



## Degradabilidade *in situ* do amido de diferentes genótipos de milho e em diferentes tamanhos de partículas. *In situ* degradability of starch from different corn genotypes and in different particle sizes.

Gianne Evans Cunha<sup>1</sup>, Bruna Bonini Sestari<sup>1</sup>, Bruno Mazzer de Oliveira Ramos<sup>2</sup>, [Angela Rocio Poveda-Parra](#)<sup>1</sup>, [Eduardo Lucas Terra Peixoto](#)<sup>3</sup>, [Fernando Luiz Massaro Junior](#)<sup>1</sup>, [Mirna Adriane Syperreck](#)<sup>4</sup>, [Odimári Pricila Prado-Calixto](#)<sup>5</sup>, [Ivone Yurika Mizubuti](#)<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Doutor em Ciência Animal, Universidade Estadual de Londrina, UEL, PR, Brazil. E-mails:

[gianneevans@hotmail.com](mailto:gianneevans@hotmail.com); [brunab.sestari@hotmail.com](mailto:brunab.sestari@hotmail.com); [angelpov@gmail.com](mailto:angelpov@gmail.com); [massaro@uel.br](mailto:massaro@uel.br)

<sup>2</sup> Doutor em Ciência Animal, Biorigin Technical Manager in North America, Lexington, Kentucky, USA.

E-mail: [bruno\\_mazzer@yahoo.com.br](mailto:bruno_mazzer@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Doutor em Ciência Animal, Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, MS, Brazil. E-mail:

[eduardopeixoto@ufgd.edu.br](mailto:eduardopeixoto@ufgd.edu.br)

<sup>4</sup> Doutor em Ciência Animal, Nutriquest Technofeed Animal Nutrition LTDA, Campinas, SP, Brazil. E-mail:

[syperreck@gmail.com](mailto:syperreck@gmail.com)

<sup>5</sup> Professores Doutores, Departamento de Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina,

UEL, PR, Brazil. E-mails: [odimari@uel.br](mailto:odimari@uel.br); [mizubuti@uel.br](mailto:mizubuti@uel.br)

\* Autor para correspondência

### Resumo

Avaliaram-se três genótipos de milho (duro, semiduro e semidentado) moídos em peneira de 10 mm de diâmetro e separados em quatro tamanhos de partículas (maiores que 1400 µm; entre 1400 e 850 µm; entre 850 e 420 µm; e menores que 420 µm). Verificaram-se a degradação do amido após incubações no rúmen de bovinos, nos tempos de 3, 6, 9, 15, 24 e 48 horas. Genótipos de milho com menor vitreosidade apresentaram maiores solubilidade, taxa de passagem ruminal e degradação ruminal. Genótipos em partículas menores apresentaram degradações superiores às partículas maiores. Milho com baixa vitreosidade associado à moagem mais fina apresentaram melhores fermentação ruminal do amido.

**Palavras-chave:** Bovinos. Degradação ruminal. Solubilidade. Vitreosidade.

### Abstract

Three corn genotypes (hard, semi-hard and semindentated) ground in a 10 mm diameter sieve and separated into four particle sizes (greater than 1400 µm; between 1400 and 850 µm; between 850 and 420 µm; and smaller than 420 µm) were evaluated. Starch degradation was verified after incubations in the rumen of cattle, at times of 3, 6, 9, 15, 24 and 48 hours. Corn genotypes with lower vitreousness showed higher solubility, rumen passage rate and rumen degradation. Genotypes in smaller particles showed higher degradations than larger particles. Corn with low vitreousness associated with finer grinding showed better ruminal starch fermentation.

**Keywords:** Cattle. Rumen degradation. Solubility. Vitreousness.

## Introdução

Os alimentos concentrados utilizados na alimentação de bovinos de corte são compostos principalmente por grãos de cereais. O milho é um dos principais grãos que compõe a dieta de bovinos confinados, pois representa uma fonte energética de alta qualidade (OLIVEIRA, MILLEN, 2014).

O grão de milho é formado por endosperma, gérmen, pericarpo (casca) e ponta. No endosperma encontra-se o amido que corresponde de 60% a 80% da composição do milho. O endosperma pode ser classificado como endosperma vítreo ou farináceo, dependendo da distribuição dos grânulos de amido e da matriz proteica. Essa matriz é um dos principais fatores que afetam a utilização do amido pelas bactérias ruminais, pois dificulta a ação das enzimas digestivas e estão presentes em maiores quantidades nos grãos de milho e sorgo (SNIFFEN, ROBINSON, 1987; KOTARSKI, WANISKA, THURN, 1992; PAES, 2006).

A principal diferença entre os milhos é a relação entre o endosperma vítreo e farináceo sendo que essa classificação é de extrema importância na nutrição. Segundo Philippeau e Michalet-Doreau (1997), o aumento na vitreosidade do grão está associado com a diminuição na degradação do amido, já que, para as bactérias amilolíticas terem acesso ao amido e degradá-lo, se faz necessária a fermentação prévia da matriz proteica que é realizada por bactérias proteolíticas. Esse processo atrasa a fermentação do amido de genótipos com maior índice de vitreosidade, conferindo ao grão menor degradabilidade quando comparado a genótipos com maior quantidade de endosperma farináceo.

Além da vitreosidade do grão, o grau de processamento também interfere na degradação ruminal do amido. O pericarpo, camada fibrosa que cobre todo o grão, representa o maior impedimento físico para a colonização microbiana e digestão dos grãos. Após o rompimento dessa estrutura através de processamento ou mastigação do grão, a taxa de fermentação dos grânulos de amido é determinada pela quantidade de matriz proteica que circunda os grânulos de amido (ANTUNES, RODRIGUEZ, 2006).

O processamento do grão como a moagem atua aumentando a área de superfície dos grãos, reduzindo a interação da matriz proteica com os grânulos de amido e aumentando a solubilidade do amido em água por meio do rompimento das pontes de hidrogênio das moléculas de amilose e amilopectina dos grânulos de amido, que facilita a adesão e digestão enzimática pelas bactérias ruminais (GÓMEZ, POSADA, OLIVERA, 2016).

Segundo Svihus et al. (2005), o tamanho do grânulo é um fator limitante na digestão do amido devido à relação existente entre volume do amido e a superfície de área que permite o contato substrato-enzima. Portanto, grânulos pequenos são mais digeríveis.

A treze anos atrás, alguns pesquisadores (MILLEN et al., 2009) realizaram uma pesquisa com 31 nutricionistas brasileiros com atuação em confinamentos de gado de corte e concluíram que 79,3% dos nutricionistas utilizavam o milho como fonte de energia nas dietas, sendo que destes, 90,9% relataram utilizar o grão do tipo duro. Verificaram ainda que 54,8% dos nutricionistas utilizavam o grão moído fino e 38,7% utilizavam apenas grãos quebrados.

No intuito de aumentar os ataques enzimáticos na molécula de amido, vários estudos foram realizados para determinar a melhor forma de processamento do grão e os resultados mostraram que o milho moído finamente e de genótipos de textura macia (com maior quantidade de endosperma farináceo), apresentam melhor degradabilidade ruminal do que milhos moídos grosseiramente e do que genótipos com maior quantidade de endosperma vítreo (BEAUACHEMIN et al., 1994; LYKOS, VARGA, 1995; TEIXEIRA, SANTOS, OLIVEIRA, 1996).

Para avaliar a degradabilidade de alimentos existem vários métodos e dentre eles o mais utilizado é a técnica *in situ* que permite determinar a degradação de proteína, mas também pode ser utilizada para avaliar a dinâmica ruminal de outros nutrientes (ØRSKOV, McDONALD, 1979). Essa metodologia é a que gera resultados mais próximos daquelas obtidas com a técnica *in vivo*, com a vantagem de ser menos onerosa (MADSEN, HVELPLUND, 1985).

Considerando que o milho contribui com grande parte dos custos de produção de bovinos e que a vitreosidade e a granulometria do grão de milho tem grande influência na degradação do amido, esse estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a cinética de degradação *in situ* do amido de três genótipos de milho moídos em quatro tamanhos de partícula.

## Material e métodos

O experimento foi conduzido nas dependências do Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia e da Fazenda Experimental da Universidade Estadual de Londrina, em Londrina, Paraná. Os grãos de milho de três genótipos distintos (Agrocere AG9010: grão duro; Dow AgroSciences 2B710: grão semiduro; e Dow AgroSciences 2B587: grão semidentado) foram adquiridos diretamente de produtores locais. Os grãos foram inicialmente avaliados quanto ao índice de vitreosidade por meio da metodologia descrita por Erasmus e Taylor (2004). Dez grãos de cada genótipo foram utilizados para a realização da análise de matéria seca (MS) e umidade do grão, que serviu de base para o cálculo do índice de vitreosidade. Posteriormente, dez grãos de cada genótipo foram numerados, pesados em balança analítica de precisão e submersos em água destilada a 4°C por cinco dias. Após esse período os grãos foram enxugados com papel absorvente para remover o excesso de água e pesados novamente. Em seguida, foi realizada a secção longitudinal do grão e a dissecação com remoção das porções na seguinte ordem: a porção farinácea do grão, o gérmen e a casca, mantendo-se apenas o endosperma vítreo, que foi pesado ao final. As diferentes porções separadas foram submetidas à análise de MS (104°C por 24 horas) e o índice de vitreosidade calculado a partir dos pesos da matriz vítrea em relação ao peso inicial do grão. Além do índice de vitreosidade, foi possível determinar o índice de endosperma farináceo e a quantidade total de endosperma do grão; e do total determinou-se a quantidade percentual representada pelos endospermas vítreo e farináceo (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição do endosperma de grãos de milho de genótipo duro (Agrocere AG9010), semiduro (Dow AgroSciences 2B710) e semidentado (Dow AgroSciences 2B587).

Genótipo de Milho	Índice de vitreosidade <sup>1</sup> (%)	Índice de endosperma farináceo <sup>2</sup> (%)	Endosperma (%) <sup>3</sup>		
			Vítreo <sup>3,1</sup>	Farináceo <sup>3,2</sup>	Total de endosperma <sup>3</sup>
Duro	62,65	9,12	87,23	12,77	71,77
Semiduro	58,5	13,35	81,29	18,71	71,85
Semidentado	57,7	17,85	76,37	23,63	75,55

<sup>1</sup> Quantidade de endosperma vítreo em relação ao grão de milho analisado

<sup>2</sup> Quantidade de endosperma farináceo em relação ao grão de milho analisado

<sup>3</sup> Quantidade de endosperma em relação ao grão de milho analisado, sendo que desse total parte é composto por endosperma vítreo e parte de endosperma farináceo.

<sup>3,1</sup> Quantidade de endosperma vítreo em relação ao total de endosperma

<sup>3,2</sup> Quantidade de endosperma farináceo em relação ao total de endosperma

Foram realizadas análises bromatológicas dos três genótipos de milho determinando-se os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) (Tabela 2), segundo as metodologias descritas por Mizubuti et al. (2009). O amido foi determinado segundo a metodologia descrita por Lane e Eynon (1934). Os teores de NDT foram estimados pela fórmula descrita por Patterson et al. (2000):  $NDT = [88,9 - (0,779 \times FDA\%)]$ .

Tabela 2 - Composição bromatológica de grãos de milho de genótipo duro (Agrocere AG9010), semiduro (Dow AgroSciences 2B710) e semidentado (Dow AgroSciences 2B587).

Genótipos de milho	Composição Bromatológica *							
	MS	MM	PB	EE	FDN	FDA	NDT	Amido
	% na MN	% na MS						
Duro	89,45	1,39	12,28	4,55	25,82	4,27	85,57	67,99
Semiduro	89,54	1,33	13,05	4,59	18,29	2,28	87,12	66,98
Semidentado	89,49	1,20	11,86	4,24	19,64	2,61	86,87	74,56

MN- Matéria Natural; MS- Matéria Seca; MM- Matéria Mineral; PB- Proteína Bruta; FDN- Fibra em Detergente Neutro; FDA- Fibra em Detergente Ácido; EE- Extrato Etéreo; NDT- Nutrientes Digestíveis Totais

Os três genótipos de milho foram moídos em moinho equipado com peneira de 10 mm de diâmetro. Posteriormente, as amostras passaram pelo equipamento vibrador de peneiras, contendo peneiras com aberturas de 1400, 850 e 420  $\mu\text{m}$  durante 10 minutos. Foram obtidos quatro tamanhos de partículas: maiores que 1400  $\mu\text{m}$  (P1); entre 1400 e 850  $\mu\text{m}$  (P2); entre 850 e 420  $\mu\text{m}$  (P3) e inferiores a 420  $\mu\text{m}$  (P4).

Para a estimativa dos parâmetros cinéticos de degradação ruminal do amido foram realizadas incubações *in situ* conforme a técnica do saco de náilon proposta por Ørskov e McDonald (1979). Para tanto, utilizaram-se três bovinos machos, sem raça definida, com peso vivo médio de 550 kg, com aproximadamente 36 meses de idade e providos de cânula ruminal. Os animais permaneceram durante todo o experimento em galpão coberto, com piso de concreto e em baias individuais medindo 3,0 m x 1,5 m, equipadas com comedouro e bebedouro individuais. A dieta foi formulada para atender as exigências de manutenção (NRC, 2000) e composta de silagem de sorgo, grão de milho moído e suplemento mineral, com relação volumoso: concentrado de 60:40, e consumo *ad libitum*, sendo o arraçoamento feito duas vezes ao dia, pela manhã (07h30min) e a tarde (17h00min). Os animais foram estabulados 15 dias antes do início da incubação para se adaptarem ao local e a dieta experimental.

Foram utilizadas bolsas em náilon 100% poliamida, com poros de 50  $\mu\text{m}$  e dimensões internas de 14 x 7 cm, que receberam cerca de 7g de amostra dos alimentos experimentais. As bolsas foram incubadas diretamente no saco ventral do rúmen dos animais antes do arraçoamento matinal e foram removidas após 3, 6, 9, 15, 24 e 48 horas de incubação. Após a retirada do rúmen juntamente com as bolsas correspondentes ao tempo zero hora, estas foram lavadas com água em temperatura ambiente, secas em estufa de circulação de ar forçada (55°C por 72 horas) e pesadas, conforme recomendações de Cummins et al. (1983). Os resíduos foram agrupados por tipo de genótipo de milho nas diferentes granulometrias e por tempo de incubação para posterior análise quantitativa de amido.

As cinéticas de degradação do amido para cada tamanho de partícula de cada genótipo de milho foram ajustadas ao modelo exponencial proposto por Mehrez e Ørskov (1977), em que:  $DP = a + b(1 - e^{-ct})$ , sendo DP (%), a degradabilidade potencial no tempo t; **a**, a fração solúvel; **b**, a fração potencialmente degradável e **c**, a taxa de degradação da fração b, usando o procedimento de regressão não linear (SAS, 2001). Para estimar a degradabilidade efetiva foi usado o modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979):  $DE = a + ((b \cdot c) / (c + K))$ , onde DE é a degradabilidade efetiva em porcentagem, e K são as taxas de passagens de sólidos no rúmen, definida nesta pesquisa como 0,02;

0,04 e 0,06h<sup>-1</sup>, em decorrência dos níveis de consumo alimentar baixo, médio e alto, respectivamente, e **a**, **b** e **c**, as mesmas constantes da equação anteriormente citadas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em arranjo fatorial três x quatro, sendo três genótipos de milho (duro, semiduro e semidentado) e quatro tamanhos de partículas (P1- maiores que 1400 µm; P2- entre 1400 e 850 µm; P3- entre 850 e 420 µm e P4- inferiores a 420 µm), com três repetições cada. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas pelo teste de Tukey (P<0,05) utilizando-se o procedimento PROC GLM (SAS, 2001).

## Resultados e discussão

Observou-se diferença entre os genótipos de milho para a fração solúvel (**a**) do amido (Tabela 3). O milho semidentado apresentou o maior valor de fração solúvel (**a**) (13,10%), representando uma superioridade de 27,9% em relação ao genótipo duro e 9,8% em relação ao genótipo semiduro. Philippeau, Le Deschault de Monredon e Michalet-Doreau (1999) avaliando milho dentado e duro também obtiveram maiores valores de fração solúvel para o genótipo dentado (26,6%) em comparação com genótipo duro (19,4%).

Além da vitreosidade do milho, o tamanho das partículas também interferiu na solubilidade do amido, observando-se aumento na fração **a** do amido à medida que diminuiu o tamanho de partículas, sendo que, a maior fração solúvel ocorreu em partículas menores que 420 µm. Este fato foi confirmado para os três genótipos (P<0,05, Tabela 3). Deste modo, o efeito do genótipo sobre a fração solúvel foi irrelevante quando os grãos sofreram maior nível de moagem, ou seja, partículas menores que 420 µm apresentam fração solúvel semelhante para os três genótipos. Segundo Philippeau, Le Deschault de Monredon e Michalet-Doreau (1999) a moagem fina iguala a densidade dos genótipos e aumenta a superfície de contato, que acarreta degradação similar entre as variedades.

Pesquisadores relataram que o processamento do grão melhora sua degradação (THEURER et al., 1999; PASSINI et al., 2004; RÉMOND et al., 2004). No estudo realizado por Passini et al. (2004) foi verificado que o milho floculado apresentou maior fração solúvel de amido do que o milho quebrado e moído finamente, porém, não houve diferença entre a quebra e a moagem, diferente do que ocorreu nesse experimento, pois a moagem mais fina apresentou maior solubilidade do amido do que partículas mais grosseiras. Os resultados deste trabalho foram semelhantes aos relatados por Rémond et al. (2004) ao constataram que houve diferença entre tamanho de partículas de milho com genótipo semiduro, sendo que partículas de 730 µm apresentaram fração solúvel superior (18,4%) às partículas de 1807 µm (8,71%) e 3668 µm (1,9%). Em geral, observou-se que tanto o genótipo quanto o tamanho das partículas tiveram efeitos sobre a solubilidade do amido.

Os resultados obtidos de solubilidade são coerentes, pois o processamento do grão (moagem) atua aumentando a área de superfície, reduzindo a interação da matriz proteica com os grânulos de amido e aumentando a solubilidade do amido em água através do rompimento das pontes de hidrogênio das moléculas de amilose e amilopectina dos grânulos, que facilita a adesão e digestão enzimática pelas bactérias ruminais.

Além disso, ocorre o rompimento do pericarpo que representa o maior impedimento físico para a colonização microbiana e digestão dos grãos. Com o rompimento dessa estrutura, a taxa de fermentação dos grânulos de amido é determinada pela quantidade de matriz proteica que circunda os grânulos de amido, sendo maior em grânulos de amido sem matriz proteica (ANTUNES,

RODRIGUEZ, 2006). Ou seja, genótipos com menor índice de vitreosidade e partículas menores, apresentam maior solubilidade ruminal do amido.

Tabela 3 - Fração solúvel (**a**), fração potencialmente degradável (**b**) e taxa fracional de degradação da fração "**b**" (**c**) às 48h, do amido de milho de genótipos duro, semiduro e semidentado, com diferentes tamanhos de partículas.

Tamanhos de partículas	Parâmetros de Degradação			
	Fração a (%)			
	Duro	Semiduro	Semidentado	Média
maiores que 1400 µm	5,39 Bb	9,44 Ab	10,43 Ab	8,42 c
entre 1400 µm e 850 µm	7,40 Bb	11,33 Ab	10,38 ABb	9,70 bc
entre 850 µm e 420 µm	8,07 Bb	10,09 Ab	13,02 Ab	10,40 b
menores que 420 µm	16,91 Aa	16,42 Aa	18,57 Aa	17,30 a
Média	9,44 C	11,82 B	13,10 A	-
	Milho	Tamanho	Interação MxT	-
p-valor	<0,0001	<0,0001	0,0031	-
	Fração b (%)			
	Duro	Semiduro	Semidentado	Média
maiores que 1400 µm	59,49 Ba	37,31Cab	88,67 Aa	61,82 a
entre 1400 µm e 850 µm	52,85 Ba	36,81Cab	88,78 Aa	59,48 a
entre 850 µm e 420 µm	56,07 Aa	45,07 Aa	50,76 Ab	50,63 b
menores que 420 µm	35,44 Ab	26,28 Ab	24,97 Ac	28,90 c
Média	50,96 B	36,37 C	63,29 A	-
	Milho	Tamanho	Interação MxT	-
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-
	Taxa de degradação c (h <sup>-1</sup> )			
	Duro	Semiduro	Semidentado	Média
maiores que 1400 µm	0,02 Aa	0,06 Ab	0,01 Ab	0,03 b
entre 1400 µm e 850 µm	0,04 Aa	0,07 Ab	0,01 Ab	0,04 b
entre 850 µm e 420 µm	0,04 Aa	0,03 Ab	0,04 Ab	0,03 b
menores que 420 µm	0,07 Ca	0,13 Ba	0,31 Aa	0,17 a
Média	0,04 C	0,07 B	0,09 A	-
	Milho	Tamanho	Interação MxT	-
p-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	-

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

Para a fração potencialmente degradável (**b**) do amido (Tabela 3) observou-se que houve diferença entre os genótipos sendo que o híbrido semidentado apresentou maior fração potencialmente degradável, seguido do genótipo duro e semiduro. Esse resultado diferiu daquele relatado por Philippeau, Le Deschault de Monredon e Michalet-Doreau (1999) que encontraram menor fração **b** no milho dentado (73,4%) e maior fração **b** no milho duro (80,6%), justificando o resultado pelo fato do milho dentado ter apresentado menor índice de vitreosidade (51,4%) do que o milho duro (71,8%). No presente estudo, foram comparados milhos com índices de vitreosidade com valores próximos entre si (duro 62,65%, semiduro 58,5% e semidentado 57,7%) e muito diferente dos valores encontrados pelos autores supra citados (71,8% milho duro e 51,4% milho dentado), portanto, os resultados apresentados podem ter relação com essa proximidade no índice de vitreosidade.

Além do efeito de genótipo foi observado que o tamanho de partícula também afetou a fração **b**, pois conforme houve redução no tamanho, houve redução na fração potencialmente degradável. Fato este que pode ser explicado pelo aumento na fração solúvel e consequente redução na fração **b**. Rémond et al. (2004) também encontraram diferenças entre tamanho de partículas e partículas menores (730 µm) apresentaram menores valores de fração **b**. Por outro lado, Passini et al. (2004) não evidenciaram diferença entre milho quebrado e moído tanto para fração **a** como para a fração **b**,

e esse fato não foi discutido na pesquisa. Na interação do genótipo com tamanho de partícula os resultados mostraram coerência com a fração solúvel, sendo que genótipo duro e partículas maiores apresentaram valores maiores de fração **b** (e menores de fração **a**).

A taxa de degradação da fração **b** (**c**) apresentou efeito para os genótipos sendo que o genótipo semidentado apresentou maior taxa de degradação ( $0,09h^{-1}$ ), seguido do milho semiduro ( $0,07h^{-1}$ ) e duro ( $0,04h^{-1}$ , Tabela 3). Apesar das taxas de degradação da fração **b** ficarem abaixo dos valores preconizado pelo NRC (2000), que é de cerca de 10-20% para amido, verificou-se que estes valores estão dentro da faixa de valores encontrados por pesquisadores, tais como: Zeoula et al. (1999) que foi de  $0,047h^{-1}$ ; Pereira, Bose e Boin (1997) que encontraram valores de  $0,036 h^{-1}$  e Mertens (1992) que encontrou taxa entre 0,06 e  $0,14h^{-1}$ . Philippeau, Le Deschault de Monredon e Michalet-Doreau (1999) encontraram valores de  $0,059h^{-1}$  para taxa de degradação da fração **b** (**c**) no milho dentado e  $0,034 h^{-1}$  no milho duro. Considerando que o milho semidentado utilizado nessa pesquisa apresentou maior índice de vitreosidade do que o milho dentado utilizado pelos pesquisadores citados acima, obteve-se valores maiores de taxa de degradação da fração **b**, tanto para milho duro quanto para milho semidentado.

O tamanho de partícula também ocasionou efeito sobre a taxa de degradação (**c**) sendo que as partículas menores que  $420 \mu m$  apresentaram valores médios de  $0,17h^{-1}$ , bem superior aos demais tamanhos de partículas que ficaram em torno de  $0,03h^{-1}$  e  $0,04h^{-1}$ . No estudo realizado por Passini et al. (2004), o valor da fração **c** foi de  $0,037h^{-1}$  para milho quebrado e  $0,044h^{-1}$  para milho moído e não houve diferença entre eles. Na interação entre tamanho de partícula e genótipo observou-se que para o genótipo duro não houve efeito do tamanho de partícula, mas para o genótipo semiduro e semidentado as partículas menores que  $420\mu m$  diferiram das demais partículas com valores de  $0,13h^{-1}$  e  $0,31h^{-1}$ , respectivamente.

Rémond et al. (2004) também encontraram diferença entre tamanhos de partículas, sendo que, para milho semiduro encontraram valores semelhantes para partículas de  $700 \mu m$  e  $1800 \mu m$  ( $0,056$  e  $0,057h^{-1}$ , respectivamente), os quais diferiram de partículas de  $3700 \mu m$  ( $0,04h^{-1}$ ) e para o milho de genótipo dentado encontraram diferença entre partículas de  $600 \mu m$  e  $3500 \mu m$  ( $0,054$  e  $0,042h^{-1}$ ). Apesar desses pesquisadores não terem avaliados os genótipos, pode-se notar que os valores entre eles foram próximos, não havendo grandes diferenças como os observados no presente estudo.

A degradação potencial do amido (Tabela 4) apresentou valores semelhantes para genótipo semidentado e duro (48,72% e 49,52%, respectivamente) e foram superiores ao valor do genótipo semiduro (44,38%). Os valores encontrados foram semelhantes aos relatados por Philippeau, Le Deschault de Monredon e Michalet-Doreau (1999) que encontraram valores de 61,9% para milho dentado e 46,2% para milho duro. Contudo, neste trabalho, esperava-se que a degradação potencial fosse maior para genótipo semidentado seguido do semiduro e duro, já que a degradação está relacionada ao índice de vitreosidade do grão (PHILIPPEAU, LE DESCHAULT DE MONREDON, MICHALET-DOREAU, 1999; CORREA et al., 2002; BLASEL, HOFFMAN, SHAVER, 2006).

A degradabilidade potencial apresentou maiores valores para partículas entre  $1400$  e  $850 \mu m$  (49,28%) e partículas entre  $850$  e  $420 \mu m$  (49,49%); e menores valores para partículas maiores que  $1400 \mu m$  (45,82%) e partículas menores que  $420 \mu m$  (45,58%). Os valores encontrados por Rémond et al. (2004) para partículas de  $700 \mu m$ ,  $1800 \mu m$  e  $3700 \mu m$  foram de 61,6%, 56,6% e 49,5%, respectivamente, e observaram diferença entre eles sendo que partículas menores apresentaram melhor degradação do que partículas maiores e isso não ocorreu no presente estudo. Possivelmente, o resultado aqui obtido diferiu dos apresentados em literatura porque as partículas estudadas tinham

menor amplitude de tamanhos (entre 1400 e 420  $\mu\text{m}$ ) enquanto no trabalho supracitado as partículas estavam entre 700 e 3700  $\mu\text{m}$ .

Tabela 4 - Degradabilidade potencial às 48h do amido de milho de genótipos duro, semiduro e semidentado com diferentes tamanhos de partículas.

Tamanhos de partículas	Degradabilidade Potencial (%)			
	Duro	Semiduro	Semidentado	Média
maiores que 1400 $\mu\text{m}$	43,23 Ab	43,83 Aa	50,40 Aa	45,82 b
entre 1400 $\mu\text{m}$ e 850 $\mu\text{m}$	50,44 Aab	46,60 Aa	50,79 Aa	49,28 a
entre 850 $\mu\text{m}$ e 420 $\mu\text{m}$	53,73 Aa	44,58 Ba	50,15 ABa	49,49 a
menores que 420 $\mu\text{m}$	50,68 Aab	42,53 Aa	43,54 Aa	45,58 b
Média	49,52 A	44,38 B	48,72 A	-
	Milho	Tamanho	Interação MxT	-
p-valor	0,0001	0,0031	0,0026	-

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%  
Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

Na interação genótipo e tamanho de partículas, verificou-se que apenas o milho duro apresentou diferença entre partículas, sendo que partículas entre 850 e 420  $\mu\text{m}$  apresentaram maior degradação potencial e partículas maiores que 1400  $\mu\text{m}$ , apresentaram menores valores. Esse fato confirma que a diminuição no tamanho de partícula melhora a degradação do amido. Esperava-se que para os demais genótipos houvesse o efeito do tamanho de partícula e que o genótipo semidentado, moído finamente (partículas menores que 420  $\mu\text{m}$ ), apresentasse melhor degradação ruminal do que os demais, já que alguns estudos mostram que o tamanho de partícula e o genótipo de milho interferem na degradação do amido (PASSINI et al., 2004; RÉMOND et al., 2004; BLASEL, HOFFMAN, SHAVER, 2006).

Os resultados obtidos podem ter sido influenciados pela dieta que os animais receberam durante a incubação dos alimentos, pois, a dieta possuía 60% de silagem de sorgo, e o sorgo possui estrutura de grânulos de amido parecido com os do milho. Sendo assim, o rúmen dos animais continha microrganismos específico para degradar o amido, mesmo com elevado teor de matriz proteica.

Com relação aos resultados obtidos para degradabilidade efetiva com taxas de passagem de 0,02; 0,04 e 0,06h<sup>-1</sup> (Tabela 5) observou-se que, para taxa de passagem de 0,02h<sup>-1</sup> houve diferença na degradabilidade efetiva entre os genótipos, sendo que o milho semidentado apresentou melhor degradação, seguido do semiduro e duro. Para a taxa de 0,04h<sup>-1</sup> não houve efeito de genótipo e para taxa de 0,06h<sup>-1</sup>, o genótipo semidentado apresentou melhor degradação do que o duro e, o genótipo semiduro não diferiu dos demais.

Resultados semelhantes foram obtidos por Philippeau, Le Deschault de Monredon e Michalet-Doreau (1999) que observaram melhor degradação do amido em milho dentado comparado ao duro. Rémond et al. (2004) também obtiveram melhores resultados com milho dentado, observando, ainda que, com o aumento das taxas de passagem houve redução na degradabilidade efetiva dos genótipos de milho, sendo mais agravada nos genótipos com maior teor de endosperma vítreo, podendo chegar à redução de aproximadamente 32% no milho duro. Esse fato se deve a diminuição do tempo de permanência no rúmen, menor interação microbiana na quebra da matriz proteica e disponibilização do amido, que conseqüentemente, diminuiu a degradabilidade efetiva. Segundo Philippeau e Michalet-Doreau (1997), 88,5% da variação ruminal na degradabilidade está associado à vitreosidade do grão.



Houve efeito de tamanho de partículas nas taxas de passagem de 0,04 e 0,06h<sup>-1</sup> (Tabela 5), sendo que as partículas com menores diâmetros (menores que 420 µm) apresentaram maiores valores. Esse fato era esperado devido as alterações ocorridas nos parâmetros da cinética digestiva (Tabela 3), como elevação da fração solúvel, redução da fração insolúvel, mas digerível, e aumento na taxa de degradação. Essa melhora na degradabilidade traz benefícios positivos principalmente nos sistemas intensificados em que os animais recebem maior quantidade de grãos e com maior nível de consumo alimentar.

O processamento do milho visa aumentar a porcentagem de amido digerido tanto no rúmen como no intestino, porque a capacidade intestinal em digerir amido pode ser limitada pelo tamanho da partícula (THEURER, 1986) e também, grãos ou partículas maiores podem apresentar limitação à adesão e colonização microbiana, que podem acarretar em diminuição na digestibilidade do amido (GALYEAN, WAGNER, OWENS, 1979; TURGEON JR, BRINK, BRITTON, 1983).

Ao se realizar o desdobramento das interações constatou-se que o milho tipo duro foi o único que teve efeito do tamanho de partículas na taxa de passagem de 0,02h<sup>-1</sup>. Isto possivelmente tenha sido decorrente da maior facilidade de colonização pelos microrganismos ruminais nos genótipos de milho com maior proporção de endosperma farináceo, uma vez que o endosperma vítreo apresenta em sua composição maior matriz proteica que protege o amido da ação microbiana. Isto possibilita afirmar que milhos com menor índice de vitreosidade podem ser melhor degradado, e assim não houve efeito da moagem dos grãos a uma baixa taxa de passagem.

Tabela 5 - Degradabilidade efetiva para as taxas de passagem 0,02; 0,04 e 0,06h<sup>-1</sup> do amido de genótipos de milho (duro, semiduro e semidentado) com diferentes tamanhos de partículas.

Tamanhos de partículas	Degradabilidade Efetiva			
	Duro	Semiduro	Semidentado	Média
<b>0,02h<sup>-1</sup></b>				
maiores que 1400 µm	35,90 Bb	37,56 Ba	44,51 Aa	39,32 a
entre 1400 µm e 850 µm	41,16 Aab	39,60 Aa	44,78 Aa	41,85 a
entre 850 µm e 420 µm	43,79 Aa	37,29 Ba	42,67 ABa	41,25 a
menores que 420 µm	44,08 Aa	38,99 Aa	41,04 Aa	40,02 a
Média	41,23 B	38,36 C	43,50 A	-
	Milho	Tamanho	Interação MxT	-
p-valor	<0,0001	0,0663	0,0037	-
<b>0,04h<sup>-1</sup></b>				
maiores que 1400 µm	25,9 Bc	32,05 Aab	31,52 ABb	29,83 c
entre 1400 µm e 850 µm	32,29 Ab	34,27 Aab	31,71 Ab	32,76 b
entre 850 µm e 420 µm	34,28 Aab	29,68 Ab	34,53 Ab	32,83 b
menores que 420 µm	38,98 Aa	36,26 Aa	40,71 Aa	38,65 a
Média	32,87 A	33,07 A	34,62 A	-
	Milho	Tamanho	Interação MxT	-
p-valor	0,0716	<0,0001	0,0007	-
<b>0,06h<sup>-1</sup></b>				
maiores que 1400 µm	20,85 Bc	28,37 Ab	25,70 ABb	24,98 c
entre 1400 µm e 850 µm	27,13 Ab	30,64 Aab	25,84 Ab	27,87 b
entre 850 µm e 420 µm	28,77 Ab	25,42 Ab	30,00 Ab	28,06 b
menores que 420 µm	35,51 ABa	34,14 Ba	39,52 Aa	36,39 a
Média	28,07 B	29,64 AB	30,27 A	-
	Milho	Tamanho	Interação MxT	-
p-valor	0,0179	<0,0001	<0,0001	-

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%  
Médias seguidas por letras minúsculas iguais na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

Na taxa de passagem de  $0,02\text{h}^{-1}$ , as partículas maiores que  $1400\ \mu\text{m}$  foram as que apresentaram menor degradação efetiva entre os tamanhos de partículas. Nas taxas de passagem de  $0,04$  e  $0,06\text{h}^{-1}$  houve efeito da redução do tamanho das partículas em todos os genótipos sendo que a menor partícula (menores que  $420\ \mu\text{m}$ ) apresentou melhor degradação entre os tamanhos de partículas estudados.

Passini et al. (2004) estudaram a degradação do amido com milho quebrado e moído para taxa de  $0,02$ ,  $0,05$  e  $0,08\text{h}^{-1}$ , e observaram diferenças entre as partículas somente para a taxa de  $0,02\text{h}^{-1}$ . No presente estudo ocorreu o oposto, sendo que, para taxa de  $0,02$  não houve efeito do tamanho de partícula e para taxas de  $0,04$  e  $0,06\ \text{h}^{-1}$  houve efeito do tamanho de partícula, observando-se que, para o maior nível de consumo, o milho finamente moído pode ser melhor aproveitado pelo animal. Rémond et al. (2004) observaram efeito do tamanho de partícula, sendo que partículas menores apresentaram melhor degradação do amido do que partículas grosseiras.

## Conclusões

Genótipos de milho com menores índices de vitreosidade apresentam maiores índices de solubilidade, taxa de degradação ruminal e degradação ruminal do que milhos com maiores índices de vitreosidade. Genótipos de milho com tamanho de partículas menores apresentam índices de degradação superiores às partículas grosseiras. Genótipo de milho com baixa vitreosidade associada à moagem mais fina apresenta melhor degradação ruminal do amido.

## Conflitos de interesse

Não houve conflito de interesses dos autores.

## Contribuição dos autores

Gianne Evans Cunha - trabalho original, parte de tese de doutorado; Bruna Bonini Sestari, Bruno Mazzer de Oliveira Ramos, Angela Rocio Poveda-Parra, Eduardo Lucas Terra Peixoto, Fernando Luiz Massaro Junior, Mirna Adriane Syperreck - condução do experimento, coleta de dados, análises laboratoriais, análises estatísticas dos resultados e redação do texto; Odimári Pricila Prado-Calixto, Ivone Yurika Mizubuti - orientações, correções e revisão geral do texto.

## Referências

- ANTUNES, R. C.; RODRIGUEZ, N. M. Metabolismo dos carboidratos não estruturais. *In*: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. (Orgs.). **Nutrição de Ruminantes**. 1ª ed. Jaboticabal: Funep, p. 151-182, 2006.
- BEAUACHEMIN, K. A.; McALLISTER, T. A.; DONG, Y.; FARR, B. I.; CHENG, K. J. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. **Journal of Animal Science**, v. 72, n. 1, p. 236-246, 1994. <https://doi.org/10.2527/1994.721236x>
- BLASEL, H. M.; HOFFMAN, P. C.; SHAVER, R. D. Degree of starch access: an enzymatic method to determine starch degradation potential of corn grain and corn silage. **Animal Feed Science and Technology**, v. 128, n. 1/2, p. 96-107, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.018>

- CORREA, C. E. S.; SHAVER, R. D.; PEREIRA, M. N.; LAUER, J. G.; KOHN, K. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. **Journal of Dairy Science**, v. 85, n. 11, p. 3008-3012, 2002. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74386-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74386-5)
- CUMMINS, K. A.; NOCEK, J. E.; POLAN, C. E.; HERBEIN, J. H. Nitrogen degradability and microbial protein synthesis in calves fed diets of varying degradability by the bag technique. **Journal of Dairy Science**, v. 66, n. 11, p. 2356-2364, 1983. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(83\)82093-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(83)82093-1)
- ERASMUS, C.; TAYLOR, J. R. N. Optimizing the determination of maize endosperm vitreousness by a rapid non-destructive image analysis technique. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, n. 9, p. 920-930, 2004. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1672>
- GALYEAN, M. L.; WAGNER, D. G.; OWENS, F. N. Corn particle size and site and extent of digestion by steers. **Journal of Animal Science**, v. 49, n. 1, p. 204-210, 1979. <https://doi.org/10.2527/jas1979.491204x>
- GÓMEZ, L. M.; POSADA, S. L.; OLIVERA, M. Starch in ruminant diets: a review. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, v. 29, n. 2, p. 77-90, 2016. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.v29n2a01>
- KOTARSKI, S. F.; WANISKA, R. D.; THURN, K. K. Starch hydrolysis by the ruminal microflora. **Journal of Nutrition**, v. 122, n. 1, p. 178-190, 1992. <https://doi.org/10.1093/jn/122.1.178>
- LANE, J. H.; EYNON, L. **Determination of reducing sugars by Fehling's solution with methylene blue indicator**. Normam Rodge: London, 1934, 8p.
- LYKOS, T.; VARGA, G. A. Effects of processing method on degradation characteristics of protein and carbohydrate sources in situ. **Journal of Dairy Science**, v. 78, n. 8, p. 1789-1801, 1995. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76804-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76804-7)
- MADSEN, J.; HVELPLUND, T. Protein degradation in the rumen. A comparison between *in vivo*, nylon bag, *in vitro*, and buffer measurements. **Acta Agriculturae Scandinavica**, v. 25, Supplementum, p. 103-124, 1985.
- MEHREZ, A. Z.; ØRSKOV, E. R. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. **The Journal of Agricultural Science**, v. 88, n. 3, p. 645-650, 1977. <https://doi.org/10.1017/S0021859600037321>
- MERTENS, D. R. Nonstructural and structural carbohydrates. In: VAN HORN, H. H.; WILCOX, C. J. **Large dairy herd management**. 1<sup>st</sup> revised edition. American Dairy Science Association: Champaign, p. 219-235, 1992.
- MILLEN, D. D.; PACHECO, R. D. L.; ARRIGONI, M. D. B.; GALYEAN, M. L.; VASCONCELOS, J. T. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionists in Brazil. **Journal of Animal Science**, v. 87, n. 10, p. 3427-3439, 2009. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-1880>
- MIZUBUTI, I. Y.; PINTO, A. P.; PEREIRA, E. S.; RAMOS, B. M. O. **Métodos laboratoriais de avaliação de alimentos para animais**. Londrina: EDUEL, 2009, 228p.
- NRC. National Research Council. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7<sup>a</sup> ed. Washington, DC.: National Academic Press, 2000, 242p. <https://nap.nationalacademies.org/catalog/19014/nutrient-requirements-of-beef-cattle-eighth-revised-edition>
- OLIVEIRA, C. A.; MILLEN, D. D. Survey of the nutritional recommendations and management practices adopted by feedlot cattle nutritionists in Brazil. **Animal Feed Science and Technology**, v. 197, p. 64-75, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.08.010>
- ØRSKOV, E. R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **The Journal of Agricultural Science**, v. 92, n. 2, p. 499-503, 1979. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063048>

- PAES, M. C. D. **Aspectos físicos, químicos e tecnológicos do grão de milho**. Circular Técnica, Embrapa Milho e Sorgo, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, v. 75, 2006, 6p. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/489376/aspectos-fisicos-quimicos-e-tecnologicos-do-grao-de-milho>
- PASSINI, R.; BORGATTI, L. M. O; FERREIRA, F. A.; RODRIGUES, P. H. M. Degradabilidade no rúmen bovino de grãos de milho processados de diferentes formas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 271-276, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300010>
- PATTERSON, T.; KLOPFENSTEIN, T. J.; MILTON, T.; BRINK, D. R. Evaluation of the 1996 Beef Cattle NRC model predictions of intake and gain for calves fed low or medium energy density diets. *In: Nebraska Beef Cattle Reports*, Paper 362, p. 26-29, 2000.
- PEREIRA, J. R. A.; BOSE, M. L. V.; BOIN, C. Avaliação das sub-frações dos carboidratos e das proteínas, usando as metodologias do CNCPS e *in situ*, com bovinos da raça Nelore. 1. Silagem de milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 4, p. 832-837, 1997. <http://www.sbz.org.br/revista/artigos/118.pdf>
- PHILIPPEAU, C.; LE DESCHAULT DE MONREDON, F.; MICHALET-DOREAU, B. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. **Journal of Animal Science**, v. 77, n. 1, p. 238-243, 1999. <https://doi.org/10.2527/1999.771238x>
- PHILIPPEAU, C.; MICHALET-DOREAU, B. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. **Animal Feed Science Technology**, v. 68, n. 1/2, p. 25-35, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00042-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00042-4)
- RÉMOND, D.; CABRERA-ESTRADA, J. I.; CHAMPION, M.; CHAUVEAU, B.; COUDURE, R.; PONCET, C. Effect of corn particle size on site and extent of starch digestion in lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 5, p. 1389-1399, 2004. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73288-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73288-9)
- SAS. **Statistical Analysis System. User's guide**. Version 8. 1ª ed. Cary: SAS Institute, 2001, 956p.
- SNIFFEN, C. J.; ROBINSON, P. H. Microbial growth and flow as influenced by dietary manipulations. *In: Protein and fiber digestion, passage, and utilization in lactating cows*. **Journal of Dairy Science**, v. 70, n. 2, p. 425-441, 1987. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)80027-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)80027-9)
- SVIHUS, B.; UHLEN, A. K.; HARSTAD, O. M. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 122, n. 3/4, p. 303-320, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025>
- TEIXEIRA, J. C.; SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, A. I. G. Degradabilidade ruminal da matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro de rações contendo caroço de algodão e grão de milho, em diferentes formas físicas, em vacas da raça Holandesa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 25, n. 4, p. 814-823, 1996. <http://www.sbz.org.br/revista/artigos/271.pdf>
- THEURER, C. B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 63, n. 5, p. 1649-1662, 1986. <https://doi.org/10.2527/jas1986.6351649x>
- THEURER, C. B.; HUBER, J. T.; DELGADO-ELORDUY, A.; WANDERLEY, R. Invited review: summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 82, n. 9, p. 1950-1959, 1999. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75431-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75431-7)
- TURGEON JR. O. A.; BRINK, D. R.; BRITTON, R. A. Corn particle size mixtures, roughage level and starch utilization in finishing steer diets. **Journal of Animal Science**, v. 57, n. 3, p. 739-749, 1983. <https://doi.org/10.2527/jas1983.573739x>

ZEOULA, L. M.; MARTINS, A. S.; PRADO, I. N.; ALCALDE, C. R.; BRANCO, A. F.; SANTOS, G. T. Solubilidade e degradabilidade ruminal do amido de diferentes alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 28, n. 4, p. 898-905, 1999. <https://doi.org/10.1590/S1516-35981999000400033>

Recebido em 8 de novembro de 2022

Aceito sem ajustes em 14 de fevereiro de 2023