voláteis no rúmen. Maiores concentrações de propionato ruminal foram relatadas para vacas alimentadas com silagens de planta inteira de milho processada (Dhiman et al., 2000; Schwab et al., 2002), afetando a relação acetato/propionato, o que não ocorreu no presente estudo. Os parâmetros ruminais e outras variáveis de digestibilidade avaliadas neste experimento estão apresentadas na tabela 9.

Tabela 9. Parâmetros ruminais, pH e amido fecal de vacas leiteiras recebendo dietas contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos

Item	Com Processador	Sem Processador	Sem Processador + Milho	SEM	*P*-valor[1]	
					C_1	C_2
Parâmetros ruminais	% do total dos ácidos orgânicos					
pH	6,18	6,35	6,21	0,18	0,77	0,98
Acetato	62,7	63,2	61,7	1,87	0,98	0,92
Propionato	19,4	18,4	18,9	2,06	0,94	0,98
Iso-butirato	1,66	2,16	1,93	0,15	0,15	0,47
Butirato	12,0	13,0	13,1	0,81	0,51	0,44
Iso-valerato	2,50	1,70	1,76	0,81	0,60	0,64
Valerato	1,63	1,53	2,47	0,24	0,79	0,06
N-NH3 mg/dL	17,9	15,6	16,6	2,76	0,78	0,91
Acetato:propionato	3,23	3,42	3,25	0,45	0,91	0,63
Parâmetros fecais						
pH	7,20	7,11	7,07	0,10	0,06	0,01
Amido	2,53	2,82	3,45	0,19	0,55	0,02
Damido[2]	96,8	96,4	95,7	0,23	0,55	0,03
Damido[3]	96,7	96,3	95,7	0,23	0,55	0,03

[1]Os contrastes ortogonais incluem C1 - Com Processador vs. Sem Processador e C2 - Com Processador vs. Sem Processador + Milho.

[2]Digestibilidade total do amido, segundo (Ferraretto e Shaver, 2012).

[3] Digestibilidade total do amido, segundo (Fredin et al. 2014).

Apesar dos dados das dietas e das silagens presentes na tabela 6 e 7, serem apresentados por meio de estatística descritiva apenas, a silagem com processamento apresentou porcentagem de partículas retidas acima da peneira de 19 mm de 18,1 ± 2,1 e a silagem não processada de 11,9 ± 0,4 e comprimento médio das partículas (CMP; Sem Processador + Milho = 7,55±0,18, Sem Processador = 8,20±0,54 e Com Processador = 8,05±0,11; Tabela 7). Os níveis de FDNfe> 8 (% MS) nas dietas efetivamente consumidas foram de 9,62 ± 0,32% (Sem Processador + Milho), 11,6 ± 0,62% (Sem Processador) e 11,6 ± 0,12% (Com Processador). Foram observados níveis de FDNfe> 1,18 de 20,3 ± 0,72% (Sem Processador + Milho), 19,9 ± 0,35% (Sem Processador) e 21,5 ± 0,22% (Com Processador). Ferraretto et al. (2018) relataram que o processamento mecânico da silagem de planta inteira de milho é capaz de reduzir 20% das partículas retidas acima de peneiras de 19 mm de diâmetro de furo. Diferentemente do que foi encontrado por Ferraretto et al. (2018), o processamento da silagem de planta inteira de milho no presente trabalho aumentou numericamente a porcentagem de partículas retidas na peneira de 19 mm.

Em termos de exigências de vacas leiteiras para peFND, Mertens (1997) recomendou um nível de 19,7% de FDNfe para manter uma gordura do leite de 3,4% e, para manutenção um pH ruminal de 6,0, valores de 22,3% de FNDfe. Nesse estudo, o FDNfe foi estimado multiplicando-se a proporção de dieta retida acima de 1,18 mm de comprimento pelo FDN total. Entretanto, Zebeli et al. (2012) constataram que a alimentação de vacas leiteiras com menos de 18,5% de FDNfe> 8 ou 31,2% de FDNfe> 1,18 representa um risco iminente de acidose. Segundo estes autores, os efeitos nutricionais da FDNfe são complexos e envolvem o comportamento de consumo da dieta (comportamento de seleção), formação do met ruminal, ruminação e salivação, como também características de fermentação, passagem da digesta, ingestão e absorção de nutrientes. Além disso, os requisitos de FDNfe dependem da fermentabilidade da fonte de amido (tipo de amido e estrutura de endosperma), fontes que apresentam uma

menor fermentabilidade necessitam de uma menor quantidade de FDNfe e o contrário para fontes mais fermentáveis (Zebeli et al., 2012).

Foram encontrados menores concentrações de valerato para os tratamentos "Sem Processador" e "Com Processador" (1,63% e 1,53%, respectivamente), quando comparados ao tratamento "Sem Processador + Milho" (2,47%), sendo que para o contraste "Com Processador" *vs.* "Sem Processador + Milho", obteve-se um *P*-valor de 0,06 e *P*-tempo*tratamento de 0,50. Dietas com maior proporção de milho moído em relação à silagem de milho resultam em um maior fornecimento de amido para ser aproveitado no rúmen, geralmente resultando em menores produções de acetato e maiores de propionato e valerato (Shin et al., 2012).

Crocker et al. (1998) constataram que a utilização de milho floculado aumentou a concentração de propionato e valerato e diminui acetato e butirato, além de diminuir a proporção acetato:propionato quando comparado com milho moído fino. Dhiman et al. (2000), avaliando o efeito do processamento da silagem de planta inteira de milho com distância entre rolos de 1 mm sobre os parâmetros ruminais de vacas holandesa constataram diferença (*P*-valor de 0,03) nos valores de valerato entre silagem processada (1,9 mol/n*M)* e não processada (2,0 mol/n*M)*. O aumento dos teores de valerato no rúmen são decorrentes do crescimento e multiplicação de bactérias como as *Succinomonas amylolytica,* responsáveis por fermentar e utilizar açúcares como a glicose e o amido, produzindo acetato, butirato e valerato. Mas, a principal bactéria envolvida neste processo é a *Megasphaera elsdenii*, que utiliza também como substratos o glicerol, peptídeos e lactato, produzindo acetato, propionato, butirato e valerato (Van Soest, 1994). A utilização de *M. elsdenii* como uma importante controladora de lactato no rúmen tem sido relatada como forma de melhorar a fermentação ruminal, aliviando a acidose clínica (Long et al., 2014; Weimer et al., 2015). Essa bactéria é responsável por até 97% da fermentação do lactato no rúmen, estimulando a degradação ruminal da fibra (Counotte et al., 1981). A bactéria *M. elsdenii* converte lactato preferencialmente a butirato, em comparação ao valerato e propionato (Muya et al., 2015; Weimer et al., 2015; Leeuw et al., 2016). Entretanto, a complexidade da interação entre a microbiota ruminal bem como o ambiente de fermentação, ou seja, abundância de substrato e pH, podem ter efeitos na degradação do lactato pela *M. elsdenii* (Chen et al., 2019).

Foram constatados valores de butirato maiores que o usual para dietas com relação volumoso:concentrado de 50:50, principalmente para o tratamento "Sem Processador + Milho" (13,1%). Church (1993) citado por Nussio et al. (2006) constatou proporções molares de acetato, propionato e butirato de 65:18:10, em vacas alimentadas com relação de 50:50 de volumoso e concentrado. Modificações nesta proporção de ácidos dependem da interação e ação de microrganismos no rúmen. O tratamento "Sem Processador + Milho" apresentou redução dos teores de acetato, com aumento de butirato e valerato, sem elevação significativa dos teores de propionato no rúmen.

A digestão e o aproveitamento dos nutrientes pelos animais são dependentes das funções do aparelho digestivo como um todo, dos tipos e formas de alimentos ingeridos. O excesso de carboidratos não-estruturais oriundo de dietas com elevados teores de amido, podem diminuir o pH ruminal e a eficiência de síntese microbiana, ao passo que a falta de carboidratos com taxas de fermentação mais rápidas reduz o nível de energia disponível para o crescimento bacteriano (Clark et al., 1992). A extensão da digestão do amido pelos ruminantes interfere de forma dinâmica na quantidade de amido que será fermentado no rúmen ou que chegará ao intestino (Berchielli et al., 2006).

A digestibilidade total do amido em vacas leiteiras varia de 70 a 100% (Firkins et al., 2001; Ferraretto et al., 2013) sendo influenciada por fatores como tamanho de partícula, método de armazenamento, tipo de endosperma do milho (Firkins et al., 2001; Ferraretto et al., 2013; Lopes et al., 2009); maturidade na colheita, teor de umidade e duração da fermentação do silo (Hoffman et al., 2011; Ferraretto et al., 2013). Os valores de

digestibilidade total do amido devem ser superiores a 98%, sendo considerada adequada até valores próximos a 95%; valores abaixo disso são inadequados e o amido não absorvido e aproveitado pelo animal será eliminado nas fezes, impactando o pH das mesmas (Wheeler e Noller, 1977; Ireland-Perry e Stallings, 1993).

O pH fecal dos animais foi influenciado pelo processamento da silagem e pelo incremento de amido em função da adição de milho seco moído como suplementação estratégica. O tratamento "Sem Processador + Milho" teve o menor valor de pH (7,07), seguido da dieta com silagem processada (7,10) e daquela sem processamento (7,20). O pH fecal é influenciado pelo aumento de amido disponível para os animais e pela relação volumoso: concentrado da dieta. Li et al. (2012) relataram um pH fecal de 6,57 quando o teor de amido na dieta foi de 21,3%. Mao et al. (2012) observaram um valor de pH fecal de 7,15 em vacas leiteiras alimentadas com 40% de concentrado e um valor de 6,42 para a dieta com 70% de concentrado, com base na MS. Calamari et al. (2018) relataram um valor de pH fecal de 6,05 em vacas alimentadas com dietas com teor de amido de 25,1%, com base na MS. Entretanto, o pH fecal pode ser afetado por outros fatores além do amido, incluindo tampões dietéticos, capacidade tampão das forragens e ocorrência de acidose ruminal (Erdman et al., 1982).

A concentração fecal de amido provou ser um indicador preciso da digestibilidade total do amido por bovinos confinados (Zinn et al., 2002; Corona et al., 2005). Fernandez et al. (1982) relataram pela primeira vez uma relação entre a digestibilidade total do amido e amido fecal para vacas leiteiras em lactação. Em revisões sobre o assunto, foram encontrados coeficientes de correlação significativos para estas duas variáveis (R^2 = 0,73: Owens e Zinn, 2005 e R^2 = 0,94: Ferraretto e Shaver, 2012; Fredin et al., 2014). Valores de amido fecal acima de 5% indicam um inadequado processamento de grãos usados em alimentos ricos em amido na dieta (Owens e Soderlund, 2007). Entretanto, o aproveitamento do amido pelos ruminantes não é homogêneo e depende da fonte, maturidade da planta de milho na colheita, tempo de fermentação em silagens, taxa de passagem e tamanho médio das partículas da silagem (Grouw, 2013; Daniel et al., 2014; Silva et al., 2012; Johnson et al., 1999).

No presente estudo, os teores de amido fecal foram modificados pela maior inclusão de milho seco moído em dietas com silagem não processada quando comparada a dieta com silagens processadas (3,45 *vs.* 2,53, respectivamente; *P*-valor de 0,02). O melhor aproveitamento do amido resultou em maiores estimativas de digestibilidade total para a silagem processada em relação à opção não processada com adição de milho moído impactando no pH ruminal (Tabela 9) e no preço da dieta através da inclusão de milho seco moído a silagem sem processamento (Figura 1 e 2).

Os grânulos de amido presentes no endosperma dos grãos de milho são circundados por uma matriz proteica (Kotarski et al., 1992) que influencia negativamente a digestão do amido pelos microrganismos (McAllister et al., 1993). Vários fatores podem afetar a relação amido-proteína e, portanto, a digestibilidade do amido, como a maturidade na colheita, pois culturas de milho colhidas mais tardiamente terão incrementos de matriz proteica no endosperma (Correa et al., 2002; Lopes et al., 2009). A ensilagem do milho com umidade mais alta resulta na quebra da matriz proteica (Hoffman et al., 2011), permitindo um aumento na digestibilidade do amido, quando comparado ao milho seco (Theurer et al., 1999; Firkins et al., 2001).

Os dados de pH ruminal, amônia e AGVs representam valores médios dos seis tempos de amostragem realizados, não havendo interação tratamento × tempo para a amônia, pH e para a maioria dos AGVs, exceto o valerato (Tabela 9). Bal et al. (2000) e Tanigawa et al. (2012) também não relataram efeitos de processamento nesse parâmetro, diferentemente de Dhiman et al. (2000), que relataram reduções significativas no pH ruminal por causa do processamento, devido a aumento do amido disponível no rúmen para tratamentos com silagem processada.

A concentração de glicose no plasma é influenciada por precursores de glicose, como o propionato ruminal (Vlaeminck et al., 2004) e pela absorção duodenal de glicose (Nocek e Tamminga, 1991). O aumento na glicose plasmática pode estar vinculado ao estimulo de síntese de lactose na glândula mamária e, consequentemente, à produção de leite. A glicose plasmática foi maior (*P*-valor de 0,04, *P*-tratamento de 0,05, *P*-tempo de 0,22 e *P*-tempo*tratamento de 0,80) para o tratamento "Com Processador" (66,8 e 63,0 mg dL^{-1}) quando comparado ao tratamento (Sem Processador = 64,8 e 60,1 mg dL^{-1}), indicando os efeitos do processamento da silagem de planta inteira, apesar das concentrações ruminais de propionato não diferirem estatisticamente (Tabela 9). Cooke e Bernard (2005) também relataram maiores concentrações de glicose no plasma para vacas leiteiras alimentadas com silagem de planta inteira de milho processada. Entretanto, quando se compara os tratamentos "Com Processador" e "Sem Processador + Milho" no segundo tempo de coleta (12 hrs) podemos constatar valores próximos de glicose no plasma (62,97 *vs.* 62,91; respectivamente), possivelmente, devido a um incremento na produção de propionato oriundo da fermentação mais tardia do amido de grãos não fermentados, vinda com o aumento da quantidade de milho seco moído fornecido aos animais presentes neste tratamento.

A utilização de grãos como forma de aumentar a densidade energética da dieta pode ocasionar uma secreção inadequada de saliva e estímulos da motilidade ruminal insuficientes para manutenção do pH ruminal entre 6 e 7, comprometendo o valor do pH e o tempo de ruminação (Hoover e Stokes, 1991). O processamento da fração de grãos da silagem de planta inteira de milho permite uma melhora na digestibilidade do amido ruminal (Ferraretto e Shaver, 2012), possivelmente, reduzindo o pH do rúmen (Onetti et al., 2003). A FDNfe afeta a atividade mastigatória, o pH ruminal e o teor de gordura do leite (Mertens, 1997). Animais do tratamento "Sem Processador" apresentaram menor tempo de ruminação (-47,2 min) em relação ao tratamento "Com Processador" (Tabela 10). Apesar dessa diminuição no tempo de ruminação, o pH ruminal e o teor de gordura do leite não foram afetados, como discutido anteriormente.

A ingestão de FDNfe> 8 e de FDNfe> 1,18 é afetada pelo tamanho médio das partículas. Os tratamentos "Com Processador" e "Sem Processador" diferiram quanto à ingestão de FDNfe>8 (2,1 *vs.* 1,3 kg / d; *P*-valor <0,01), como também para a ingestão de FDNfe>1,18 (2,6 *vs.* 2,7 kg / d; *P*-valor <0,01). Os tratamentos "Com Processador" e "Sem Processador + Milho" diferiram para a ingestão de FDNfe> 8 (2,1 *vs.* 1,6 kg/d; *P*-valor <0,01) e para a ingestão de FDNfe>1,18 (2,6 *vs.* 3,7 kg / d; *P*-valor <0,01; Tabela 10). Essa variação afetou de maneira significativa o tempo de mastigação, ruminação e ingestão / FDNfe>8 e FDN>1,18 no tratamento "Com Processador" em relação aos demais.

As vacas presentes no tratamento "Com Processador" tiveram uma ingestão de FDNfe>8 maior que dos animais do "Sem Processador + Milho" (2,1 *vs.* 1,6 kg d^{-1}) o que pode ter influenciado o maior tempo de ruminação (490,5 *vs.* 443,3 min d^{-1}). Segundo Nasrollahi et al. (2015), que através de uma metanálise com 86 estudos publicados, relataram que a diminuição do CMP entre uma média de 10 a 6,7 mm em dietas de vacas leiteiras, reduziram o tempo de alimentação, ruminação e mastigação em 44 min d^{-1}. Os CMPs das dietas "Sem Processador + Milho" e "Com Processador" foram diferentes numericamente (7,55 *vs.* 8,05 mm), impactando no tempo de ruminação (443 *vs.* 490 min d^{-1}; *P*-valor de 0,05) e uma tendência no tempo de mastigação (671 *vs.* 692 min d^{-1}; *P*-valor de 0,08) levando a uma redução na ruminação e no tempo de mastigação, o que ocasiona um aumento no tempo de repouso. Bal et al. (2000) não encontraram diferenças nos tempos de alimentação, ruminação e mastigação para vacas alimentadas com silagem de planta inteira de milho processadas e colhidas em vários tamanhos teórico de corte (9,5; 14,5 e 19 mm) ou não processados no TLOC de 9,5 mm e Kononoff et al. (2003) também não relataram efeito do tamanho das

partículas no comportamento alimentar para dietas contendo 57,4% de silagem de planta inteira de milho para vacas leiteiras.

Tabela 10. Comportamento ingestivo em vacas leiteiras recebendo dietas contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos ou adição de grão seco moído

Item	Com Processador	Sem Processador	Sem Processador + Milho	SEM	*P*-valor[1]	
					[1]*P* C_1	[1]*P* C_2
$FDNfe_{>8}$[2]	2,1	1,3	1,6	0,08	<0,01	<0,01
$FDNfe_{>1,18}$[3]	2,6	2,7	3,7	0,01	<0,01	<0,01
Ingestão, min/d	201,7	192,7	192,2	12,3	0,94	0,34
Ingestão, min/kg de IMS	8,9	8,5	8,2	0,6	0,51	0,18
Ingestão, min/kg de FDNI[4]	32,3	32,4	31,2	2,6	0,56	056
Ingestão, min/kg de $FDNfe_{>8}$	99,5	151,1	122,6	11,0	<0,01	<0,01
Ingestão, min/kg de $FDNfe_{>1.18}$	78,9	75,2	51,9	6,7	<0,01	<0,01
Ruminação, min/d	490,5	443,3	478,8	18,5	0,05	0,52
Ruminação, min/kg de IMS	21,6	20,0	20,7	1,07	0,56	0,48
Ruminação, min/kg de FDNI	78,1	75,0	78,2	4,4	0,52	0,98
Ruminação, min/kg de $FDNfe_{>8}$	243,5	352,9	303,9	21,3	0,05	0,02
Ruminação, min/kg de $FDNfe_{>1.18}$	192,7	174,2	129,2	11,4	<0,01	<0,01
Mastigação, min/d	691,6	636,1	671,1	25,2	0,08	0,3
Mastigação, min/kg de IMS	30,5	28,6	29,0	1,57	0,79	0,29
Mastigação, min/kg de FDNI	110,4	107,3	109,5	6,55	0,72	0,87
Mastigação, min/kg de $FDNfe_{>8}$	343,1	503,9	426,5	30,4	0,01	<0,01
Mastigação, min/kg de $FDNfe_{>1.18}$	271,7	249,4	181,0	16,8	<0,01	<0,01
Ócio, min/d	722,7	761,6	741,6	24,3	0,32	0,34
Número de refeições, /d	9,8	9,9	9,1	0,4	0,64	0,17
Tamanho da refeição, min	20,6	21,7	21,5	1,6	0,86	0,41
Duração da primeira refeição, min	28,9	25,0	23,3	6,4	0,63	0,11

[1]Os contrastes ortogonais incluem C1 - Com Processador vs. Sem Processador e C2 - Com Processador vs. Sem Processador + Milho .

[2]FDN fisicamente efetivo acima da peneira PSPS de 8 mm.

[3]FDN fisicamente efetivo acima da peneira de PSPS de 1,18 mm.

[4]Ingestão de FDN.

[5]Mastigação = Ingestão + Ruminação.

A análise da seleção de partículas das dietas está apresentada na Tabela 11, não sendo observadas diferenças entre os tratamentos. No entanto, os animais praticaram seleção preferencial para as partículas menores (com índices médios superiores a 101) em detrimento às partículas maiores, semelhante ao que foi relatado por Leonardi e Armentano (2003). O comportamento de seleção de vacas leiteiras é dependente de vários fatores de ordem dietética (comprimento médio das partículas), produtiva (dias em lactação e produção de leite) e comportamental (tempo para ingestão).

Tabela 11. Seleção de partículas da dieta em vacas leiteiras recebendo dietas contendo silagens de milho de planta inteira obtidas por colhedora tracionada, com ou sem processamento de grãos ou adição de grão seco moído

Partícula[2]	Com Processador	Sem Processador	Sem Processador + Milho	SEM	*P*-valor[1]	
					C_1	C_2
		% do ingerido				
Grande	96,36	95,38	93,84	2,92	0,61	0,40
Media	99,37	99,77	98,8	0,69	0,57	0,14
Fina	101,37	101,17	101,80	0,65	0,40	0,53

[1]Os contrastes ortogonais incluem C1 - Com Processador vs. Sem Processador e C2 - Com Processador vs. Sem Processador + Milho.

[2]Partículas foram definidas como: Grandes (maiores que 19 mm), Media (entre 19 e 8 mm) e Fina (abaixo de 8 mm).

DeVries et al. (2011) estudaram como o comportamento de seleção muda conforme as vacas fazem a transição do pico de produção para o pico de consumo de matéria seca. Vacas com produções elevadas de leite e no pico de lactação exibiram seleção contra a fibra presente na dieta, alterando esse comportamento com o passar dos dias. Além de terem a maior produção na época de pico, as vacas mobilizam maior quantidade de reservas corporais. Isso sugere que as vacas podem ter selecionado para maximizar a digestibilidade de sua alimentação (ou seja, classificando contra a fibra da dieta) como forma de minimizar seu déficit de energia e atender as demandas da lactação. Em situações onde os animais dedicam muito tempo na seleção dos alimentos, podem também estar limitando sua capacidade de maximizar consumo, podendo ocasionar recusa de partículas longas, o que poderia melhorar a eficiência da conversão alimentar e influenciar nas produções de AGVs ruminal e pH ruminal (Yang e Beauchemin, 2007).

4.4. Conclusão

A utilização do "cracker" como forma de processamento dos grãos na colheita com forrageiras tracionadas por trator mostrou-se eficiente, com maiores níveis de glicose plasmática gerando tendência de ganho produtivo de leite 1 kg d-1 valor este semelhante ao tratamento "Sem processador + Milho" não tendo alteração do consumo diário dos animais. Influenciando também, na digestibilidade total estimada do amido e amido fecal com aumento da disponibilidade e diminuição de perda fecal de 3,45 % para 2,53 %.

Portanto, o processamento da silagem de planta inteira de milho se apresenta como forma de minimizar o impacto da elevação da inclusão de milho em dietas com silagens sem processamento, representado pelo tratamento "Sem processador + Milho", melhorando a margem líquida da dieta possibilitando melhor uso da silagem de planta inteira de milho para vacas leiteiras.

Referências

AOAC. 2000. Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International. 17th ed. Gaithersburg, USA.

Baker, S e T. Herrman. 2002. Evaluating particle size. MF-2051. Kansas State Univ., Manhattan.

Bal, M. A., R. D. Shaver, A. G. Jirovec, K. J. Shinners e J. G. Coors. 2000. Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. Journal of Dairy Science. 8:1264-1273.

Berchielli, T. T.; A. V. Pires, S. G. Oliveira. 2006. Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal, SP, 583p.

Bernardes, T. F e A. C. Rego. 2014. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. Journal of Dairy Science. 97:1852-1861.

Bernardes, T. F., J. L. P. Daniel, A. T. Adesogan, T. A. McAllister, P. Drouin, L. G. Nussio, P. Huhtanen, G. F. Tremblay, G. Bélanger e Y. Cai. 2018. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. Journal of Dairy Science. 101:4001-4019.

Calamari, L.; P. Morera, P. Bani, A. Minuti, L. Basirico, A. Vitali, U. Bernabucci. 2018. Effect of hot season on blood parameters, fecal fermentative parameters, and occurrence of Clostridium tyrobutyricum spores in feces of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 101:4437–4447.

Chaney, A. L e E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clinical chemistry 8:130–132.

Chen L., Y. Shen, C. Wang, L. Ding, F. Zhao, M. Wang, J. Fu, H. Wang. 2019. Megasphaera elsdenii lactate degradation pattern shifts in rumen acidosis models. Front. Microbiol. 10:162.

Church, D. C. 1993. The ruminant animal-Digestive physiology and nutrition. Waveland Press, Inc., Illinois-USA, 1993. Yokoyama, M. T., Johnson, K. A. Microbiology of the rumen and intestine, cap 7, p. 125-144, 1993. Ruminal fermentacion. Owens, E. N., Goetsch, A. L. cap 8, p. 145-171, 1993.

Clark, J. H.; T. H. E. Klusmeyer, M. R. Cameron. 1992. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. Journal of Dairy Science, v.75, n.8, p.2304-2323.

Cooke, K. M e J. K. Bernard. 2005. Effect of kernel processing and theoretical length of cut of corn silage on performance of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 88:310-316.

Corona, L., S. Rodriguez, R. A. Ware, R. A. Zinn. 2005. Comparative effects of whole, ground, dry-rolled, and steam-flaked corn on digestion and growth performance in feedlot cattle. Prof. Anim. Sci. 21:200–206.

Correa, C. E. S., R. D. Shaver, M. N. Pereira, J. G. Lauer e K. Kohn. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. Journal of Dairy Science. 85:3008–3012.

Counotte, G. H., R. A. Prins, R. H. Janssen, M. J Debie. 1981. Role of Megasphaera elsdenii in the fermentation of dl-[2-C]lactate in the rumen of dairy cattle. Appl. Environ. Microbiol. 42:649–655.

Crocker, L. M. Depeters, E. J. Fadel, J. G. Perez-monti, H. Taylor, S. J. Wyckoff, J. A. Zinn, R. A. 1998. Influence of processed corn grain in diets of dairy cows on digestion of nutrients and milk composition. Journal of Dairy Science, n. 81:2394-2407.

Dalle Carbonare, M. S. 2020. Processamento de grãos (KPS) da silagem de milho e aproveitamento do amido por vacas em lactação em fazendas comerciais. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná. UFP, Curitiba.

Daniel, J. L. P.; D. Junges, L. G. Nussio. 2014. Alterações na qualidade de silagens de milho durante o armazenamento. In: SIMPÓSIO: PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, Maringá. Anais... Maringá: UEM/CCA/DZO. p. 23-36.

DeVries T. J.; L. Holtshausen, M. Oba, K. Beauchemin. 2011. Effect of parity and stage of lactation on feed sorting behavior of lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 94:4039–45.

Dhiman, T. R. Bal, M. A. Wu, Z. Moreira, V. R. Shaver, R. D. Satter, L. D. Shinners, K. J. Walgenbach, R. P. 2000. Influence of mechanical processing on utilization of corn silage by lactating dairy cows. Journal Dairy Science. 83:2521–2528.

Erdman, R. A., R. W. Hemken, L. S. Bull. 1982. Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for early postpartum lactating dairy cows: effects of production, acid-based metabolism, and digestion. Journal of Dairy Science. 65:712–731.

Fernandez, J. A., C. E. Coppock, L. M. Schake. 1982. Effect of calcium buffers and whole plant processing on starch digestibility of sorghum based diets in Holstein cows. Journal of Dairy Science. 65:242–249.

Ferraretto, L. F e R. D. Shaver. 2012. Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. Prof. Anim. Sci. 28:141-149.

Ferraretto, L. F e R. D. Shaver. 2015. 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. 98:2662–2675

Ferraretto, L. F., P. M. Crump, R. D. Shaver. 2013. Effect of cereal grain type and corn grain harvesting and processing methods on intake, digestion, and milk production by dairy cows through a meta-analysis. Journal of Dairy Science. 96:533-550.

Ferraretto, L. F., R. D. Shaver, e B. D Luck. 2018. Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. Journal of Dairy Science. 101:3937–3951.

Ferreira, G e D. R. Mertens. 2005. Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. Journal of Dairy Science. 88:4414-4425.

Firkins, J. L., M. L. Eastridge, N. R. St-Pierre e S. M. Noftsger. 2001. Effects of grain variability and processing on starch utiliza-tion by lactating dairy cattle. Journal of Animal Science 79 (E. Suppl.): E218–E238.

Fredin, S.M.; Ferraretto, L.F.; Akins, M.S. Hoffman, P. C. Shaver, R. D. 2014. Fecal starch as an indicator of total-tract starch digestibility by lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, v.97, n.3, p. 1862–1871.

Grant, R. J e L. F. Ferraretto. 2018. Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. Journal of Dairy Science. 101:4111-4121.

Grouw, J. M van. 2013. Survey of starch digestibility of California corn silages. 64f. Thesis (Master of Science in Animal Science) – California State University, Fresno.

Hall, M. B. 2015. Determination of dietary starch in animal feeds and pet food by an enzymatic-colorimetric method. Collaborative study. J. AOAC Int. 98:397-409.

Hoffman, P. C., N. M. Esser, R. D. Shaver, W. K. Coblentz, M. P. Scott e A. L. Bodnar. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. Journal of Dairy Science. 94:2465–2474.

Holden, L. A. 1999. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. Journal of Dairy Science 82:1791–1794.

Hoover, W. H. e Stokes, S. R. 1991. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield. Journal Dairy Science. 74(10):3360-44.

Huntington, G. B. 1997. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. Journal of Animal Science 75:852-867.

Ireland-Perry, R. L. e C. C. Stallings. 1993. Fecal consistency as related to dietary composition in lactating Holstein cows. Journal of Dairy Science. 76:1074–1082.

Johnson, L. M. J. H. Harrison, C. Hunt, K. Shinners, C. G. Doggett e D. Sapienza. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: A contemporary review. Journal of Dairy Science. 82:2813-2825.

Johnson, L. M., J. H. Harrison, D. Davidson, J. L. Robutti, M. Swift, W. C. Mahanna e K. Shinners. 2002. Corn silage management I: Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. Journal of Dairy Science. 85:833-853.

Johnson, L. M., J. H. Harrison, D. Davidson, W. C. Mahanna e K. Shinners. 2003. Corn silage management: Effects of hybrid, chop length, and mechanical processing on digestion and energy content. Journal of Dairy Science. 86:208-231.

Kononoff, P. J. e Heinrichs, A. J. 2003. The effect of reducing alfalfa haylage particle size on cows in early lactation. Journal Dairy Science.86:1445-1457.

Kononoff, P. J. Heinrichs, A. J. Lehman, H. A. 2003. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. Journal Dairy Science.86:3343-3353.

Kononoff, P. J., A. J. Heinrichs e D. R. Buckmaster. 2003b. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the effects of moisture content on its measurements. Journal of Dairy Science. 86:1858-1863.

Kotarski, S. F., R. D. Waniska e K. K. Thurn. 1992. Starch hidrolysis by the ruminal microflora. Journal of Nutrition. 122:178–190.

Lammers, B. P., D. R. Buckmaster e A. J. Heinrichs. 1996. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. Journal of Dairy Science. 79:922-928.

Leeuw, K.J., H. Meissner, P. Henning, F. Siebrits, J. Apajalahti, A. Kettunen, 2016. Effects of virginiamycin and monensin administered alone or together with Megasphaera elsdenii strain NCIMB 41125 on in vitro production of lactate and VFA and the effects of monensin and M. elsdenii strain NCIMB 41125 on health and performance of feedlot steers. Livestock Sci. 183:54–62.

Leonardi, C e Armentano, L. E. 2003. Effect of quantity, quality and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows. Journal Dairy Science. 86:557-564.

Li, S.; E. Khafipour, D. O. Krause, A. Kroeker, J. C. Rodriguez-Lecompte, G. N. Gozho, J. C. Plaizier. 2012. Effects of subacute ruminal acidosis challenges on fermentation and endotoxins in the rumen and hindgut of dairy cows. Journal of Dairy Science. 95:294–303.

Long, M., W. Feng, P. Li, Y. Zhang, R. He, L. Yu. 2014. Effects of the acid tolerant engineered bacterial strain Megasphaera elsdenii H6F32 on ruminal pH and the lactic acid concentration of simulated rumen acidosis in vitro. Res. Vet. Sci. 96:28–29.

Lopes, J. C., R. D. Shaver, P. C. Hoffman, M. S. Akins, S. J. Bertics, H. Gencoglu e J. G. Coors. 2009. Type of corn endosperm influences nutrient digestibility in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 92:4541–4548.

Mao, S.; R. Zhang, D. Wang, W. Zhu. 2012. The diversity of the fecal bacterial community and its relationship with the concentration of volatile fatty acids in the feces during subacute rumen acidosis in dairy cows. BMC Vet. Res. 8:237.

Martin, N. P., M. P. Russelle, J. M. Powell, C. J. Sniffen, S. I. Smith, J. M. Tricarico e R. J. Grant. 2017. Invited review: Sustainable forage and grain crop production for the US dairy industry. Journal of Dairy Science. 100:9479–9494.

McAllister, T. A., R. C. PHillippe, L. M. Rode e K. J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. Journal of Animal Science 71:205–212.

McDonald P. Henderson A. R. Heron S. J. E. 1991. The biochemistry of silage, 2nd edn. Marlow, UK: Chalcombe Publications.

Mello, R. P e Dalle Carbonare, M. S. 2018. Chemical quality of corn silage in Brazilian capital of milk during nine years. In: INTERNATIONAL SILAGE CONFERENCE, 18. Bonn. Proceedings... Alemanha, 2018.

Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. Journal Dairy Science. 80:1463–1481.

Mertens, D. R. 2005. Particle size, fragmentation index, and effective fiber: Tools for evaluating the pHysical attributes of corn silages. Pages 211-220 in Proc. Four-State Dairy Nutr. Mgmt. Conf., Dubuque, IA.

Miller-Cushon, E. K. e DeVries, T. J. 2017. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. Journal Dairy Science. 100:4172-4183.

Muya, M., F. Nherera, K. Miller, C. Aperce, P. Moshidi, L. J. Erasmus. 2015. Effect of Megasphaera elsdenii NCIMB 41125 dosing on rumen development, volatile fatty acid production and blood b-hydroxybutyrate in neonatal dairy calves. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 99, 913–918.

Nasrollahi, S. M., M. Imani e Q. Zebeli. 2015. A meta-analysis and meta-regression of the effect of forage particle size, level, source and preservation method of forages on feed intake, nutrient digestibility, and performance in dairy cows. Journal of Dairy Science. 98:8926-8939.

National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington D.C.

Nocek, J.E. e S. Tamminga. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. Journal Dairy Science. 74:3598-3629.

Nussio, L. G., F. P. Campos, M. L. M. Lima. 2006. Metabolismo de carboidratos estruturais. In: Berchielli, T. T., A. V. Pires, S. G de. 2006. Oliveira. Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: Funed, p. 583.

Onetti, S. G. Shaver, R. D. Bertics, S. J. Grummer, R. R. 2003. Influence of corn silage particle length on the performance of lactating dairy cows fed supplemental tallow. Journal Dairy Science. 86:2949-2957.

Owens, F. e Soderlund, S. 2007. Ruminal and postruminal starch digestion by cattle. 13f. Pioneer Hi-Bred - DuPont Business, Johnston, Iowa.

Owens, F. N. e R. A. Zinn. 2005. Corn grain for cattle: Influence of processing on site and extent of digestion. Pages 86–112 in Proc. Southwest Nutr. Conf., Tempe, AZ. University of Arizona, Tucson, and New Mexico State University, Las Cruces.

Pryce, J. D. 1969. A modification of the Barker-Summerson method for the determination of lactic acid. Analyst 94:1151–1152.

Savoie, P., K. J. Shinners e B. N. Binversie. 2004. Hydrodynamic separation of kernel and stover components in corn silage. Appl. Biochem. Biotechnol. 113-116:41-54.

Schwab, E. C., R. D. Shaver, K. J. Shinners, J. G. Lauer, e J. G. Coors. 2002. Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. Journal of Dairy Science. 85:613–623.

Shin, J. H. Wang, D. Kim, S. C. Adesogan, A. T. Staples, C. R. 2012. Effects of feeding crude glycerin on performance and ruminal kinetics of lactating Holstein cows fed corn silage or cottonseed hull-based, low-fiber diets. Journal Dairy Science. 95:4006–4016.

Shinners, K. J., A. G. Jirovec, R. D. Shaver, e M. Bal. 2000. Processing whole-plant corn silage with crop processing rolls on a pull-type forage harvester. Appl. Eng. Agric. 16:323-331.

Silva, H.L.; A. F. S. França, F. G. C. Ferreira, A. Landim, E. R. Carvalho. 2012. Indicadores fecais de bovinos Nelore alimentados com dietas de alta proporção de concentrado. Ciência Animal Brasileira, v.13, n.2, p.145-156.

Tanigawa, T. Oosaka, I. Kawamoto, S. Hara, S. 2012. Effect of roll clearance of mechanical processing of corn silage harvested at the black-line stage of maturity on carbohydrate and protein utilization in dairy cows. Animal Science Journal. 83, 213–219.

Theurer, C. B. 1999. Invited review: summary of steam flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. Journal Dairy Science, v.82, p.1950-1959.

Theurer, C. B., J. T. Huber, A. Delgado-Elorduy e R. Wanderley. 1999. Invited review: summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 82:1950–1959.

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press. 476 p.

Van Soest, P.J., J.B. Robertson, e B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science 74:3583–3597.

Vlaeminck, B. Fievez, V. Cabrita, A. R. J. Fonseca, A. J. M. Dewhurst, R. J. 2006. Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: A review. Anim. Feed Sci. Technol. 131:389-417.

Weimer, P., L. D. S. Cabral, F. Cacite. 2015. Effects of ruminal dosing of Holstein cows with Megasphaera elsdenii on milk fat production, ruminal chemistry, and bacterial strain persistence. Journal of Dairy Sciece. 98:8078–8092.

Weiss, W. P e D. J Wyatt. 2000. Effect of oil content and kernel processing of corn silage on digestibility and milk production by dairy cows. Journal of Dairy Science. 83:351–358.

Weissbach, F. 2009. Correction of dry matter content of silages used as substrate for biogas production. Pages 483-484 in Proceedings of the 15th International Silage Conference, US Dairy Forage Research Center, Madison, WI.

Wheeler, W. E. e C. H. Noller. 1977. Gastrointestinal tract pH and starch in feces of ruminants. Journal of Animal Science . 44:131–135.

Wildman, E. E., G. M. Jones, P. E. Wagner, R. L. Boman, H. F. Troutt e T. N. Lesch. 1982. A dairy-cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. Journal of Dairy Science. 65:495-501.

Yang, W. Z. e Beauchemin, K. A. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: chewing and ruminal pH. Journal Dairy Science. 90:2826– 2838.

Zebeli, Q. Aschenbach, J. R. Tafaj, M. Boguhn, J. Ametaj, B. N. Drochner, W. 2012. Invited review: role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. Journal Dairy Science. 95:1041-1056.

Zinn, R. A., F. N. Owens, R. A. Ware. 2002. Flaking corn: Processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. Journal of Animal Science. 80:1145–1156.