

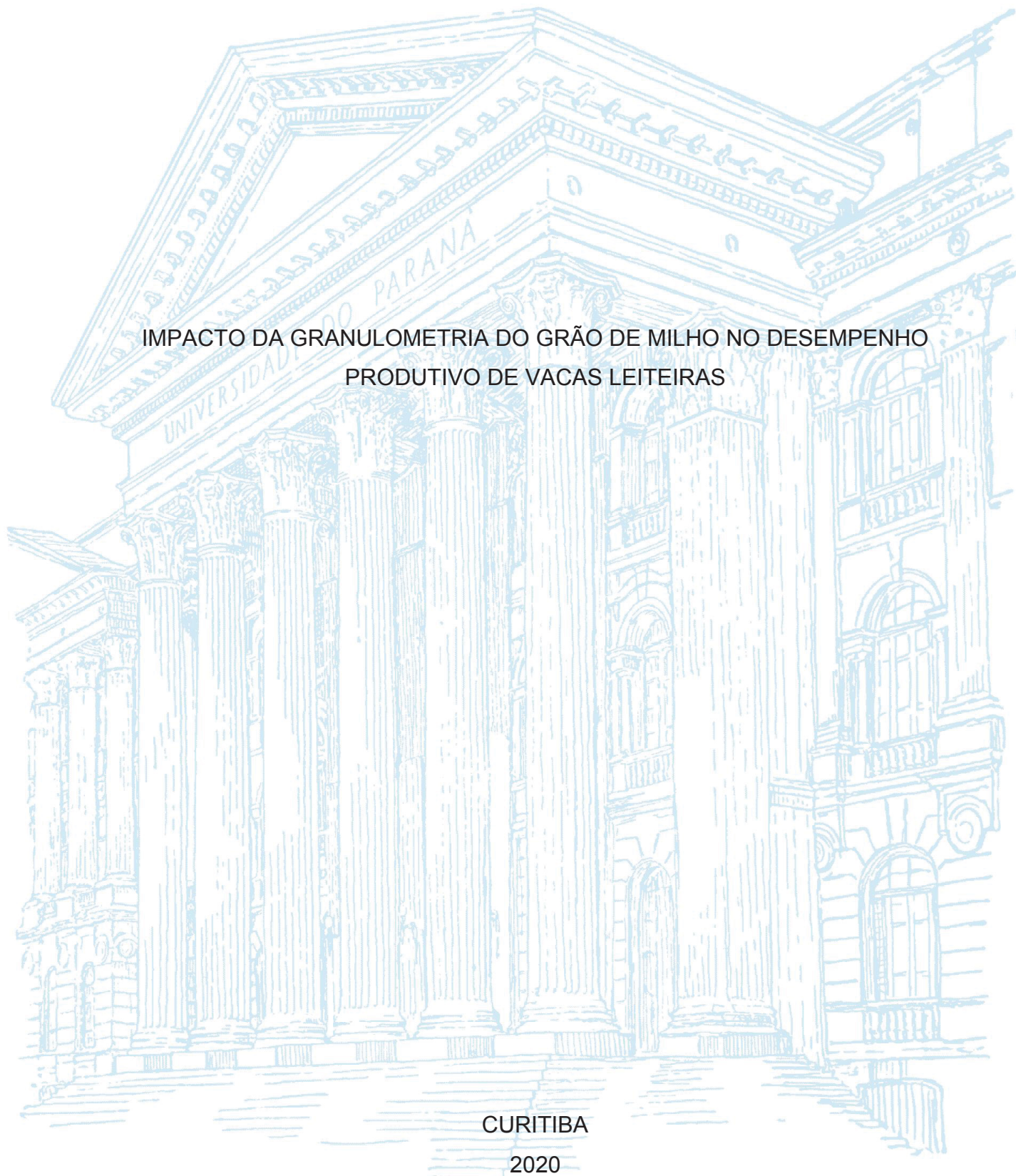
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISABELA FONSECA CARRARI

IMPACTO DA GRANULOMETRIA DO GRÃO DE MILHO NO DESEMPENHO
PRODUTIVO DE VACAS LEITEIRAS

CURITIBA

2020



ISABELA FONSECA CARRARI

IMPACTO DA GRANULOMETRIA DO GRÃO DE MILHO NO DESEMPENHO
PRODUTIVO DE VACAS LEITEIRAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Almeida

Coorientador: Prof. Ph.D. Luiz Felipe Ferraretto

CURITIBA

2020

Carrari, Isabela Fonseca

Impacto da granulometria do grão de milho no desempenho produtivo de vacas leiteiras / Isabela Fonseca Carrari. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

Orientador: Rodrigo De Almeida

Coorientador: Luiz Felipe Ferraretto

1. Bovinos de leite - nutrição. 2. Amido. 3. Granulometria. I. Almeida, Rodrigo De. II. Ferraretto, Luiz Felipe. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

Sistema de Bibliotecas/UFPR, Biblioteca de Ciências Agrárias
Fernando Moreira - CRB9/1665



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ZOOTECNIA -
40001016082P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ZOOTECNIA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **ISABELA FONSECA CARRARI** intitulada: **Impacto da granulometria do grão de milho no desempenho produtivo das vacas leiteiras**, sob orientação do Prof. Dr. **RODRIGO DE ALMEIDA**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 19 de Fevereiro de 2020.

RODRIGO DE ALMEIDA

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

JOAO LUIZ PRATTI DANIEL

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ)

ALEX MAIORKA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Aos meus pais, Artur e Marli, que sempre me apoiaram durante minha jornada, e aos meus avós, Margarida e José,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por terem me apoiado em minhas decisões incondicionalmente.

Ao meu orientador, Prof. Rodrigo de Almeida, grande profissional que não mede esforços para ajudar seus alunos.

Ao Grupo do Leite, pelas amizades, colaboração, troca de conhecimentos e churrascos; e principalmente às grandes amigas, Aline e Milaine, pois sem elas o experimento não teria chegado ao fim.

À Frísia Cooperativa Agroindustrial pelo financiamento desse projeto; aos técnicos da Frísia, Fernando Solano e Leopoldo Baptista, pela colaboração durante a realização do experimento.

Ao Sr. Jacob Zijlstra e sua família, por me receberem calorosamente em sua propriedade durante o período de experimento; também aos funcionários da Chácara Boqueirão por seus esforços durante esse período.

Meu muito obrigada!

“Somos o que fazemos, mas somos, principalmente, o que fazemos para
mudar o que somos.”

Eduardo Galeano

RESUMO

O milho é a mais importante fonte de energia na dieta de rebanhos leiteiros, devido as altas concentrações de amido. Entretanto, a utilização desse grão de cereal nem sempre é eficiente, pois muitos produtores fornecem milho com reduzida digestibilidade do amido, já que muitas vezes o processamento de moagem do milho é insuficiente para permitir que esse nutriente seja utilizado de forma satisfatória pelos animais, e com isso há uma perda em produção de leite. Este projeto objetivou avaliar o desempenho produtivo de vacas em lactação recebendo dietas com duas granulometrias do grão de milho. Foram utilizadas 50 vacas em lactação divididas em dois grupos, cada um recebendo o milho moído com granulometria grossa ou fina (915 μm e 660 μm , respectivamente), com concentrados atingindo o tamanho de partícula médio de 772 μm e 596 μm . Os resultados indicam que vacas recebendo ração mais grossa, com maior granulometria, apresentaram maior amido fecal que vacas recebendo ração mais fina, de menor granulometria (6,96 vs. 4,84%; $P < 0,01$), assim como apresentaram menor digestibilidade do amido no trato total (91,29% vs. 93,95%; $P < 0,01$). Os níveis de D-lactato foram maiores para os animais que receberam a dieta com granulometria menor (98,5 vs. 79,7 μM ; $P < 0,05$). O consumo de matéria seca também foi maior nas vacas consumindo milho de maior granulometria (22,05 vs. 21,22 kg MS/dia; $P < 0,01$). Observou-se uma tendência de maior produção de leite para as vacas recebendo a dieta de menor tamanho de partícula (36,85 vs. 37,90 kg; $P = 0,12$). Com isso, a eficiência leiteira tendeu a ser melhor para animais recebendo milho com menor tamanho de partícula (1,78 vs. 1,69; $P < 0,05$). Entretanto, as concentrações de proteína (3,34 vs. 3,31; $P = 0,52$) e de gordura (3,73 vs. 3,63; $P = 0,29$) no leite não foram afetadas pelos tratamentos, bem como as concentrações de lactose, caseína e sólidos totais ($P > 0,05$). As produções em kg destes mesmos sólidos também não foram afetadas ($P > 0,05$).

Palavras-chave: Amido. Consumo de matéria seca. Tamanho de partícula.

ABSTRACT

Corn is the most important source of energy in the diet of dairy herds due to the high concentrations of starch. However, the use of this grain is not always efficient, since many properties have low starch digestibility, since corn ground processing is often insufficient to allow this energy to be used by the cows, not being converted into milk production. It is recommended that grind of the grain reaches a mean particle size of 600 μm with a GSD < 2.0, so that fecal starch be less than 3%. It is expected that the ideal total tract starch digestibility be 97%, considering up to 95% as adequate. Values below 95% show that efficiency in the use of starch is low, and improvement measures must be taken. This project aimed to evaluate the productive performance of lactating dairy cows receiving diets with two corn grain particle sizes. Fifty dairy cows were divided into large and small corn grain particle size groups (915 μm and 660 μm , respectively), with concentrates reaching the mean particle size of 772 μm and 596 μm . The results indicate that cows fed small particle size diet had lower fecal starch than cows fed large particle size diet (6.96 vs. 4.84%; $P < 0.01$), as well as a greater total tract starch digestibility (93.95 vs. 91.29%; $P < 0.01$). D-lactate level was greater for cows fed smaller particle sizes diet (98.5 vs. 79.7 μM ; $P < 0.05$). Individual dry matter intake is also lower for cows fed small particle size concentrate (22.05 vs. 21.22 kg; $P < 0.01$). Milk yield tended to be greater for cows fed diet with smaller particle sizes (36.85 vs. 37.90 kg; $P = 0.12$). With that, milk efficiency tended to be greater for cows fed corn grain small particle size (1.78 vs. 1.69; $P < 0.05$). However, milk protein (3.34 vs. 3.31; $P = 0.52$) and milk fat concentration (3.73 vs. 3.63; $P = 0.29$) were not affected by treatments, as well as lactose, casein and total solids concentrations.

Keywords: Dry matter intake. Particle size. Starch.

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

TABELA 1. DIGESTIBILIDADE DO AMIDO NO RÚMEN, PORÇÕES INTESTINAIS E TRATO TOTAL DE GRÃOS DE MILHO SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE PROCESSAMENTO.....	16
TABELA 2. RECOMENDAÇÕES PROPOSTAS PARA AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS DE SILAGEM DE MILHO E TMR NO CONJUNTO DE PENEIRAS DA PENN STATE.	20

Capítulo 2

TABLE 1. COMPOSITION OF DIETS FED DURING EXPERIMENTAL PERIOD ¹ ...	41
TABLE 2. COMPOSITION OF CONCENTRATE FED DURING EXPERIMENTAL PERIOD.....	42
TABLE 3. CORN GRAIN PARTICLE DISTRIBUTION DURING PARTICLE SIZE ANALYSIS	42
TABLE 4. LEAST SQUARE MEANS OF PERFORMANCE OF COWS (N = 50) FED FINELY (FGC) AND COARSELY (CGC) GROUND CORN GRAIN	45

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

FIGURA 1. ANATOMIA DO GRÃO DE MILHO.....	15
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF	- Amido fecal
AGCC	- Ácidos graxos de cadeia curta
APCBRH	- Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa
CNF	- Carboidratos não fibrosos
DamidoTT	- Digestibilidade do amido no trato total
DEL	- Dias em leite
DGM	- Diâmetro geométrico médio
DPG	- Desvio padrão geométrico
FDN	- Fibra em detergente neutro
ID	- Intestino delgado
IG	- Intestino grosso
IMS	- Ingestão de matéria seca
MS	- Matéria seca
NRC	- National Research Council
NUL	- Nitrogênio ureico no leite
PV	- Peso vivo
TMR	- Total mixed ration (dieta total misturada)

LIST OF ABBREVIATIONS AND ACRONYMS

ADF	-	Acid detergent fiber
BCS	-	Body condition score
BW	-	Body weight
CP	-	Crude protein
DDGS	-	Dried distiller grains with solubles
DIM	-	Days in milk
DM	-	Dry matter
DMI	-	Dry matter intake
EDTA	-	Ethylenediamine tetra-acetic acid
FCM	-	Fat-corrected milk
FS	-	Fecal starch
MilKE	-	Milk energy output
MUN	-	Milk urea nitrogen
NDF	-	Neutral detergent fiber
NRC	-	National Research Council
PS	-	Particle size
SD	-	Standard deviation
SEM	-	Standard error of the mean
SCC	-	Somatic cell count
SCS	-	Somatic cell linear score
TTSD	-	Total-tract starch digestibility
Δ BW	-	Body weight change

SUMÁRIO

1 CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA	13
1.1 INTRODUÇÃO	13
1.2 MILHO GRÃO	14
1.3 SILAGEM DE MILHO	17
1.4 IMPACTO DA FIBRA EFETIVA SOBRE A DIGESTIBILIDADE DO AMIDO	18
1.5 AMIDO.....	21
1.6 PROCESSAMENTO DE GRÃOS.....	24
1.7 DIGESTIBILIDADE DO AMIDO EM RUMINANTES.....	26
1.8 REGULAÇÃO DO CONSUMO DE MS.....	27
1.9 AMIDO FECAL	28
1.10 CONCLUSÃO	31
1.11 REFERÊNCIAS	33
2 CHAPTER II: IMPACT OF CORN GRAIN PARTICLE SIZE ON PRODUCTION PERFORMANCE OF DAIRY COWS*	37
ABSTRACT	37
INTRODUCTION	38
MATERIAL AND METHODS	39
<i>COWS, EXPERIMENTAL DESIGN AND TREATMENTS</i>	39
<i>SAMPLE COLLECTION AND ANALYSIS</i>	42
<i>CALCULATIONS</i>	44
<i>STATISTICAL ANALYSIS</i>	45
RESULTS	45
DISCUSSION	47
CONCLUSIONS	50
ACKNOWLEDGEMENTS	50
REFERENCES	51

1 CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA

1.1 INTRODUÇÃO

O milho é a principal fonte de energia nos rebanhos leiteiros confinados e semi-confinados do Brasil, sendo que aproximadamente 75% dessa energia é oriunda do amido (NRC, 2001). Por isso, aprimorar a utilização desse nutriente pode melhorar o desempenho produtivo durante a lactação e reduzir custos com alimentação, principalmente nos períodos de altas cotações nos preços dos grãos (FERRARETTO e SHAVER, 2012).

O grão de milho comumente encontrado no Brasil possui maior proporção de endosperma vítreo, ou seja, a matriz proteica que envolve os grânulos de amido é mais resistente e dificulta o acesso de microrganismos e enzimas digestivas, reduzindo sua degradabilidade ruminal e intestinal (FERRARETTO et al., 2013). Assim, o grão seco desse cereal deve ser o mais processado, através da moagem, já que o tamanho de partícula e o processamento do grão são fatores que afetam diretamente a digestibilidade do amido. Com a melhora da digestibilidade do amido no trato total, há uma melhora no desempenho produtivo de vacas leiteiras, com aumento de produção de leite e de proteína, além da diminuição da excreção de amido fecal e da ingestão de matéria seca, resultando em maior eficiência alimentar dos animais e diminuindo possíveis desperdícios com alimentação (FERRARETTO et al., 2013)

A granulometria do grão de milho moído é avaliada de acordo com o DGM (diâmetro geométrico médio) e o DPG (desvio padrão geométrico). Com a moagem do grão, há maior disponibilidade de amido no rúmen e maior aproveitamento no

trato digestório total, uma vez que o intestino possui capacidade limitada de digestão desse carboidrato (FIRKINS et al., 2001; FERRARETTO et al., 2013).

Entretanto, esse grau de moagem do milho na nutrição de ruminantes é pouco praticado, pois diminui o volume diário de ração produzida nas fábricas de rações e aumenta os gastos energéticos com processamento. Portanto, a revisão a seguir pretende reunir informações a respeito do processamento do grão de milho e seus efeitos sobre a digestibilidade do amido, e os efeitos desta sobre o desempenho produtivo de vacas leiteiras.

1.2 MILHO GRÃO

O milho é considerado um alimento energético de grande relevância na nutrição de ruminantes, principalmente por apresentar alta concentração de amido. É incluído nas dietas de vacas leiteiras com o objetivo de atender demandas energéticas altas, geradas pelas elevadas produções de leite. Entretanto, determinar o quanto deste alimento vai ser efetivamente aproveitado depende de vários fatores, principalmente do método de processamento do grão (THEURER, 1986).

Este cereal é composto por três principais estruturas: a camada fibrosa que envolve a semente, denominada de pericarpo; o gérmen localizado na porção interna do grão, composto principalmente por proteína e óleo (PEREIRA, 2012); e o endosperma que compõe cerca de 75 a 80% do grão de milho, constituído principalmente por amido (HOFFMAN e SHAVER, 2011), conforme pode ser visto na Figura 1 a seguir.

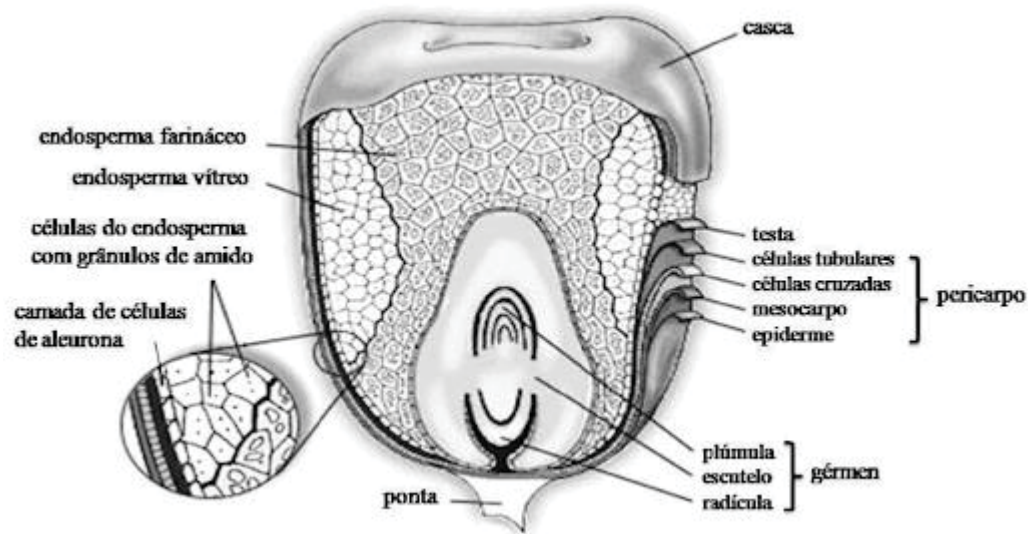


FIGURA 1. ANATOMIA DO GRÃO DE MILHO.
 Fonte: Adaptado de Britannica (1996).

Em termos nutricionais o endosperma é a porção do milho de maior relevância, pois armazena 98% do amido presente no grão (PAES, 2006). No Brasil existe a predominância de híbridos de milho com maior proporção de endosperma vítreo, caracterizado por possuir textura dura, com abundante e densa matriz proteica envolvendo os grânulos de amido (PEREIRA, 2012).

Foram compilados dados de vários estudos avaliando a digestibilidade do amido de grãos de milho submetidos a diferentes métodos de processamento e foi mensurado o aproveitamento em cada porção do trato digestório e no trato total. Conforme pode ser observado na Tabela 1, em experimentos realizados com gado de corte, o método de processamento ao qual o grão de milho é submetido tem grande impacto sobre o local e a extensão da digestão do amido. Comparando o processamento de quebra com a moagem fina, objeto do presente trabalho, é possível concluir que com a redução no tamanho de partícula, a degradação ruminal aumenta, resultando em maior aproveitamento no trato total (OWENS et al., 1986).

TABELA 1. DIGESTIBILIDADE DO AMIDO NO RÚMEN, PORÇÕES INTESTINAIS E TRATO TOTAL DE GRÃOS DE MILHO SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE PROCESSAMENTO.

Milho	Rúmen	ID	IG	DamidoTT
Quebrado	68,90	12,90	8,20	87,60
Laminado	71,80	16,10	4,90	93,20
Moído	77,70	13,70	4,30	93,50
Ensilado	86,00	5,50	1,00	94,60
Floculado	82,80	15,60	1,30	97,80

ID: Intestino Delgado; IG: Intestino Grosso; DamidoTT: Digestibilidade do Amido no Trato Total.
 Fonte: Owens et al. (1986).

Um experimento (FERRARETTO et al., 2013) avaliou os efeitos dos tipos de grãos e do processamento na DamidoTT, sendo que grãos de milho moídos na peneira de 1,5 mm apresentaram DamidoTT de 93%, e a medida que houve aumento no diâmetro das peneiras para 3,5 mm e > 5 mm, a digestibilidade passou a ser de 90 e 78%, respectivamente. Foi possível observar ainda que as máximas digestibilidades foram observadas nas que utilizaram milho grão úmido (94,2%) e para as que continham grão de milho floculado (93,9%), indicando que o processamento do grão afeta diretamente a disponibilidade de amido para os ruminantes (FERRARETTO et al., 2013).

Pereira et al. (2004) avaliaram quatro híbridos de milho, sendo dois de textura dura e dois de textura dentada. O corte foi realizado em três estágios de maturação, definido pela avaliação visual da posição da linha do leite, que se desloca em direção a base do grão com o avanço da maturidade do milho. O grão foi classificado em estádios de acordo com a posição da linha do leite: dentado inicial (DI), metade da linha do leite (ML) e na linha preta (LP). O milho duro apresentou

67,0% de vitreosidade e o dentado 44,3%. A vitreosidade do grão aumentou linearmente com o avanço da maturidade da planta, principalmente nos híbridos duros. Com 24 horas foi mensurada a degradabilidade *in situ* da MS do milho duro nos três estádios e os resultados foram 73, 65 e 19%, respectivamente, enquanto o dentado apresentou 86% no DI, 61% na ML e 42% na LP. Com isso, nota-se que o maior impacto da textura sobre a digestibilidade ocorre no estágio LP; já nos outros dois estádios, os valores foram similares. Portanto, em plantas com maturação avançada, a utilização de híbridos dentados, se comparado ao grão duro, gera maior digestão ruminal (PEREIRA et al., 2004).

1.3 SILAGEM DE MILHO

Outra forma muito utilizada de inclusão do milho na dieta de ruminantes, particularmente os bovinos leiteiros, é através do fornecimento de silagem. O processamento da silagem é geralmente realizado por colhedoras simples tracionadas por trator ou automotrizes; em ambos os casos o objetivo deve ser manter o tamanho de partícula adequado com o máximo processamento dos grãos (DIAS, 2016), o que não é uma tarefa simples.

As automotrizes possuem o sistema de processamento no qual o tamanho de partícula da fibra é mantido e os grãos são esmagados por rolos (JOHNSON et al., 1999). Entretanto, grande parte dos produtores de leite brasileiros ainda utilizam colhedoras simples tracionadas por trator para processar a silagem (BERNARDES e RÊGO, 2014). Nessas, a obtenção de grãos processados de forma satisfatória geralmente ocorre às custas da redução no tamanho de partícula da fração fibrosa, contribuindo negativamente com a capacidade desta fração em estimular a ruminação de vacas leiteiras, aumentando a probabilidade de ocorrência de acidose

ruminal subclínica e consequente depressão da gordura do leite (DIAS, 2016). Acrescentar outras fontes de fibra à dieta, como pré-secados e subprodutos, pode ajudar a contornar este problema.

O ponto de colheita impacta diretamente o valor nutricional da silagem, pois o corte tardio do milho, com teores acima de 40% de MS, está associado com a menor digestibilidade das frações grão e fibra, e o corte com MS abaixo de 30% pode apresentar perdas por efluentes, pelo alto teor de umidade presente no grão, baixo acúmulo de amido e consequente reduzido valor energético do material ensilado (DIAS, 2016).

Outro fator que pode afetar a digestibilidade do amido é o tempo de ensilagem (KUNG JR et al., 2018). Particularmente nos primeiros 3-4 meses de ensilagem, há proteólise de parte da matriz proteica que envolve os grânulos de amido e dessa forma os grãos com alta vitreosidade têm sua digestibilidade melhorada, especialmente em silagens oriundas de plantas com um estágio de maturidade avançado, pois neste momento a vitreosidade tende a ser maior (PEREIRA, 2012; ANTUNES et al., 2011).

Assim, é possível notar que o processo de ensilagem possui efeitos benéficos sobre a digestibilidade do amido, desde que realizado de forma correta, garantindo tamanho de partícula adequado à função ruminal e processamento do grão ao ponto que se tenha máxima fermentabilidade ruminal e, consequentemente, maior DamidoTT.

1.4 IMPACTO DA FIBRA EFETIVA SOBRE A DIGESTIBILIDADE DO AMIDO

Vacas leiteiras possuem exigências mínimas de FDNfe na dieta para que a saúde ruminal seja mantida. Várias são as consequências quando os requisitos

mínimos de FDNfe não são atendidos, como a redução na digestibilidade da MS, queda na porcentagem de gordura do leite, aumento da ocorrência de deslocamento de abomaso, acidose e laminite (LAMMERS et al., 1996). O NRC (2001) propôs que a ingestão mínima de FDN total na MS da dieta seja de 25%, e que 75% deste (ou 19% da MS) seja FDN proveniente de forragem (FDNf). O mesmo NRC (2001) sugeriu que à medida que ocorre a redução de 1% no teor de FDNf deve haver um aumento compensatório de 2% no FDN total. Em outras palavras, assume-se que a efetividade de subprodutos fibrosos é 50% da efetividade das fontes de fibra tradicionais, como pastagens, silagens e fenos.

Porém, essas recomendações levam em consideração apenas a composição química do alimento, podendo não expressar a real capacidade deste em manter a saúde ruminal. Com isso, Mertens (1997) descreveu a importância de se considerar também as propriedades físicas do alimento, ou seja, a proporção de FDN fisicamente efetiva, a qual está relacionada diretamente com o TP, que quando adequado, é responsável por estimular a atividade de ruminação e conseqüentemente, manter o pH ruminal por meio do tamponamento via saliva (ZEBELI et al., 2012).

A avaliação da efetividade física da FDN pode ser realizada a partir da análise de distribuição de partículas com o auxílio do conjunto de peneiras, desenvolvido por pesquisadores da Universidade da Pensilvânia, Estados Unidos. Este conjunto é composto por 3 peneiras, a primeira com crivos de 19 mm, a segunda de 8 mm e a terceira de 1,18 ou 4 mm, e um último compartimento com fundo fechado. O fator de efetividade física é obtido a partir da soma da proporção retida nas peneiras com diferentes diâmetros de crivos (HEINRICHS e KONONOFF, 2013).

A definição de qual a porção de fibra é realmente efetiva possui certa

divergência entre pesquisadores. Mertens (1997) e Kononoff et al. (2003) consideram que partículas retidas nas peneiras acima de 1,18 mm possuem efetividade física. Em contraste, Lammers et al. (1996) consideram como efetivas as frações retidas nas peneiras acima 8 mm. Zebeli et al. (2012) descreveram que níveis de FDNfe necessários para prevenir a acidose ruminal são de 31,2% FDNfe >1,18 mm ou 18,5% FDNfe > 8mm na MS da dieta. As recomendações da distribuição de partículas nas peneiras Penn State estão apresentadas na Tabela 2, para silagem de milho e TMR.

TABELA 2. RECOMENDAÇÕES PROPOSTAS PARA AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DE PARTÍCULAS DE SILAGEM DE MILHO E TMR NO CONJUNTO DE PENEIRAS DA PENN STATE.

Peneira	DP (mm)	TP (mm)	Recomendações	
			SM	TMR
Peneira 1	19	> 19	3 a 8%	2 a 8%
Peneira 2	8	8 a 19	45 a 65%	30 a 50%
Peneira 3	4	4 a 8	20 a 30%	10 a 20%
Fundo		< 4	< 10%	30 a 40%

DP = Diâmetro de Poros; TP = Tamanho de Partícula; SM = Silagem de Milho; TMR = Dieta Total Misturada

FONTE: Heinrichs e Kononoff (2013).

Entre os carboidratos não fibrosos, o amido é o único que pode escapar da fermentação ruminal em quantidades significativas, porém o quanto será fermentado ou não, é determinado pelo tipo de amido, processamento do grão, nível de ingestão e teor de FDNfe da dieta (GRANT, 2005; FIRKINS et al., 2001). A FDNfe exerce importante papel em estimular a ruminação e formar o “mat” ruminal, o qual é composto por uma camada de partículas maiores, que possuem efeito de aprisionamento sobre parte do material concentrado ingerido. Porém, quando os níveis de FDNfe se encontram abaixo do recomendado, pode ocorrer menor digestibilidade da fração de partículas sólidas, em função do aumento da taxa de passagem (ZEBELI et al., 2012). Estes mesmos autores ressaltaram que a

probabilidade de que partículas menores da ração escapem para o omaso não degradadas é reduzida quando se tem um mat ruminal mais consistente. Entretanto, não somente o TP deve ser considerado, mas também a fermentabilidade ruminal dos grãos presentes na dieta, pois esses possuem diferentes potenciais de acidificação no rúmen, uma vez que altas inclusões de amido rapidamente fermentável na dieta causam elevação no potencial de acidificação e, conseqüentemente, as exigências de FDNfe são maiores.

Zebeli et al. (2012) relataram que a redução excessiva no TP da forragem (4 a 6 mm) pode impactar negativamente a formação do mat ruminal e assim aumentar o risco de queda no pH. Em contrapartida estes mesmos autores afirmam que a redução moderada no TP (10 a 15 mm) pode ser benéfica, pois melhora a homogeneidade na mistura da TMR e dificulta a seleção de partículas no cocho.

Geralmente as práticas que levam ao aumento no consumo de fontes energéticas, como o amido, ocorre às custas da redução no teor de FDNfe da dieta; entretanto, quando essas alterações são realizadas é também observada uma redução na DamidoTT (GRANT, 2005). Dessa forma, formular dietas para vacas leiteiras de alta produção é um grande desafio, uma vez que é necessário fornecer teor de energia disponível para produção e FDNfe suficiente para manter a saúde ruminal.

1.5 AMIDO

O grão de milho possui em sua composição teores de amido de aproximadamente 75% e apresenta uma relação custo-benefício favorável em termos de energia disponibilizada para o animal, se comparado a outros grãos de cereais (FERRARETTO et al., 2013).

O amido pode ser encontrado nas plantas na forma de grânulos, classificados como simples, quando cada plastídeo contém um grânulo, caso do milho, ou composto, quando existem vários grânulos em um único plastídeo, como na aveia e no arroz (LAJOLO e MENEZES, 2006).

O amido é classificado como um carboidrato não estrutural, constituído por dois polímeros: a amilose e amilopectina. A primeira possui estrutura de cadeia linear, constituída por unidades de D-glicose conectadas por ligações α -1,4. Já a segunda é um polímero ramificado com ligações α -1,4 e ramificações α -1,6 a cada 24-30 resíduos de glicose (LEHNINGER, 2002). As proporções em que essas estruturas se encontram nas plantas varia de acordo com às fontes botânicas e de acordo com o estágio de maturação da mesma (TESTER et al., 2004).

Os polímeros de amilopectina e amilose compõem aproximadamente de 70 a 80% e 0 a 30% do amido presente nos cereais, respectivamente (WANG et al., 1998). A digestibilidade do amido está relacionada com as diferentes proporções de amilose:amilopectina, sendo que grãos com maior proporção de amilopectina possuem maior digestibilidade (ROONEY e PFLUGFERLDER, 1986), além de fatores como o processamento do alimento e as propriedades físico-químicas, como gelatinização e retrogradação (BJÖRCK et al., 1994). Entretanto, o acesso ao conteúdo de amilose e amilopectina é limitado pelo grau de rompimento do pericarpo e pelo tipo de matriz proteica presente no grão (ANTUNES et al., 2012).

O endosperma está presente no interior dos grãos de cereais e é composto em maior parte por amido e em menor parte por proteínas, sendo a principal proteína chamada prolamina. Esta compõe a matriz proteica que está externamente localizada no grânulo de amido de todos os cereais e possuem denominações específicas, sendo chamada zeína a do milho (HOFFMAN e SHAVER, 2011;

PEREIRA, 2012). A classificação das variedades existentes entre os grãos de milho ocorre a partir do endosperma; quando se tem maior quantidade de endosperma farináceo, é classificado como dentado; se possui maior quantidade de endosperma vítreo, é classificado como duro (ROONEY e PFLUGFELDER, 1986). O primeiro, por possuir menor quantidade de prolamina, apresenta maior suscetibilidade a degradação do amido (PEREIRA, 2012).

O amido também pode ser classificado de acordo com sua susceptibilidade a hidrólise enzimática, ou seja, de acordo com a velocidade que o alimento é digerido in vitro, e é dividido em três classes: rapidamente digerível, lentamente digerível e amido resistente (AR), que não sofre com a ação das enzimas digestivas (ENGLYST et al., 1992). Esta fração AR pode ser dividida em 3 tipos (ENGLYST et al, 1992; COLONNA et al., 1992):

- Tipo 1: grânulo fisicamente inacessível (grãos inteiros ou parcialmente moídos);
- Tipo 2: grânulo de amido nativo, com lenta digestibilidade devido a características próprias da estrutura cristalina;
- Tipo 3: polímero de amido retrógrado, formado após o resfriamento do amido que passou por gelatinização.

O AR pode ser definido como a soma do amido e dos produtos da sua degradação que não são digeridos e absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis e é comparado à fibra alimentar, devido a seu comportamento (LOBO e SILVA, 2003). Assim, nota-se que o amido é um constituinte muito variável no grão de milho, bem como outros grãos, afetando diretamente a digestibilidade do mesmo e, dificilmente poderá ser 100% degradado pelo ruminante.

1.6 PROCESSAMENTO DE GRÃOS

O processamento de grãos consiste em reduzir a interação entre a matriz proteica e os grânulos de amido. Os métodos utilizados podem alterar o local de digestão, as características de fermentação e a taxa de passagem (ANTUNES et al., 2011). Um dos principais efeitos gerados pelo processamento é a melhora da degradabilidade ruminal do grão que, quando maior, pode alterar o local da digestão do amido do intestino delgado para o rúmen e dessa forma, promover a melhora da digestão no trato total. A vantagem dessa alteração está relacionada com a potencial maior produção de proteína microbiana e AGCC no rúmen e maior digestibilidade intestinal da porção não degradada no compartimento ruminal (HUNTINGTON, 1997).

O processamento pode ocorrer de duas formas principais; a primeira trata-se de maneiras menos intensas de processar o grão, como a moagem, a quebra e a laminação, e a segunda refere-se a tratamentos mais intensos como a floculação, extrusão e a reconstituição (CRUZ E NUSSIO, 2002). No Brasil, o principal método de processamento do milho grão utilizado é a moagem.

O grau de moagem de um determinado grão define qual será a granulometria (tamanho de partícula após o processamento), que é expressa pelo diâmetro geométrico médio (DGM) das partículas (SCHMITT et al., 2012). Porém, apenas este parâmetro não é suficiente para determinar o nível de processamento, sendo preciso avaliar também o desvio padrão geométrico (DPG), que se refere a distribuição das partículas, ou seja, o quão uniforme estão as partículas após ocorrer a moagem (OWENS, 2005). Deseja-se parâmetros de granulometria do grão de milho para vacas leiteiras expressos em DGM e DPG ao redor de 600 μm e $< 2,0$, respectivamente (ALMEIDA e OSTRENSKY, 2017).

O nível de consumo alimentar afeta diretamente a taxa de passagem e o processamento, que por sua vez impacta na velocidade com que as partículas são degradadas no rúmen e, conseqüentemente, em todo o trato gastrointestinal (HUNTINGTON, 1997). Usualmente vacas leiteiras de mais alta produção apresentam maior consumo de MS, chegando a ingerir diariamente 3,8-4,0% do PV em MS (NRC, 2001). Estas altas taxas de ingestão são alcançadas com maior taxa de passagem, o que pode afetar a digestibilidade ruminal. Assim, o adequado processamento dos grãos de cereais é ainda mais relevante na alimentação de rebanhos e animais mais produtivos.

O processamento aumenta a disponibilidade do amido para fermentação e, conseqüentemente, a produção de AGCC e em particular de propionato, o que até certo ponto é benéfico. Entretanto, essa maior produção de AGCC no rúmen pode contribuir para a ocorrência de acidose ruminal subclínica e clínica, devido à queda de pH causada pela rápida fermentação, que por sua vez causa a redução na digestibilidade dos carboidratos estruturais da dieta e no consumo de matéria seca pelo ruminante (ANTUNES et al., 2011).

A eficiência de utilização do amido do alimento pode ainda ser impactada positivamente pela associação dos processos de aplicação de calor e redução do tamanho de partícula, uma vez que aumenta a taxa e a extensão da fermentação do amido no rúmen e diminui a quantidade de amido disponibilizada para a digestão no intestino delgado (MATHISON, 1996).

Os métodos de processamento possuem diferentes eficiências quando comparados entre si em um mesmo tipo de grão, porém o que determina qual será de fato o processamento utilizado é a relação custo-benefício, tanto por parte da fábrica de rações quanto pelos rebanhos atendidos.

1.7 DIGESTIBILIDADE DO AMIDO EM RUMINANTES

A degradação ruminal do amido é realizada em maior proporção por bactérias amilolíticas, responsáveis por realizar a quebra das ligações α -1,4 e α -1,6, presentes nas moléculas de amilose e amilopectina (HUNTINGTON, 1997). De acordo com o NRC (2001), diversos são os fatores que podem influenciar a taxa e a extensão com que os carboidratos não fibrosos (CNF) são fermentados no rúmen. Entre eles podemos citar os efeitos do amido rapidamente degradável sobre a digestão da fibra, o quanto de fibra em detergente neutro (FDN) é substituída por CNF na dieta, local da digestão do amido, estado fisiológico do animal, além dos métodos de processamento e armazenamento utilizados, que de acordo com Grant (2005), podem também ser aplicados a digestão do amido, visto que este compõe a maior parte do conteúdo de CNF da dieta.

O amido compõe uma fração significativa da dieta de vacas em lactação, variando de menos de 20% para as de menor produção a mais de 30% para as de alta produção. A fermentação ruminal é responsável por degradar a maior parte dos carboidratos da dieta, porém pode variar de menos de 50% a mais de 90% de acordo com a taxa de fermentação e a retenção de partículas no rúmen (GRANT, 2005). Já a fração não fermentada no rúmen sofre digestão enzimática no intestino delgado ou alcança o intestino grosso, onde pode ser parcialmente fermentada e produzir ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), porém a maior parte é excretada nas fezes (VAN SOEST, 1994).

A digestão do amido no intestino delgado ocorre principalmente pela enzima α -amilase, produzida no pâncreas. A digestão nesta porção do trato apresenta potencialmente melhor aproveitamento do amido quando comparado a fermentação

que ocorre no rúmen, uma vez que esta última proporciona a produção de calor e gases, podendo significar a perda de 12 a 20% da energia ingerida (ORSKOV, 1986). Porém, é importante considerar que o intestino delgado possui capacidade limitada de digerir amido, devido a fatores como o tempo de permanência insuficiente para hidrólise deste constituinte, produção deficitária de enzimas digestivas, incapacidade do fígado em metabolizar a glicose absorvida, e presença da matriz proteica englobando os grânulos de amido, limitando fisicamente o acesso das enzimas (OWENS et al., 1986). Dessa forma, os métodos de processamento dos grãos utilizados devem priorizar a fermentação ruminal, a fim de maximizar a digestão no trato total.

1.8 REGULAÇÃO DO CONSUMO DE MS

A teoria de regulação física-fisiológica-psicogênica é uma das mais difundidas para explicar o controle da ingestão de matéria seca pelos animais (MERTENS, 1994). O consumo em ruminantes pode ser explicado por três mecanismos que interagem entre si: físico, fisiológico e psicogênico, determinando o perfil alimentar do animal em diferentes situações.

Fisicamente, as regulações estão relacionadas com a degradação e o fluxo do alimento pelo aparelho gastrointestinal, principalmente o rúmen. A hipertonicidade e a distensão do retículo-rúmen (RR) geram limitação física, através do peso e volume da digesta, já que nestes compartimentos estão presentes receptores de tensão e mecanorreceptores. Esses receptores são estimulados química e mecanicamente, além da distensão do RR, que envia sinais de saciedade ao sistema nervoso central (SNC), regulando o consumo, principalmente em dietas com alto teor de FDN (BULL et al., 1976; ALLEN, 1996).

Fisiologicamente, há evidências de que em dietas com alta densidade energética, a regulação do consumo se dá pela concentração de ácidos graxos voláteis (AGV) no fluido ruminal, nas veias ruminais e no fígado, além de outros metabolitos como a colecistoquinina, que atua como regulador da saciedade (GROVUM, 1993; VAN SOEST, 1994). Com isso, Allen, Bradford e Oba (2009) desenvolveram a Teoria da Oxidação Hepática (*Hepatic Oxidation Theory* – HOT) para explicar a redução do consumo em dietas com carboidratos rapidamente fermentáveis, como o amido.

A maior fermentabilidade do amido nas dietas aumenta a produção de AGV por unidade de matéria orgânica fermentada no rúmen e a proporção de propionato entre os AGV produzidos, um substrato extensivamente utilizado pelo fígado de ruminantes. Se o fluxo de propionato para o fígado ultrapassa a capacidade de gliconeogênese, este substrato é oxidado, aumentando o status energético do fígado, gerando um sinal de saciedade para o cérebro encerrar a refeição (ALLEN, BRADFORD e OBA, 2009).

E por último, a regulação psicogênica se dá por fatores inibidores ou estimuladores em relação ao ambiente ou ao próprio alimento, como, por exemplo, fotoperíodo, temperatura, odor, sabor e textura (FISCHER et al., 1997).

1.9 AMIDO FECAL

A digestibilidade do amido pode ser grosseiramente monitorada diretamente, através da observação da presença de grãos inteiros ou quebrados nas fezes, que em grande quantidade indicam que a digestão do amido está sendo insatisfatória; portanto, é necessário que a dieta e os métodos de processamento sejam revistos. Atualmente é proposta a mensuração quantitativa do amido fecal (AF), sendo por

interpretação direta deste resultado ou a utilização em equações que predizem a DamidoTT (FREDIN, 2015). Vale salientar que este método pode ser utilizado para dietas comuns de vacas leiteiras, com teores de 20 a 35% de amido; para dietas com valores mais altos, como por exemplo dietas de alto grão para gado de corte confinado, estas interpretações não são válidas, já que a perda de grãos via fezes é muito elevada.

Recomenda-se que os teores de amido fecal sejam inferiores a 3%, entretanto valores entre 3 a 5% são aceitáveis, pois estima-se que a cada 1% de AF acima de 5%, a produção de leite pode reduzir em 0,45 kg de leite (FERGUSON, 2003).

Para interpretar o teor de AF de outra forma, foram avaliados 8 experimentos contendo 30 dietas e 564 vacas Holandesas em lactação, com dias em leite médio de 151 dias, sendo todas as dietas fornecidas na forma de TMR. Foram coletadas amostras individuais das fezes de cada animal e da TMR, utilizando marcadores internos e externos e mensurando o teor de amido nas sobras, a fim de corrigir o amido oferecido para o amido efetivamente consumido. As dietas apresentaram teor médio de amido de 27% da MS (mínimo de 19% e máximo de 35%). A equação desenvolvida demonstrou alta correlação entre DamidoTT e o AF de acordo com a seguinte equação: $\% \text{ DamidoTT} = (100\% - (1,25 \times \% \text{ AF}))$ ($R^2 = 0,94$) (FREDIN et al., 2014). Portanto, 94% da variação na DamidoTT pode ser explicada através da análise de AF, demonstrando que, com rebanhos recebendo dietas com base em silagem de milho, estimar a DamidoTT a partir do teor de amido presente nas fezes é um parâmetro robusto e preciso.

Valores maiores ou iguais a 98% na estimativa da DamidoTT, significam que a digestibilidade está sendo muito eficiente, enquanto que valores entre 95% e 98% a

classificam como adequada. Porém, se os valores de $D_{amidoTT}$ forem menores que 95%, devem ser tomadas medidas adequadas para melhorar este índice (FREDIN, 2015). Alternativas como a moagem mais fina do grão, adição de grãos floculados a vapor e inclusão de grão úmido podem beneficiar a digestibilidade. Portanto, monitorar a digestibilidade do amido e por vezes substituir a fonte deste, é de grande relevância, principalmente quando a produção possa estar limitada pelos níveis de energia presentes na dieta.

Um estudo substituiu o grão de milho por polpa de beterraba na dieta de vacas leiteiras com o objetivo de reduzir o teor de amido das dietas e identificar quais os efeitos sobre os parâmetros produtivos. As dietas continham teores de amido de 35, 31, 27 e 18% de amido na porcentagem de MS e foi observado que à medida que ocorreu a redução no amido dietético ocorreu também a diminuição do consumo de MS, da produção de leite e da porcentagem de proteína no leite (VOELKER e ALLEN, 2003).

O amido dietético geralmente encontra-se em níveis altos, em muitos casos superiores a 28% da MS total, nas dietas de vacas de alta produção, a fim de suprir a elevada necessidade energética desses animais. Contudo, a utilização de dietas de baixo amido tem sido estudada nos últimos anos, devido a efeitos secundários de sua utilização, como a melhora na digestibilidade da FDN e da saúde ruminal, além do aumento na porcentagem de gordura do leite (FREDIN, 2015).

Firkins et al. (2001) avaliaram o impacto da digestibilidade do grão de milho no desempenho produtivo de vacas leiteiras e foi constatado que o aumento da digestibilidade do amido proporciona aumento na produção de leite e proteína. Entretanto, o teor de gordura é reduzido em porcentagem, porém, em valores numéricos aumenta devido a maior produção de leite.

A utilização de dietas de baixo amido a partir da substituição parcial do milho por fibra de alta digestibilidade pode ser realizada, porém deve-se avaliar a viabilidade econômica dessa prática, pois em épocas em que a cotação do milho é favorável, a realização desse tipo de dieta pode não apresentar uma relação custo-benefício favorável (SHAYER, 2009). Isto é particularmente importante no mercado brasileiro de insumos para bovinos, onde todos os subprodutos fibrosos que podem potencialmente substituir o milho grão, têm suas cotações atreladas pelo preço do milho a época.

Estimar a DamidoTT a partir do AF apresenta limitações, pois existe variação da concentração de AF entre os animais de um mesmo rebanho e também devido à falta de padronização dos métodos de amostragem. Esta avaliação também não identifica qual é a fonte de amido indigerível, pois o resultado está relacionado a ingestão total do amido (HOFFMAN e SHAYER, 2011). Portanto, torna-se necessário o desenvolvimento de maiores estudos a fim de solucionar os desafios encontrados para mensuração da DamidoTT.

1.10 CONCLUSÃO

A digestibilidade do amido pode ser um fator de grande impacto na lucratividade da propriedade, visto que pode afetar diretamente a produção de leite e também reduzir custos com a alimentação e, quando adequada, pode reduzir desperdícios.

O processamento do grão afeta diretamente a digestibilidade do amido no trato total, sendo que o milho melhor processado gera uma melhor digestibilidade no rúmen e, conseqüentemente, no trato total. No Brasil, e particularmente na região Sul do país, a moagem do milho é o tipo de processamento mais utilizado, e por isso

o grau de moagem desse grão deve ser alto, ou seja, a granulometria deve ser a mais baixa possível.

Entretanto, ainda existem poucos estudos que relatam quais os efeitos positivos e negativos da baixa granulometria na produtividade e metabolismo de vacas leiteiras, e mais estudos precisam ser realizados.

1.11 REFERÊNCIAS

- ALLEN, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forage by ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 74, p.3063-3075, 1996.
- ALLEN, M. S.; BRADFORD, B. J.; OBA, M. Board-invited review: the hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 5, p. 3317-3334, 2009.
- ANTUNES, R.C.; RODRIGUEZ, N.M.; SALIBA, E.O.S. Metabolismo dos carboidratos não estruturais. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 2 Ed. Jaboticabal-SP, FUNEP. 2011. p.239-260.
- BERNARDES, T.F.; RÊGO, A.C. Study on the practices of silage production and utilization on Brazilian dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.97, p.1852-1861, 2014.
- BJÖRCK, I. et al. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 59(suppl), p.699S-705S, 1994.
- BULL, L. S.; BAUMGARDT, B. R.; CLAURY, M. Influence of caloric density on energy intake by dairy cows. **Journal of Animal Science**, v. 6, n. 59, p.1078-1086, 1976.
- COLONNA P, LELOUP V, BULÉON A. Limiting factors of starch hydrolysis. **European J. Clin. Nutrition**, v. 46, p17-32. 1992.
- CRUZ, G.M.; NUSSIO, C.M.B. Sorgo na alimentação de bovinos. In: II Simpósio sobre Ingredientes na Alimentação Animal CBNA, 2002, Uberlândia-MG. **Anais...** Minas Gerais: Embrapa. Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. p.91 -104. DANES, M.A.C. **Será que meu processo de mistura da ração total está eficiente e consistente?** Disponível em: < <https://www.milkpoint.com.br/radartecnico/nutricao/sera-que-meu-processo-de-mistura-da-racao-total-estaeficiente-econsistente-82236n.aspx> >. Acesso em: 13 out. 2018.
- DIAS, S.G.J. **Processamento de silagem de milho e suplementação de vacas leiteiras com enzimas fibrolíticas**. 180f. Tese (Doutorado em Ciências Veterinárias), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2016.
- ENGLYST, H.N.; KINGMAN, S.M.; CUMMINGS, J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European J. Clin. Nutrition**, v. 46, p. 33-50. 1992.
- FERGUSON, J. D. Monitoring feeding programs on dairy farms. **Proceedings of Nutrition and Management of Dairy Cattle**. Consorzio Ricerca Fileria Lattiero Casearia Regione Siciliana. p.3-7, 2003.

FIRKINS, J.L. et al. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. **Journal of Animal Science**, v.79, (E. Suppl.), p.218-238, 2001.

FREDIN, S.M. et al. Fecal starch as an indicator of total-tract starch digestibility by lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.97, p.1862-1871, 2014.

FREDIN, S.M. How to get more out of dietary starch and low starch diets. In: Proc. 77th Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. 2015, Ithaca, NY. **Proceedings...** 2015.

FERRARETTO, L. F. e R. D. SHAVER. Meta-analysis: Impact of corn silage harvest practices on intake, digestion and milk production by dairy cows. **Prof. Anim. Sci.** v.28, p.141–149, 2012.

FERRARETTO, L.F.; CRUMP, P.M.; SHAVER, R.D. 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**, v.96, p.533-550, 2013.

FERRARETTO, L.F. Impact of starch content and digestibility in dairy cattle diets. In: 28th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. 2017, Gainesville, Florida. **Proceedings...** 2017, p.112.

FISCHER, V; DESWYSEN, A. G.; DÈSPRES, L. Comportamento ingestivo de ovinos recebendo dieta à base de feno durante um período de seis meses. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, p.1032-1038, 1997.

FRÍSIA COOPERATIVA AGROINDUSTRIAL. Disponível em: < <http://www.frisia.coop.br/pt-BR/Paginas/historia.aspx> >. Acesso em: 01 out. 2018.

GRANT, R. Optimizing starch concentrations in dairy rations. In: Tri-State Dairy Nutrition Conference, 2005, Fort Wayne, IN. **Proceedings...** 2005, p. 73-79.

GROVUM, W. L. Apetito, sapidez y control del consumo de alimentos. In: Church, D. C. (Ed.). **El Ruminante: fisiología digestiva y nutrición**. Zaragoza. Editorial Acribia, p.225-241, 1993.

HARMON, D.L. Nutritional regulation of post ruminal digestive enzymes in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.2102-2111, 1993.

HEINRICHS, J.; KONONOFF, P. The Penn State Particle Separator. Penn State Extension, University Park, PA, v.186, p.1-8, 2013.

HOFFMAN, P.; SHAVER, R. Improving and evaluating starch digestibility for lactating dairy cows. In: Four-State Dairy Nutrition and Management Conference. 2011. **Proceedings...** 2011, p.32.

HOFFMAN, P.C. et al. A query for effective mean particle size in dry and high moisture corns. **Journal of Dairy Science**, v.95, p.3467-3477, 2012.

HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. Studies on in situ degradation of feeds in the rumen: 1. Effect of species, bag mobility and incubation sequence on dry matter disappearance. **Anim. Feed Sci. and Techn.**, v.64, p.227-241, 1997.

JOHNSON, L. et al. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. **Journal of Dairy Science**, v.82, p. 2813-2825, 1999.

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

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

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 648p. 2006.

LAMMERS, B.P.; BUCKMASTER, D.R.; HEINRICH, A.J. A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, v.79, p.922-928, 1996.

LOBO, A.R.; SILVA, G.M.L. Amido resistente e suas propriedades físico químicas. **Revista de Nutrição**, v. 06, nº2. 2003.

MATHISON, G. W. Effects of processing on the utilization of grain by cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 58, p. 113-125, 1996.

MERTENS, D. Nonstructural and structural carbohydrates. In: Van Horn, H. H; C. J. Wilcox (Eds). **Large Dairy Herd Management**. Am. Dairy Science Association, Champaign, IL, p.219-235, 1992.

MERTENS, D.R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, p.1463-1481, 1997.

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

OWENS, F. Corn grain processing and digestion. *In*: 66th Minnesota Nutrition Conference, 2005, St. Paul, MN. **Proceedings...** 2005, p.20-21.

PAES, M.C.D. Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho. **Circular Técnica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Minas Gerais, 2006.

PEREIRA, M.N. Milho reidratado e ensilado na alimentação de vacas leiteiras. **Jornal Holandês**, p.22-30, 2012.

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

SHAVER, R.D. Improving starch digestibility in dairy cows: Opportunities with low starch diets. *In*: Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop, Grantville, PA. **Proceedings...** 2009, p.17.

SILVA R.A. et al. Evaluation of apparent starch digestibility in commercial dairy herds. *In*: Journal of Animal Science, Orlando, Flórida. **Proceedings...** 2015.

SOEST, P.J.V. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 Ed. New York: Cornell University Press, 1994. p.35-37.

SCHMITT, C.I. et al. Granulometria do milho na amostra natural x amostra seca. *In*: 6ª Jornada de Iniciação Científica Embrapa; SIPEX – II Seminário de Pesquisa e Extensão da UnC. 2012, Concórdia-SC. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2012.

TESTER, R.F. et al. Starch - composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v.39, p.151-165, 2004.

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

VALADARES, S.C.F.; PINA, D.S. Fermentação Ruminal. *In*: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de Ruminantes**. 2 Ed. Jaboticabal-SP, FUNEP. 2011. p.161 -189.

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

VOELKER, J.A.; ALLEN, M.S. Pelleted beet pulp substituted for high-moisture corn: 1. Effects on feed intake, chewing behavior, and milk production of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.86, p.3542-3552, 2003.

WANG, T.L.; BOGRACHEVA, T.Y.; HENDLEY, C.L. Starch: as simple as A, B, C? **Journal of Experimental Botany**, v.49, p.481-502, 1998.

ZEBELI, Q. et al. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v.95, p.1041-1056, 2012.

2 CHAPTER II: IMPACT OF CORN GRAIN PARTICLE SIZE ON PRODUCTION PERFORMANCE OF DAIRY COWS*

*Written using *Journal of Dairy Science*® Instructions to Authors

Impact of corn grain particle size on performance of dairy cows by Carrari *et al.* An adequate milling of corn grain fed to dairy cows is a key to improve rumen and total-tract starch digestibility. Cows fed concentrate based on ground corn grain with small particle size have low fecal starch and, consequently, a great total-tract starch digestibility. Besides that, dairy cows fed corn with small particle size tend to have higher milk yield with lower dry matter intake, improving dairy cows milk efficiency.

Running head: CORN GRAIN PARTICLE SIZE FOR DAIRY COWS

Impact of corn grain particle size on production performance of dairy cows

I. F. Carrari¹, M. Poczynek¹, A. M. Fillus¹, F. S. Baptista², L. B. Los², L. F. Ferraretto³, R. Almeida^{*1}

¹ Department of Animal Science, Federal University of Paraná, Curitiba, PR, Brazil 80035-050

² Frísia Cooperativa Agroindustrial, Carambeí, Paraná, Brazil 84145-000

³ Department of Animal Science, University of Florida, Gainesville 32611

*Corresponding author: ralmeida@ufpr.br

ABSTRACT

Corn physical form might improve the cow's performance and contribute to reduce costs in dairy farms, increasing the total-tract starch digestibility and achieving the requirements of high-producing dairy lactating cows. The objective of this study

was to evaluate the productive performance of dairy cows fed with two different ground corn grain particle sizes. Lactating Holstein cows (n=50; 10 primiparous and 40 multiparous), averaging (mean \pm standard deviation, SD) 658 \pm 64 kg of BW, 38.8 \pm 7.3 kg of milk/d, and 155 \pm 80 DIM, were fed diets with finely grounded corn grain (FGC) or coarsely grounded corn grain (CGC) in a randomized block design with a 28-d treatment period. The ground corn had a particle size difference of 255 μ m; 915 μ m (finely grounded) and 660 μ m (coarsely grounded). Dry matter intake (DMI) was lower ($P < 0.01$) for cows fed FGC diet (22.05 vs. 21.22 kg/d). Fecal starch (FS) was greater ($P < 0.01$) for cows fed CGC diets (6.96 vs. 4.94%), whereas D-lactate plasma concentrations were higher for cows fed FGC diets (98.5 vs. 79.7 μ M; $P < 0.05$). Milk yield tended to be greater ($P = 0.12$) for cows fed FGC diets (37.9 vs. 36.8 kg/d). With higher milk yield and lower DM intake, CGC-treated cows tended to have ($P = 0.15$) higher milk efficiency (1.78 vs. 1.69). Milk protein and fat contents were not affected ($P > 0.05$) by treatments, as well as other milk solids. The adoption of smaller corn grain particle size improves starch availability and decreases fecal starch, improving total-tract starch digestibility and, consequently, improves DMI and tend to increase milk production and efficiency.

Keywords: dry matter intake, milk yield, starch digestibility

INTRODUCTION

Corn is the main source of energy in many dairy herds, particularly the intensive ones, with approximately 75% of its energy coming from starch (NRC, 2001). Therefore, improving the use of this nutrient can improve performance during lactation and reduce feed costs, especially during periods of high grain prices (Ferraretto and Shaver, 2012).

Reducing the corn grain mean particle size increases starch digestibility (Moe and Tyrrell, 1977), by increasing the surface area for bacterial attachment at rumen and enzymatic degradation post-rumen (Huntington, 1997). Dietary factors, like starch digestibility, could also affect dry matter intake (Allen et al., 2009).

The objective of this experiment was to evaluate the influence of two different particle sizes of ground corn grain on productive performance of dairy cows. We hypothesized that small particle sizes could increase milk yield and milk protein concentration, decrease fecal starch and dry matter intake, improving milk efficiency.

MATERIAL AND METHODS

Cows, experimental design and treatments

Experimental procedures were approved by the Animal Research Ethics Committee of the Federal University of Paraná, with protocol number 010/2019.

Fifty Holstein dairy cows were blocked based on parity, milk yield in the covariable period and DIM, and randomly allocated in two treatments, with different corn grain particle size. Mean BW, milk yield, and DIM for cows (mean \pm SD) were 658 ± 64 kg, 38.8 ± 7.3 kg/d, and 155 ± 80 , respectively, at the beginning of the experimental period. The trial consisted of a 28-d treatment period when experimental diets were fed. Cows were fed a common diet, with CGC grain, before the beginning of the treatment period.

Cows were housed in individual tie-stalls in the same barn, with controlled temperature of 18.5°C and humidity of 74%, and milked three times daily (0700, 1400 and 2300 h). Water was available ad libitum and forage feed was offered twice daily (0900 and 1800 h) at 110% of expect intake based on intake of the previous day. Concentrate was offered four times daily (0900, 1300, 1800 and 0000h). Tie-stalls

were equipped with wooden side panels to prevent other cows from stealing feed from their counterparts.

During a 28-d treatment period, cows were fed finely ground corn grain (FGC) or coarsely ground corn grain (CGC) concentrates, which were formulated to be markedly different in corn grain particle size (915 μm and 660 μm , with a GSD of 1.9 and 1.8, respectively). The composition of FGC and CGC diets were exactly the same. Ingredients and nutrients composition of the diet fed during the experimental period are shown in Table 1. Ingredients composition of the concentrate fed during the experimental period are shown in Table 2. Diets were adjusted for changes in forage DM concentration once weekly to maintain the desired composition. Distribution of corn grain particle size during the particle size analysis are shown in Table 3.

To reach the particle sizes used during this experiment, a *Van Aarsen*[®] hammer mill with 3mm sieves and 240 hammers was used to process the corn grain. The minimum RPM was 1,100 and the maximum was 1,750 (FGC was milled with higher RPM). The mill yield was 30% for coarsely corn grain (915 μm), and 100% for finely corn grain (660 μm).

TABLE 1. COMPOSITION OF DIETS FED DURING EXPERIMENTAL PERIOD¹

Item	Diet	
	FGC	CGC
Ingredient, % of DM		
Corn silage	36.8	36.8
Barley silage	6.70	6.70
Ryegrass haylage	9.30	9.30
Concentrate	37.2	37.2
Ground Corn Grain PS, μm	660	915
GSD ²	1.90	1.81
Wet brewer grain	3.30	3.30
Cottonseed, whole	5.80	5.80
Wheat straw	0.85	0.85
Methionine supplement ³	0.05	0.05
Nutrient, % of DM ⁴		
DM	40.0	40.0
NDF	41.4	41.4
peNDF, > 8mm	21.1	21.1
ADF	22.5	22.5
CP	16.2	16.2
RDP	9.91	9.91
RNDP	6.29	6.29
MP	40.5	40.5
NFC	38.5	38.5
Starch	26.1	26.1

¹ Nutrient composition was determined from feed ingredients sampled during the last 5 d of 28-d treatment period.

² Geometric standard deviation

³ Smartamine by Adisseo®

⁴ DM = dry matter; NDF = neutral detergent fiber; NDFe = effective neutral detergent fiber; ADF = acid detergent fiber; CP = crude protein; RDP = rumen degradable protein; RNDP = rumen non-degradable protein; MP = metabolizable protein; NFC = non-fiber carbohydrate.

TABLE 2. COMPOSITION OF CONCENTRATE FED DURING EXPERIMENTAL PERIOD

Item	Diets	
	FGC	CGC
Ingredient, % DM		
Corn grain, ground	39.00	39.00
Corn grain PS, μm	660	915
Soybean meal	28.08	28.08
Soybean hulls	15.01	15.01
DDGS	6.93	6.93
Malt root	5.19	5.19
Sodium bicarbonate	2.22	2.22
Limestone	2.22	2.22
Monocalcium phosphate	0.33	0.33
Vitamin and mineral mix ¹	0.55	0.55
White salt	0.22	0.22
Mycotoxins' adsorbent ²	0.11	0.11
Sulfur	0.11	0.11
Ionophores ³	0.02	0.02
Live yeast ⁴	0.01	0.01

¹ 190.00 g/kg Ca, 60.0 g/kg P, 20.00 g/kg Mg, 20.00 g/kg S, 15.00 mg/kg Co, 700.00 mg/kg Cu, 1,600.00 mg/kg Mn, 2,500.00 mg/kg Zn, 19.00 mg/kg Se, 40.00 mg/kg I, 400,000.00 UI/kg vit A, 2,400.00 UI/kg vit E, 100,000.00 UI/kg vit D3.

² Mastersorb Gold by GRASP®

³ Rumensin 200™ by Elanco Brasil®

⁴ Levucell SC by Lallemand Animal Nutrition®

TABLE 3. CORN GRAIN PARTICLE DISTRIBUTION DURING PARTICLE SIZE ANALYSIS

Particle size distribution ¹	Screen size, μm	Particle Size Type	
		Finely Ground (660 μm)	Coarsely Ground (915 μm)
ABNT N°			
5	4000	0	0
10	2000	1	1
16	1200	10	20
30	600	34	37
50	300	40	35
100	150	12	6
Plate	37	3	1

¹ ABNT sieves (Zanotto and Bellaver, 1996)

Sample collection and analysis

Cows were forage fed twice a day and orts were removed and weighed before next feeding. Daily DMI for individual cows was calculated as feed delivered daily minus daily refusals times daily DM content. Milk yield was recorded by a milk meter (Ezi Test – True Test®), and milk samples were obtained from 15 consecutive milkings in the last 5 days of treatment period (d 24, 25, 26, 27 and 28). Milk samples were analyzed for fat, protein, lactose, casein, total solids, SCC and milk urea

nitrogen with infrared spectroscopy (AOAC, 1990; method 972.160) by Associação Paranaense de Criadores de Bovinos da Raça Holandesa (APCBRH – Curitiba, PR, Brazil). Body condition score was determined on a 5-point scale with 0.25 increments, where 1 = thin and 5 = fat, as described by Wildman et al. (1982) by 2 trained investigators and recorded in the covariable period and at end of experimental period. Body weight was also measured in the covariable period and at the end of experimental period, after morning milking.

Samples of feed ingredients were obtained once weekly, and during the last 5 d of experimental period. Samples of total diet andorts were weekly collected to determine the nutrient profile of the diets. All samples were frozen after collection until analysis. Samples were dried in a forced-air oven (135°C for >72h) before grinding through a Willey mill (1-mm screen; Arthur H. Thomas Co., Philadelphia, PA).

Forage samples were analyzed for DM, (Goering and Van Soest, 1970; AOAC International, 2000, method 930.15), CP (AOAC International, 2000, method 990.03), ADF (AOAC International, 2000, method 973.18), NDF (Van Soest et al., 1991), ether extract (AOAC International, 2000, method 2003.05), ash (AOAC International, 2000, method 942.05), Ca and P. Total diet andorts samples were analyzed for CP (AOAC International, 2000, method 990.03), ADF (AOAC International, 2000, method 973.18) and NDF (Van Soest et al., 1991).

Blood samples were collected once on d 26, by venipuncture of the caudal vein into a vacuum tube containing sodium fluoride as antiglycolytic and potassium EDTA as anticoagulant for plasma (VACUETTE do Brazil, Campinas, SP, Brazil). Tubes were centrifuged at 3,000 × g for 10 min to separate the plasma, which was then stored at -20°C for subsequent analysis. The acidosis indicator (D-lactate) were

determined using a D-Lactate colorimetric assay (commercial kit from Sigma-Aldrich®) at Enzymology Laboratory of Federal University of Lavras.

Rectal grab samples from individual cows were collected once from each cow on d 26. Fecal samples were dried at 60°C for 48 to 72 h in a forced-air oven and ground through a 1-mm screen with a Wiley mill (Arthur H. Thomas, Philadelphia, PA; Bal et al., 1997). Starch concentrations were analyzed at Fundação ABC Laboratory by enzymatic methodology (Demiate et al., 2001).

Average geometric diameter (AGD) and geometric standard deviation (GSD) of ground corn grain were evaluated by Zanotto and Bellaver (1996) methodology and Granulac® program by Embrapa (2013).

Calculations

Four percent fat-corrected milk (FCM; kg/d) was estimated by the following equation (NRC, 2001):

$$FCM = 0.4 \times \text{Milk Production} + 15 \times (\text{Milk Fat} / 100) \times \text{Milk Production}$$

Milk energy output (MilKE; Mcal/d) was estimated by the equation (NRC, 2001):

$$MilKE = 9.29 \times \text{fat (kg)} + 5.63 \times \text{true protein (kg)} + 3.95 \times \text{lactose (kg)}$$

Thereby, energy corrected milk (ECM; kg/d) was estimated by the equation (NRC, 2001):

$$ECM = (\text{MilKE} \times \text{Milk Production})/0.70$$

And finally, total-tract starch digestibility (TTSD) was calculated by the following equation (Fredin et al., 2014):

$$\% \text{ TTSD} = (100\% - (1.25 \times \% \text{ FS}))$$

Statistical Analysis

The experimental design was a randomized block design, using parity, milk yield, and DIM data from covariable period (4 d or 12 consecutive milkings) as blocking factors.

For the variables without repeated measures over time, fecal starch (FS), total-tract starch digestibility (TTSD), D-lactate, body condition score (BCS), body weight (BW) and Δ body weight (Δ BW), statistical analyzes were performed using the GLM procedure of SAS (v. 9.4). The fixed effects were block and treatment.

For all other variables analyzed as repeated measures over time, statistical analyzes were performed using the MIXED procedure of SAS (v. 9.4). All data were tested for normal distribution by the Shapiro-Wilk test. Block, treatment, time, interaction treatment*time were fixed effects and the same variables collected in a week before the trial were included as covariables. Cows nested within treatment was random effect. The covariance structures autoregressive, unstructured, toeplitz and compound symmetry were tested and defined according to the lowest value obtained for "Akaike's Information Criterion Corrected" (AICC). For results interpretation and discussion, a significant effect was adopted when $P \leq 0.05$, whereas $0.05 < P \leq 0.15$ was considered a tendency.

RESULTS

Table 4 shows least square means for performance data when cows were fed FGC and CGC diets. There was a significant influence of processing of corn on DMI and cows fed FGC diet had lower ($P < 0.01$) DMI than cows fed with CGC diet. Animals of FGC group showed lower ($P < 0.01$) fecal starch and higher ($P < 0.01$)

TTSD. Milk yield tended to be greater, with FGC cows producing about 1kg more milk than CGC cows. Cows fed FGC diet had a greater milk efficiency ($P=0.12$ and $P=0.15$, respectively). Four percent fat-corrected milk (FCM) and energy corrected milk did not differ among particle sizes ($P=0.72$ and $P=0.60$, respectively). Milk energy output (MilkE) also was not affected by diets ($P=0.36$). Processing corn did not affect milk fat, protein, casein, lactose and total solids concentrations ($P>0.15$), as well as production (kg/d) of these solids. Milk urea nitrogen was greater ($P=0.04$) for cows fed smaller corn grain particle sizes. Somatic cell linear score (SCS) was not affected ($P=0.16$) by treatment, as well as body condition score (BCS), body weight (BW) and change in body weight (ΔBW) ($P>0.15$).

TABLE 4. LEAST SQUARE MEANS OF PERFORMANCE OF COWS (N = 50) FED FINELY (FGC) AND COARSELY (CGC) GROUND CORN GRAIN

Item ¹	Diet		SEM	<i>P-value</i>
	FGC	CGC		Diet
Intake and Production				
DMI, kg/d	21.22	22.05	0.20	< 0.01
DMI, %BW	3.26	3.31	0.06	0.61
Milk efficiency	1.78	1.69	0.04	0.15
Milk yield, kg/d	37.90	36.85	0.45	0.12
Milk yield 4%G, kg/d	32.94	32.68	0.51	0.72
Milk yield E, kg/d	37.58	37.23	0.34	0.47
MilkE, Mcal/d	0.72	0.70	0.02	0.36
Milk fat, %	3.63	3.73	0.07	0.29
Milk fat, kg	1.36	1.36	0.03	0.96
Milk total protein, %	3.31	3.34	0.03	0.52
Milk total protein, kg	1.24	1.22	0.02	0.35
Milk casein, %	2.64	2.66	0.03	0.58
Milk casein, kg	0.98	0.97	0.01	0.34
Milk lactose, %	4.69	4.67	0.03	0.73
Milk lactose, kg	1.78	1.73	0.03	0.25
Milk total solids, %	12.51	12.63	0.08	0.32
Milk total solids, kg	4.72	4.62	0.07	0.32
SCS	3.23	3.51	0.03	0.55
MUN	13.49	12.04	0.47	0.04
Fecal starch, %	4.84	6.96	0.26	< 0.01
TTSD, %	93.95	91.29	0.32	< 0.01
D-lactate, μ M	98.5	79.7	0.06	0.04
BW, ΔBW and BCS				
BCS	3.21	3.19	0.03	0.55
BW, kg	655	678	11.93	0.21
Δ BW	5.84	10.72	12.62	0.79

¹ SCS = somatic cell linear score; Milk yield 4%G = 4% fat-corrected milk; Milk yield E = energy-corrected milk; MilkE = milk energy output; Δ BW = change in BW.

² *P-value* associated with main effects of diet.

DISCUSSION

Particle size and grain processing directly affect starch availability at rumen and improve use in total digestive tract, since intestine has limited capacity to digest this carbohydrate (Firkins et al., 2001; Ferraretto, Crump and Shaver, 2013). Reducing the corn grain mean particle size increases starch digestibility (Moe and Tyrrell, 1977), by increasing the surface area for bacterial attachment at rumen and

enzymatic degradation post-rumen (Huntington, 1997). Dietary factors, like starch digestibility, could also affect dry matter intake (Allen et al., 2009).

The results suggest that cows fed with smaller particle sizes of ground corn grain had a lower dry matter intake (kg/d). The Hepatic Oxidation Theory (HOT) could explain these low DMI (Allen et al., 2009). The higher and faster starch fermentation at rumen of cows fed FGC diet increases the volatile fatty acids (VFA) production (mainly propionate). These VFA are extensively used by liver and, when the VFA flow exceeds the capacity for gluconeogenesis, the propionate is oxidized and increases the energy status of the liver, sending a satiety signal to the brain.

The smaller particle sizes treatment directly affected FS, indicating higher starch digestibility. It is recommended FS values up to 3% and values between 3 and 5% are acceptable (Ferguson, 2003). Ferguson (2003) estimated that every FS percentage point above 5%, can drop milk yield by 0.45 kg/d. In our study, similar results were found; the group of cows fed FGC diet produced 1kg more milk, with 2.12% lower FS.

The total tract starch digestibility (TTSD) was 2.6% greater for the small corn particle size diet in the current study, a difference smaller than the one reported by Owens et al. (1986) (93.5 vs. 87.6, respectively), but enough to get a statistical difference. These results are similar to other reports (Maulfair et al., 2011; Ferraretto et al., 2013). Also is relevant to emphasize that the corn meal inclusion in the experimental diet was modest; only 3,1 kg/d (21,6 kg/d DMI x 37,3% inclusion of the concentrate in the diet x 39,0% inclusion of the corn grain in the concentrate).

Total-tract starch digestibility values greater than 97% means that digestibility is being very efficient, while values between 95% and 97% still is adequate. However, if TTSD is lower than 95%, appropriate measures must be taken to

improve this parameter (Fredin, 2015). In this experiment, both treatments had TTSD lower than 95%, probably because of Brazilian corn grain type (flint, with higher content of vitreous endosperm), that have a more resistant protein matrix. Besides that, milling is not the better processing to improve starch digestibility, if compared with steam flaked corn grain (Owens et al., 1986) or rehydrated corn (Castro et al., 2019). For dent genotype, the particle size is not so important, because the starch not digested by rumen is compensated by increasing digestion on small intestine. However, flint genotype post ruminal digestion is not increased and rumen escape starch is not utilized by ruminant animals (Rémond et al., 2004). The endosperm type also affects the TTSD; corn grain with floury and opaque endosperm has a 6.3% greater TTSD if compared with vitreous endosperm (Lopes et al., 2009).

As expected, with greater TTSD, milk yield tended to be higher for cows fed diet with smaller corn grain particle sizes. However, 4% FCM has no difference between treatments. Milk protein and fat concentration were not affected by treatments. Numerically, both of these solids were higher for cows fed with large particle sizes, in disagreement to reported by Firkins et al. (2001). In Firkins' experiment, increase starch digestibility provides an increase in milk and protein production, and fat content is reduced in percentage, however in numerical values it increases due to the higher milk production. Milk casein followed the protein values, and was smaller to the FGC diet, as well as milk lactose and total solids concentration. We believe that due to the reduced number of cows in our experiment, it was not possible to find statistical difference between treatments. A trend for a greater milk efficiency was found for cows fed FGC diet, since DMI was lower and milk production was higher for this group of cows.

Unexpectedly, MUN values tended to be greater to cows fed diet with large corn grain particle sizes. It was expected that MUN values were lower to cows fed with diets containing small corn particle sizes, as reported by Charbonneau et al. (2006). According Vagnoni and Broderick (1997), the greater starch digestibility increases milk protein secretion, so MUN must be lower to cows fed FGC diet. Reis et al. (2001) and Dhiman et al. (2002) didn't find difference for MUN between finely and coarsely ground corn grain. However, in this current experiment, MUN followed milk protein, that was numerically greater to cows fed CGC diet.

Diet FGC increased plasma D-lactate concentration, suggestive of a higher degree of ruminal acidosis when compared with CGC diets, as well as found by Castro et al. (2019). According to this experiment, D-lactate was greater for cows fed finely ground rehydrated and ensiled corn regarding coarsely grounding.

CONCLUSIONS

We conclude that productive performance of dairy cows is affected by corn grain particle size. The results suggest that cows fed smaller particle sizes have a better total-tract starch digestibility. Animals fed corn grain with small particle size show a lower dry matter intake and tend to have a greater milk yield and milk efficiency. However, milk solids are not affected by the particle size.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to express their appreciation for the technical and financial support provided by Frisia Cooperativa Agroindustrial and acknowledge the producer Jacob Zijlstra for the assistance during this trial.

REFERENCES

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD.
- Allen, M. S., Bradford, B. J., and Oba, M. 2009. The hepatic oxidation theory of the control of feed intake and its application to ruminants. *J. Anim. Sci.* 87:3317-3334. doi: 10.2527/jas.2009-1779
- Bal, M. A.; Coors, J. G.; Shaver, R. D. 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *J. Dairy Sci.* 80:2497-2503
- Castro, L. P.; Pereira, M. N.; Dias, J. D. L.; Lage, D. V. D.; Barbosa, E. F.; Melo, R. P.; Ferreira, K.; Carvalho, J. T. R.; Cardoso, F. F.; Pereira, R. A. N. 2019. Lactation performance of dairy cows fed rehydrated and ensiled corn grain differing in particle size and proportion in the diet. *J. Dairy Sci.* 102:9857–9869. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16559>
- Charbonneau, E.; Chouinard, P. Y.; Allard, G.; Lapierre, H.; Pellerin, D. 2006. Milk from forage as affected by carbohydrate source and degradability with alfalfa silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 89: 283-293. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72093-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72093-8)
- Corona, L.; Rodriguez, S.; Ware, R. A.; Zinn, R. A. 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 [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31203-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31203-1)
- Demiate, I. M., Konkel, F. E., Pedroso, R. A. 2001. Avaliação da qualidade de amostras comerciais de doce de leite pastoso – composição química. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 21:108-114.
- Dhiman, T. R.; Zaman, M. S.; McQUEEN, I. S. 2002. Influence of corn processing and frequency of feeding on cow performance. *J. Dairy Sci.* 85: 217-226.
- Ferguson, J. D. 2003. Monitoring feeding programs on dairy farms. *Proc. of Nutrition and Manag. of Dairy Cattle. Consorzio Ricerca Fileria LattieroCasearia Regione Siciliana.* 3-7.
- Ferraretto, L. F., and R. D. Shaver. 2012. Meta-analysis: Impact of corn silage harvest practices on intake, digestion and milk production by dairy cows. *Prof. Anim. Sci.* 28:141-149.
- Ferraretto, L.F.; Crump, P.M.; Shaver, R.D. 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. *J. Dairy Sci.* 96: 533-550, 2013. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5932>
- Firkins, J.L.; Eastridge, M. L.; St-Pierre, N. R.; Noftsgger, S. M. 2001. Effects of grain variability and processing on starch utilization by lactating dairy cattle. *J. Animal Sci.* 79: 218-238. <https://doi.org/10.2527/jas2001.79E-SupplE218x>
- 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. *J. Dairy Sci.* 97: 1862-1871. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7395>
- Fredin, S.M. 2015. How to get more out of dietary starch and low starch diets. In: *Proc. 77th Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers.* 2015, Ithaca, NY.

- Huhtanen, P., Rinne, M., and Nousiainen, J. 2009. A meta-analysis of feed digestion in dairy cows. 2. The effects of feeding level and diet composition on digestibility. *J. Dairy Sci.* 92:5031-5042. DOI: 10.3168/jds.2008-1834
- Lopes, J. C., Shaver, R. D., Hoffmann, P. C., Akins, M. S., Bertics, S. J., Gencoglu, H., Coors, J. G. 2009. Type of corn endosperm influences nutrient digestibility in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92: 4541-4548. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2090>
- Maulfair, D. D., Fustini, M.; and Heinrichs, A. J. 2011. Effect of varying total mixed ration particle size on rumen digesta and fecal particle size and digestibility in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94 :3527-3536. doi: 10.3168/jds.2010-3718
- Mertens, D. R. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. *J. AOAC Int.* 85:1217-1240.
- Moe, P. W., and H. F. Tyrrell. 1977. Effects of feed intake and physical form on energy value of corn in timothy hay diets for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 60:752-758. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)83930-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)83930-1)
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
- Owens, F.N.; Zinn, R.A.; Kim, Y.K. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *J. Animal Sci.* 63:1634-1648. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351634x>
- Reis, R. B., San Emeterio, F., Combs, D. K., Satter, L. D., and Costa, H. N. 2001. Effects of corn particle size and source on performance of lactating cows fed direct-cut grass-legume forage. *J. Dairy Sci.* 84:429-441. DOI: 10.3168/jds.s0022-0302(01)74493-1
- Rémond, D., Cabrera-Estrada, J. I., Champion, M., Chauveau, B., Coudure, R., Poncet, C. 2004. Effect of corn particle size and extent starch digestion in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87: 1389-1399. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73288-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73288-9)
- Vagnoni, D.B. and Broderick, G.A. 1997. Effects of supplementation of energy or ruminally undegraded protein to lactating cows fed alfalfa hay or silage. *J. Dairy Sci.* 80: 1703-1712. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76102-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76102-2)
- Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.
- Zanotto, D. L.; Bellaver, C. 1996. Método de determinação da granulometria de ingredientes para uso em rações de aves e suínos. Embrapa CNPSA. http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/cot215.pdf
- Zinn, R. A., A. Barreras, L. Corona, F. N. Owens, and R. A. Ware. 2007. Starch digestion by feedlot cattle: Predictions from analysis of feed and fecal starch and nitrogen. *J. Anim. Sci.* 85:1727-1730. <https://doi:10.2527/jas.2006-556>