



ARTIGO 256

O MILHO PROCESSADO E DIFERENTES TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DO AMIDO NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS

The processed corn and different techniques of starch in feed for pigs

Andressa Nathalie Nunes¹, Eloisa de Oliveira Simões², Andressa da Silva Formigoni¹, Ana Paula Liboreiro Brustolini¹, Bruno Andreatta Scottá³, Dalton de Oliveira Fontes²

RESUMO: No balanceamento de dietas, somente a avaliação da composição química dos alimentos pode não ser suficientes para garantir um ótimo desempenho dos animais, pois as análises apenas descrevem o valor potencial dos alimentos. Entretanto, é necessário estimar ou calcular os valores de digestibilidade e de disponibilidade de nutrientes. Assim sendo, novos conceitos de nutrição tem sido pesquisados visando o desenvolvimento de novas metodologias de avaliação nutricional e estimativas de exigências nutricionais dos animais. Diante disso, tem-se buscado novos processamentos do alimento que aumente a disponibilidade desses nutrientes bem como as técnicas de análises dos nutrientes.

Palavras-chave: digestibilidade, nutrição, processamento

ABSTRACT: In balancing diets, only the evaluation of the chemical composition of food may not be sufficient to ensure optimum performance of the animals, because the analyzes only describe the potential value of the food. However, it is necessary to estimate or calculate the digestibility and availability of nutrients. Therefore, new concepts of nutrition has been studied aiming to develop new methods of nutritional assessment and estimates of nutritional requirements of animals. Therefore, researchers have tried new food processing that increases the availability of nutrients and the nutrient analysis techniques.

Keywords: digestibility, nutrition, processing

¹Doutoranda em Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG. Email: natydressa2009@hotmail.com

²Professor do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG

³Doutorando em Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa



INTRODUÇÃO

A competição entre o homem e os animais domésticos pelos mesmos ingredientes para a alimentação tem se tornado um grande desafio para os nutricionistas nos últimos anos, principalmente nos países desenvolvidos (Santos, 2006).

O milho é a matéria prima principal em rações, por ser alimento energético e digestível com alto teor de amido caracterizando-se como o principal ingrediente das rações de suínos e aves. Para suprir a necessidade de outros nutrientes como proteína, sais minerais e vitaminas, são usados nas rações a soja e outras matérias-primas ricas nestes nutrientes. Não apenas a aparência do alimento, mas inúmeras variáveis, tais como: produtividade com menor custo, resistência à pragas, capacidade de adaptação ao clima e ao solo, entre outros, são considerados na avaliação do milho e outros produtos agrícolas (Ferrarine, 2004).

O processamento de alimentos tem sido importante ferramenta que pode ser utilizada por nutricionistas para favorecer o desempenho dos animais e minimizar os custos de produção, uma vez que pode melhorar a digestibilidade, tendo melhor aproveitamento dos nutrientes, além de melhorar o status sanitário dos mesmos.

Entretanto, existem várias técnicas analíticas que podem determinar as características dos produtos finais. Diante disso torna-se importante atualizar as informações sobre a composição química e digestibilidade de nutrientes dos alimentos, e avaliar novas técnicas analíticas a eles aplicadas para que a nutrição animal seja otimizada, e com isso se obtenha produtos de boa qualidade.

Nesta revisão de literatura discorre-se sobre milho, processamento, e técnicas de análises para quantificar o amido contido no milho utilizado na alimentação de suínos.

REVISÃO DE LITERATURA

O mercado de produção da carne suína está em crescente desenvolvimento com a alimentação correspondendo cerca de 60-70% dos custos de produção (Mendes 2002). Portanto, pesquisa-se a todo tempo uma estratégia de diminuir gastos com a alimentação, mas mantendo ou melhorando o valor nutritivo dos alimentos, que é fator primordial na qualidade final da sua carcaça.

MILHO

O milho é um cereal que apresenta grande diversidade de utilização na alimentação humana e animal, com mais de 500 derivados, muitos dos quais se prestam a diversos empregos em diferentes indústrias, como as de química, alimentícia, mecânica, bebidas, indústria de rações e outras. Alguns subprodutos do processamento do milho são de fácil obtenção enquanto outros exigem manufatura mais sofisticada e complexa (Lima, 2001).

Segundo Lima (2001), os produtos do milho podem ser obtidos no processo de industrialização tanto pela via seca quanto pela via úmida. Nas duas vias é possível observar variedade de produtos resultantes do processamento que poderão ser destinados à alimentação animal. Sendo que, os principais ingredientes obtidos do milho pela via seca são:

- a) gérmen de milho, que é o gérmen triturado e peneirado, podendo ser integral ou desengordurado;
- b) óleo do gérmen de milho, que é o produto da extração do farelo de gérmen de milho;
- c) canjica refere-se ao grão de milho, desprovido da película e do farelo de gérmen. Industrialmente, a canjica é obtida da passagem do milho limpo por degerminadores. É possível ter a apresentação granulométrica fina ou



canjiquinha e uma granulometria maior, denominada canjição;

d) farelo de milho, que é o resultado da moagem parcial do grão de milho a seco, antes ou depois de germinado. O fubá de milho é o resultado da moagem fina do grão de milho a seco, antes ou depois de germinado, que é usualmente utilizado na alimentação humana;

e) gritz, que são resíduos que sobram de todos os processos de fabricação dos produtos do milho.

Por outro lado, na via úmida podem ser citados como ingredientes o farelo de germen de milho e o farelo de glúten de milho.

AMIDO

O teor de amido e a proporção amilose/amilopectina variam entre os diferentes genótipos de milho. O amido presente no milho e nos cereais constitui a principal fonte de energia para os animais monogástricos. Normalmente está na forma de grânulos formados por dois polímeros de glicose, a amilose (22% a 28%) e amilopectina (72% a 78%), cujo interior do grânulo é composto de regiões cristalinas ou micelar, formando assim um complexo organizado. A região cristalina ou micelar é composta principalmente por amilopectina, sendo resistente à entrada de água e a ação das enzimas (Joy et al., 1997).

O amido, sob o ponto de vista químico, não é um produto puro, já que é constituído de dois componentes moleculares de estruturas químicas semelhantes mas não idênticas: a amilose, cujos resíduos de glicose são unidos por ligações α -1,4, formando um polímero de cadeia linear, e a amilopectina, que é um polímero de estrutura molecular complexa cujas unidades glicosídicas encontram-se unidas por ligações α -1,4 e α -1,6 (Walter et al., 2005).

A utilização do amido na alimentação e na indústria depende, em grande parte, de

suas propriedades coloidais, pois o comportamento do amido frente à água é extremamente complexo. Na célula vegetal, ele é armazenado em grânulos microscópicos que não são afetados de maneira perceptível pela água fria e são resistentes também ao ataque enzimático. No entanto, se a parede externa da célula for rompida por algum método mecânico (por exemplo, moagem) e tratada com água aquecida, os grânulos ainda intactos absorvem água, incham e iniciam um processo de desintegração, assim podendo ficar mais disponível. Nestas condições, a estrutura das cadeias, tanto de amilose e quanto de amilopectina é desenovelada, o que a torna mais susceptível à hidrólise (Pedrenho et al., 2007).

ABSORÇÃO DO AMIDO

Apresentando somente ligações α -glicosídicas, o amido é potencialmente digerível pelas enzimas amilolíticas secretadas no trato digestivo (Englyst & Hudson, 1996). Até recentemente, devido à alta produção da α -amilase pancreática, se considerava que o amido era completamente hidrolisado por essa enzima, sendo absorvido no intestino delgado na forma de glicose. Entretanto, certos fatores, tais como relação amilose:amilopectina, forma física do alimento e inibidores enzimáticos, entre outros, podem influenciar a taxa na qual o amido é hidrolisado e absorvido.

Assim, quantidade significativa de amido pode escapar à digestão no intestino delgado e alcançar o cólon, onde é fermentado (Wolf et al., 1999). Para propósitos nutricionais, o amido pode ser classificado como glicêmico ou resistente.

O amido glicêmico é degradado à glicose por enzimas no trato digestivo, podendo ser classificado como amido rapidamente (ARD) ou amido lentamente digerível (ALD) no intestino delgado de suínos. Em testes *in vitro*, o ARD é



hidrolisado em glicose dentro de 20 minutos, enquanto o ALD é convertido em glicose entre 20 e 110 minutos (Englyst et al., 1992; Yue & Waring, 1998).

Já o amido resistente, é aquele que resiste à digestão no intestino delgado, mas é fermentado no intestino grosso pela microflora bacteriana (Yue e Waring, 1998).

O termo “amido resistente” foi sugerido inicialmente por Englyst et al. (1982), que constataram que muitos alimentos processados continham maior teor aparente de polissacarídeos não amiláceos do que os produtos crus correspondentes. Análises detalhadas revelaram que este aumento era devido a um composto formado por *n*-glicoses, que podia ser disperso em hidróxido de potássio. Assim, estes pesquisadores definiram amido resistente como sendo aquele que resiste à dispersão em água fervente e hidrólise pela ação da amilase pancreática e da pululanase.

Pode-se dizer, então, que o amido resistente é a fração que não fornecerá glicose ao organismo, mas que será fermentada no intestino grosso para produzir gases e ácidos graxos de cadeia curta, principalmente. Devido a esta característica, considera-se que os efeitos do amido resistente sejam, em alguns casos, comparáveis aos da fibra alimentar e, por este motivo, normalmente é considerado como um componente desta (Champ & Faisant, 1996).

A partir de 1992, a definição para amido resistente assumiu um caráter mais relacionado aos seus efeitos biológicos, representando “a soma do amido e produtos de sua degradação que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis” (Faisant et al., 1993; Champ e Faisant, 1996; Goñi et al., 1996).

O amido resistente pode ser classificado em amido fisicamente inacessível (AR1), grânulos de amido

resistente (AR2) e amido retrogradado (AR3), considerando sua resistência à digestão.

Amido resistente tipo 1 - A forma física do alimento pode impedir o acesso da amilase pancreática e diminuir a digestão do amido, fato que o caracteriza como resistente tipo AR1 (fisicamente inacessível). Isto pode ocorrer se o amido estiver contido em uma estrutura inteira ou parcialmente rompida da planta, como nos grãos; se as paredes celulares rígidas inibirem o seu intumescimento e dispersão, como nos legumes; ou por sua estrutura densamente empacotada, como no macarrão tipo espaguete (Englyst et. al., 1992; Muir & O’dea, 1992; Goñi et. al., 1996).

Amido resistente tipo 2 - Na planta, o amido é armazenado como corpos intracelulares parcialmente cristalinos denominados grânulos. Por meio de difração de raios-x, podem-se distinguir três tipos de grânulos que, dependendo de sua forma e estrutura cristalina, denominam-se A, B e C. As cadeias externas relativamente curtas das moléculas de amilopectina de cereais (menos de 20 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos cristalinos tipo A. Já as cadeias externas maiores das moléculas de amilopectina de tubérculos (mais de 22 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos tipo B, encontrados também na banana, em amidos retrogradados e em amidos ricos em amilose. Embora com estrutura helicoidal essencialmente idêntica, o polimorfo tipo A apresenta empacotamento mais compacto do que o tipo B, o qual apresenta estrutura mais aberta e centro hidratado. Por sua vez, o polimorfo tipo C é considerado um intermediário entre os tipos A e B, sendo característico de amido de legumes e sementes (Tharanathan, 2002; Tester et al., 2004). A forma do grânulo influencia sua digestão, caracterizando o amido resistente tipo AR2. Embora o grau de resistência dependa da fonte, geralmente grânulos dos



tipos B e C tendem a ser mais resistentes à digestão enzimática (Englyst et al., 1992; Muir & O’dea, 1992).

Amido resistente tipo 3 - A maioria do amido ingerido é submetido a tratamentos com calor e umidade, resultando no rompimento e gelatinização da estrutura do grânulo nativo, o que o torna digerível (Botham et al., 1995). Quando o gel esfria e envelhece, o amido gelatinizado pode adquirir uma estrutura parcialmente cristalina, insolúvel e resistente à digestão enzimática, porém diferente da conformação inicial (Englyst et al., 1992; Muir & O’dea, 1992).

O principal interesse em relação ao amido resistente é o seu papel fisiológico. Por não ser digerido no intestino delgado, este tipo de amido se torna disponível como substrato para fermentação pelas bactérias anaeróbicas do cólon (Jenkins et al., 1998). Dessa forma, essa fração compartilha muitas das características e benefícios atribuídos à fibra alimentar no trato gastrointestinal (Berry, 1986; Muir & O’dea, 1992).

No entanto, as diferenças nas respostas glicêmica e insulinêmica ao amido da dieta estão diretamente relacionadas à taxa de digestão do amido (O’dea et al., 1981). Dessa forma, alimentos lentamente digeridos ou com baixo índice glicêmico têm sido associados ao melhor controle do diabetes e, a longo prazo, podem até mesmo diminuir o risco de desenvolver a doença (Jenkins et al., 1998).

MÉTODOS E OBJETIVO NO PROCESSAMENTO DO GRÃO DE MILHO

Os grãos possuem barreiras físicas naturais que dificultam sua digestão. Dentre essas barreiras podemos citar o tegumento, que é a película que envolve o grão, o complexo formado pela ligação entre a proteína e o amido, e a solubilidade do amido. A moagem dos grãos faz a ruptura

da película do grão, mas isso tem pouco efeito sobre as outras barreiras físicas citadas. Para uma completa utilização do amido é necessário que se faça uma maior exposição do grânulo de amido ao processamento a calor (Zinn, 1992; Huntington, 1997; Zinn et al., 2002).

Este processo destrói a natureza cristalina do grânulo de amido tornando sua superfície mais disponível para os solventes digestivos e enzimas, e também para a ação da microbiota do rúmen no caso de ruminantes (Mello, 1991). Este tratamento então aumenta a velocidade e intensidade da digestão final, convertendo assim o amido em energia e proteína microbiana para o animal. Isto resultante da combinação entre umidade, calor, energia mecânica e pressão. A temperatura do processo de gelatinização varia com o tipo de amido processado. Amilose é um tipo de amido mais cristalizado que requer maior temperatura em seu processo de gelatinização do que a amilopectina, que é um tipo de amido menos cristalizado (Neto, 2005).

O aquecimento dos grãos na presença de água promove solubilização parcial do amido, quando os grânulos de amido perdem a cristalinidade (French, 1973; Wang et al., 1998). Esse processo é denominado gelatinização e ocorre devido a quebra das pontes de hidrogênio entre as moléculas de amilose e amilopectina, permitindo a entrada de água dentro dos grânulos (Hoover, 2001). A temperatura de gelatinização do amido varia com o tipo de grão, o que pode refletir as diferenças na composição bioquímica do amido e interação desse com a matriz proteica.

O aquecimento do amido também pode reduzir a sua digestibilidade quando o processo não é feito adequadamente. Após este processamento, a amilose potencialmente pode se recrystalizar e tornar-se menos digestível do que era antes do processamento. O super-aquecimento do



amido pode resultar no processo de caramelização. Esta condensação entre aminoácidos e açúcares produz os chamados produtos indigestíveis da Reação de Maillard. Então devemos reconhecer que os alimentos podem ser tratados com o calor para atender aos mais variados propósitos, incluindo não somente a gelatinização do amido mas também o incremento da palatabilidade, textura, facilitar o seu manuseio e incrementar a digestibilidade de outros nutrientes (Neto, 2005).

EXTRUSÃO

O amido é afetado pela extrusão e aquecimento. Durante a extrusão ocorre uma mudança física no amido, ocasionando sua gelatinização. Inicialmente, a água aquecida rompe a cristalinidade da amilose e desfaz sua estrutura ordenada. Os grânulos de amido incham e aumentam de volume. A amilose começa a se expandir, os grânulos se rompem e mais moléculas de água se unem aos radicais hidroxílicos expostos na cadeia de amido, resultando em uma estrutura de gel coloidal com a amilose suportando os grânulos rompidos que consistem, basicamente, de amilopectina. As moléculas de amido se recombina, ligando-se a outros nutrientes, formando uma estrutura porosa, relativamente estável e que serve para absorver gordura e umidade (Jorge Neto, 1992; 1993).

Relativo à extrusão por via seca, de acordo com Theurer (1986), é um processo de cozimento sob pressão, umidade e alta temperatura (de 138 a 160°C) e pressão de 20 a 40 atm, durante 30 segundos ou menos. Ao passar pelo orifício, a diminuição súbita da pressão faz com que o grão se expanda e re-hidrate, causando a gelatinização do amido e aumentando a superfície do grão sujeita ao ataque microbiano, resultando em maior digestão ruminal do amido (Rooney & Pflugfelder, 1986). Ocorre também, a desnaturação das

proteínas, destruição dos microorganismos e de alguns componentes tóxicos.

Já o processo de extrusão úmida é semelhante ao descrito na via seca. No entanto o material recebe água e vapor. O objetivo deste condicionamento antes da extrusão é obter uma mistura homogênea, uniformemente umedecida e pré-aquecida. A utilização de alta temperatura e pressão, por pequeno tempo de permanência durante o processo de extrusão, melhora as propriedades físicas e químicas dos ingredientes, uma vez que rompem a parede celular, proporcionando melhor cozimento e aumentando a disponibilidade dos nutrientes (Herkelman et al., 1990; Soto, 1996).

Este processo consiste em se pressionar os grãos através de uma hélice com orifício reduzido, produzindo pressão de grande intensidade sobre o material. Esta pressão produz calor. Normalmente, máquinas extrusoras "cozinham" os alimentos em temperaturas de 138 a 160° C e 20 a 40 atm de pressão, durante 30 segundos ou menos. Quando o alimento passa no orifício e a pressão diminui subitamente, o grão se expande e re-hidrata. Este processo causa a gelatinização do amido com a exposição dos nutrientes contidos no interior das células vegetais, favorecendo a ação digestiva e melhorando a eficiência alimentar (Kubitza, 1998).

PELETIZAÇÃO

Este processo consiste em se forçar os grãos através de uma matriz, compactando-os em péletes. Vapor é adicionado ao processo elevando a temperatura do alimento para 60 a 82°C e elevar o teor de umidade do mesmo para 12 a 13%. Conforme a gelatinização avança através da inclusão de grãos com menor temperatura de processamento e através da utilização de boas práticas de produção, pélete de melhor qualidade são produzidos.



Por exemplo, farinha e outros subprodutos de trigo, apresentaram menores temperaturas de gelatinização e são reconhecidos por melhorarem a qualidade dos péletes. Os Péletes auxiliam no consumo, na palatabilidade, no transporte e na redução da separação de ingredientes pelo animal. Também auxilia no incremento da densidade energética das dietas. Isto é especialmente útil quando subprodutos fibrosos, tais como farelo de trigo, são incluídos na alimentação dos animais. Além disso, o calor de peletização também causa a redução dos níveis de toxinas que podem estar presentes nos grãos (Neto, 2005).

LAMINAÇÃO

O grão laminado normalmente recebe uma carga de vapor por 10 a 15 minutos onde aumenta a umidade para 12 a 14%. Depois disso os grãos são prensados através de passagem entre dois rolos sob alta pressão e vapor, os quais podem variar em tamanho, tipo de esmagamento e velocidade de passagem. O processo de laminação pode ocorrer sob duas formas, a seco e a vapor. Segundo Butolo (2002), a digestibilidade do milho laminado é maior em relação ao milho inteiro, ao passo que em relação ao grão moído é menor, pois a ação enzimática no processo digestivo é menos intensa em função do maior tamanho das partículas.

FLOCULAÇÃO

Nesse processo a aplicação de vapor é melhor monitorado do que na laminação, fazendo com que a umidade do grão aumente até níveis próximos a 18%. Dessa maneira são necessários aproximadamente 30-60 minutos de vapor para grãos de milho, sendo necessário no mínimo o dobro de tempo para grãos de sorgo. A temperatura do grão e de aproximadamente 100° C no momento em que entram no rolo de prensagem. A média considerada ótima para o processo de prensagem é de 0,05

mm. Entretanto, vale lembrar que normalmente o processo de floculação de grãos é muito mais caro que o processo de moagem fina dos mesmos (Hale & Theurer, 1972).

MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO OU QUANTIFICAÇÃO DO AMIDO

Normalmente, o amido dos alimentos é quantificado pelo teor de glicose liberada após sua completa hidrólise enzimática, pelo uso combinado de enzimas amilolíticas (ASP, 1996). A α -amilase promove a fragmentação da molécula de amido por hidrólise das ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$, produzindo açúcares redutores de baixo peso molecular (maltose, maltotriose e maltotetrose). Todavia, esta enzima não hidrolisa as ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow6)$ presentes na amilopectina e, por isso, deve-se utilizar a amiloglicosidase, para completa hidrólise do amido em glicose. No entanto, técnicas baseadas neste princípio não são eficientes para a determinação do amido resistente (Haralampu, 2000).

Diante deste problema, a partir da década de 80, os esforços se concentraram no desenvolvimento de técnicas que contemplassem a determinação, conjunta ou separadamente, destas duas frações. Entretanto, a quantificação do amido resistente é problemática, uma vez que este não possui uma estrutura química diferenciada, sendo composto por um conjunto de estados físicos que alteram a taxa de digestão do amido convencional (Haralampu, 2000).

ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NO INFRAVERMELHO (FTIV)

Proposta por (Smith, 1998; Sala, 2000), a espectroscopia de infravermelho (espectroscopia IV) é uma técnica de espectroscopia de absorção a qual usa a região do infravermelho do espectro eletromagnético. Como as demais técnicas espectroscópicas, ela pode ser usada para



identificar um composto ou investigar a composição de uma amostra. Trabalhando quase que exclusivamente em ligações covalentes, e é de grande emprego na química, especialmente na química orgânica.

A função das técnicas espectroscópicas é detectar e analisar a radiação eletromagnética vinda de uma amostra. Essa radiação pode ser resultante da transmissão ou espalhamento de um feixe incidente ou ser originária da própria amostra. Cada região do espectro eletromagnético interage de forma distinta com a matéria: os raios gama podem ser emitidos ou absorvidos pelos núcleos, possibilitando uma mudança de estado; os raios-X podem interagir com núcleos e elétrons, sendo absorvidos ou espalhados; a luz visível pode interagir com os elétrons de átomos e moléculas, promovendo-os para estados excitados; e a radiação infravermelha pode estimular vibrações e rotações moleculares (Ito, 2004).

As radiações eletromagnéticas podem ser descritas por sua frequência, n , comprimento de onda, l , (λ) ou número de onda, W . A frequência e o comprimento de onda se relacionam pela equação:

$$c = n\lambda$$

onde c é a velocidade da luz, n é a frequência e l é o comprimento de onda. O número de onda é definido como o inverso do comprimento de onda, ou seja, $W = 1/l$.

Na espectroscopia de infravermelho é comum usar o número de onda para descrever a radiação e a unidade mais comumente usada é o cm^{-1} . Desta forma, a radiação infravermelha se subdivide em infravermelho próximo (14000cm^{-1} a 4000cm^{-1}), infravermelho médio (4000cm^{-1} a 400cm^{-1}) e infravermelho longínquo (400cm^{-1} a 4cm^{-1}). A maior parte das moléculas absorvem luz no infravermelho médio. Quando uma molécula absorve radiação infravermelha, seus átomos vibram. O movimento vibracional causado

pela absorção no infravermelho é complexo, mas pode ser dividido em um determinado número de vibrações constituintes, chamadas modos normais de vibração.

É possível calcular o número total de modos normais de vibração de uma molécula. Se cada átomo de uma molécula de N átomos pudesse se mover livremente nos três eixos cartesianos (x , y e z), essa molécula teria $3N$ graus de liberdade, porém em uma molécula real as translações e as rotações devem ser desconsideradas e os modos puramente vibracionais serão representados por $3N - 6$ graus de liberdade internos. Para uma molécula linear, desconsideram-se apenas 2 modos rotacionais, obtendo-se $3N - 5$ modos normais de vibração.

Normalmente as medidas de espectroscopia de infravermelho são feitas em um espectrômetro de infravermelho por transformada de Fourier (*Fourier Transformed Infrared*, FTIR). A radiação infravermelha, emitida por uma fonte, é direcionada para um interferômetro, onde é modulada. Após passar pelo interferômetro, a radiação passa pela amostra e depois é focada no detector. O sinal medido pelo detector é chamado de interferograma que é convertido em um espectro por meio de uma operação matemática denominada transformada de Fourier (Smith, 1998; Sala, 2000).

DIFRAÇÃO PARTICULAR A LASER (PARTICA)

A técnica de análise de tamanho de partículas por difração de laser é muito utilizada em diversos ramos industriais devido à sua facilidade de operação, rapidez e amplitude de leitura. Por este método, as partículas são dispersas num fluido em movimento causando discontinuidades no fluxo do fluido, que são detectadas por uma luz incidente, e correlacionadas com o tamanho de partícula. Ao atingir uma



quantidade de partículas, a luz incidente sofre uma interação segundo quatro diferentes fenômenos (difração, refração, reflexão e absorção) (Hildebrand, 1999), formando um invólucro tridimensional de luz. O formato e o tamanho deste invólucro são afetados pelo índice de refração relativo da partícula no meio dispersante, pelo comprimento de onda da luz, e pelo tamanho e formato da partícula.

Esses instrumentos de difração de laser usam Modem Mie Teoria como base dos cálculos de seu tamanho. Como Mie Teoria que abrange toda dispersão de luz por partículas esféricas, os dados de ambos os PIDS e dados de difração de raios laser pode ser transformada em uma distribuição de tamanho de partículas, usando um algoritmo contínuo. Abaixo de 5 μ m, é necessário considerar o índice de refração e de extinção das partículas e usar-se a equação de Mie para obter-se resultados quantitativos confiáveis (Saliba, 2009).

TÉCNICA ENZIMÁTICA

A técnica de degradação do amido pode ser realizada por via química ou enzimática, sendo o processo conhecido como sacarificação. No caso da degradação enzimática, o reagente de lugol (5g de I₂ + 10g de KI em 100 mL de H₂O) diluído 20 vezes com H₂O combinado com o amido resulta num complexo de cor azul e com o glicogênio um complexo de cor vermelha. Celulose, mono e dissacarídeos não dão coloração com iodo (McCleary et al., 1997a,b).

DETERMINAÇÃO DO AMIDO RESISTENTE

A determinação do amido resistente pode ser realizada por métodos *in vivo* ou *in vitro*. Nos métodos *in vivo*, são realizadas coletas de amostra diretamente do íleo ou estimativa da quantidade de amido fermentado no cólon (Champ & Faisant 1996). Porém, estas técnicas são onerosas e

inconvenientes, tanto em estudos com humanos como com animais.

Por este motivo, foram desenvolvidos métodos *in vitro*, os quais podem ser diretos ou indiretos. Nos diretos, o amido resistente é quantificado após remoção da fração digerível por tratamento enzimático, simulando a hidrólise que ocorre na parte superior do trato digestivo (boca, estômago e intestino delgado) (Berry, 1986; Champ & Faisant, 1996). Após esta etapa, o amido remanescente é solubilizado com hidróxido de potássio ou dimetilsulfóxido, e novamente hidrolisado por enzimas amilolíticas. Os métodos indiretos são baseados na determinação do amido total e do amido disponível, de onde se obtém, por diferença, a quantidade de amido resistente (Champ & Faisant, 1996). Entretanto, estes métodos acumulam erros de duas determinações experimentais (Goñi et al., 1996).

Os métodos *in vitro* variam em relação ao modo como a amostra é preparada, tipos e quantidades de enzimas, condições de tempo e de temperatura de incubação e substâncias utilizadas para a solubilização da fração resistente.

Estas variações dificultam a comparação dos resultados de amido resistente obtidos pelas distintas técnicas propostas. Alguns destes métodos propõem que a preparação da amostra para análise *in vitro* seja realizada a partir do processo de mastigação, já que para medir a taxa e extensão da digestão do amido é necessário que a amostra seja analisada como ela é ingerida, sem moagem excessiva ou qualquer tratamento preparativo (Englyst et al., 1992; Muir & O'dea, 1992).

No entanto, a mastigação é um método altamente individual e variável, sendo que a técnica escolhida deve ser reprodutível e refletir a divisão média do alimento alcançada pela mastigação. Desta forma, o mais indicado é que as amostras sejam trituradas por moagem, a qual,



alterando a forma física do alimento, aumenta o acesso das enzimas amilolíticas (Muir & O’dea, 1992). Apesar dos métodos existentes utilizarem enzimas amilolíticas na determinação do amido resistente, somente alguns recorrem à protease. O uso desta enzima é recomendado para melhor simulação das condições fisiológicas (enzimas digestivas proteolíticas, pH ácido).

Além disso, a remoção de proteínas aumenta a acessibilidade da amilase, evitando associações amido-proteína e a encapsulação do amido por matriz protéica, a qual pode formar uma estrutura rígida e impedir a gelatinização e hidrólise do grânulo de amido (Goñi et al, 1996; Escarpa et al., 1997).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O milho, um ingrediente de boa qualidade e de grande uso na nutrição de suínos, ao passar por diferentes processamentos, torna o amido nele contido mais disponível, melhorando a digestibilidade, reduzindo o custo da ração e otimizando o desempenho dos animais.

Novas técnicas como espectroscopia de absorção atômica no infravermelho (FTIV) e difração particular a laser (PARTICA), tem sido recomendadas na avaliação do amido em função da técnica enzimática tradicionalmente usada ser bastante laboriosa, mais cara, em detrimento das técnicas instrumentais que tem uma boa confiabilidade, e aceitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASP, N.G. Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. **Food Chemistry**, v.57, n.1, p.9-14, 1996.

BERRY, C.S. Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. **Journal of Cereal Science**, v.4, n.4, p.301-314, 1986.

BOTHAM, R.L.; CAIRNS, P.; MORRIS, V.J. et al. A physicochemical characterization of chick pea starch resistant to digestion in the human small intestine. **Carbohydrate Polymers**, v.26, n.2; p.83-90, 1995.

BUTOLO, J.E. **Qualidade de ingredientes na alimentação animal**. Campinas: 2002. 430p

CHAMP, M.; FAISANT, N. Resistant starch: analytical and physiological aspects. **Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.1, p.37- 43, 1996.

ENGLYST, H.N.; HUDSON, G.J. The classification and measurement of dietary carbohydrates. **Food Chemistry**, v.57, n.1, p.15-21, 1996.

ENGLYST, H.N.; KINGMAN, S.M.; CUMMINGS, J.H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. **European Journal of Clinical Nutrition**, v.46, n.2, p.S33-S50, 1992.



ENGLYST, H.N.; WIGGINS, H.S.; CUMMINGS, J.H. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. **Analyst**, v.107, n.1272, p.307-318, 1982.

ESCARPA, A.; GONZÁLEZ, M.C.; MORALES, M.D. et al. An approach to the influence of nutrients and other food constituents on resistant starch formation. **Food Chemistry**, v.60, n.4, p.527-532, 1997.

FAISANT, N.; CHAMP, M.; COLONNA, P. et al. Structural discrepancies in resistant starch obtained *in vivo* in humans and *in vitro*. **Carbohydrate Polymers**, v.21, n.1, p.205-209, 1993.

FERRARINI, H. **Determinação de teores nutricionais do milho por espectroscopia no infravermelho e calibração multivariada**. 2004. Dissertação(Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

FRENCH, D. Chemical and physical properties of starch. **Journal of Animal Science**, v.37, n.4, p.1048-1061, 1973.

GOÑI, I.; GARCÍA-DIZ, L.; MAÑAS, E. et al. Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. **Food Chemistry**, v.56, v.4, p.445-449, 1996.

HALE, W.H.; THEURER, B.C. Feed preparation and processing. In: DIGESTIVE PHYSIOLOGY AND NUTRITION OF RUMINANTS, vol.3, **Practical nutrition**. 1972.

HARALAMPU, S.G. Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS3. **Carbohydrate Polymers**, v.41, n.3, p.285-292, 2000.

HERKELMAN, K. L.; HODHOUSE, S. L.; VEUM, T.L. Effects of extrusion on the ileal and fecal digestibilities of lysine in yellow corn in diets for young pigs. **Journal Animal Science**, v.68, n.8, p.2414-2424, 1990.

HILDEBRAND, H. **Refractive Index Considerations in Light Scattering Particle Size Measurements in Advances in Process Control Measurements for the Ceramic Industry**. A. Jillavenkatesa and G. Onoda, ed., American Ceramic Society, Westerville, OH p. 379,1999.

HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. **Carbohydrate Polymers**. v.45, n.3, p.253-267, 2001.

HUNTINGTON, G. B. Starch utilization by ruminants: From basics to the bunk. **Journal of Animal Science**, v.75, n.3, p.852-867, 1997.

ITO, J.A. Técnicas Espectroscópicas em Biofísica. **Caderno de Física da UEFS**, v.3,n.1, p.21-29. 2004.

JENKINS, D.J.A.; VUKSAN V.; KENDALL, C.W. et al. Physiological effects of resistant starches on fecal bulk, short chain fatty acids, blood lipids and glycemic index. **The Journal of the American College of Nutrition**, v.17, n.6, p.609- 616, 1998.

REVISTA ELETRÔNICA NUTRITIME – ISSN 1983-9006 www.nutritime.com.br

Artigo 256 Volume 11 - Número 04– p. 3508- 3514 – Julho/Agosto 2014

O MILHO PROCESSADO E DIFERENTES TÉCNICAS DE DETERMINAÇÃO DO AMIDO NA ALIMENTAÇÃO DE SUÍNOS



JORGE NETO, G. Soja integral na alimentação animal. In: SEMINÁRIO DE SUÍNOS GUABI, 1993, Lindóia, **Anais...** Lindóia, 1993.

JORGE NETO, G. Soja integral na alimentação de aves e suínos. **Avicultura e Suinocultura Industrial**, v. 82, n. 988, p.4-15, 1992.

JOY, M.T.; DEPETERS, E.J.; GADEL, J.G. et al. Effect of corn processing on the site and extent of digestion in lactating cows. **Journal of Dairy Science**, v.80, n.9, p.2087-2097, 1997.

KUBITZA, F. **Nutrição e alimentação dos peixes cultivados**. 3.ed. Campo Grande, MS, p.45-47, 1998.

LIMA, G.J.M.M. Grãos de alto valor nutricional para a produção de aves e suínos: oportunidades e perspectivas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba, 2001.

McCIEARY, B.V.; GIBSON, T.S.; MUGFORD, D.C. Collaborative evaluation of a simplified assay for total starch in cereal products (AACC Method 76-13). **Cereal Foods World**, v.42, n.6, p.476-480, 1997a.

McCIEARY, B.V.; GIBSON, T.S.; MUGFORD, D.C. Measurement of total starch in cereal products by amyloglucosidase- α -amylase method: Collaborative study. **Journal of AOAC International**, n.80, n.3, p.571-579. 1997b.

MELLO, C.A.Jr. Processamento de grãos de milho e sorgo visando aumento do valor nutritivo. In: Simpósio sobre nutrição de bovinos, 4., 1991, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba, 1991.

MENDES, W.S. **Valor Nutritivo do milho, sorgo e soja submetidos ou não a diferentes processamentos térmicos para suínos em crescimento**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MUIR, J.G.; O'DEA, K. Measurement of resistant starch: factors affecting the amount of starch escaping digestion *in vitro*. **The Animal Journal of Clinical Nutrition**, v.56, n.1, p.123-127, 1992.

NETO A. [2005]. **Processamento de grãos**. Disponível em <www.rehagro.com.br/siterehagro/publicacao.do?cdnoticia=136> Acesso em: 17 fev. 2014.

O'DEA, K.; SNOW, P.; NESTEL, P. Rate of starch hydrolysis *in vitro* as a predictor of metabolic responses to complex carbohydrate *in vivo*. **The Animal Journal of Clinical Nutrition**, v.34, N.10, p.1991-1993, 1981.

PAPINI, C.J.; YOSHITO, W.K.; GOUVÊA, D. et al. Influence of the dispersion condition on the particle size distribution analysis of an alumina powder. In: FOURTH INTERNATIONAL LATIN AMERICAN CONFERENCE ON POWDER TECHNOLOGY, 2003, Guarujá, **Anais...** Guarujá, 2003.



PEDRENHO A.R.; SILVA S.A.; CHAGAS G. M. et al. [2007]. **Química Fisiológica**. Disponível em: <www.ufrj.br/institutos/ib/dcf/qfis/apostilaP.pdf.> Acesso em 17 fev. 2014.

ROONEY, W.L.; PFLUGFELDER, R.L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Animal Science**, v.63, n.1, p.1607-1623, 1986.

SALA, O. **Fundamentos da Espectroscopia Raman e no Infravermelho**. 2.ed. Editora da UNESP, 2000, Capítulo 1.

SALIBA E. de O. S.; OLIVEIRA M. C. de, FARIA E. P. et al. Avaliação da concentração de amido na raiz de genótipos de mandioca através das técnicas enzimáticas, Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIV) e análise particular por difração a laser (Partica). In: 46ª REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46., 2009, Maringá, **Anais...** Maringá:SBZ, 2009.

SANTOS, D. A. *Utilização do milho pré-gelatinizado na alimentação de leitões (7 a 45 dias) e pintos de corte (1 a 21 dias)*. 2006. *Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiânia*.

SMITH, C.E. *Cellular and Chemical events during enamel maturation*. **Critical Reviews in Oral Biology & Medicine**, v.9, n.2, p. 128-161, 1998.

SOTO, W.L.C. **Efeito da utilização da soja semi-integral extrusada sobre o desempenho e características das carcaças dos suínos**. 1996. *Dissertação (Mestrado) – Campus de Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista*.

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

THARANATHAN, R.N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. **Critical Reviews Biotechnology**, v.22, n.1 p.65-84, 2002.

THEURER, C.B. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 63, n.1, p.1649-1662, 1986.

TRINDADE NETO, M.A.; LIMA, J.A.F.; FIALHO, E.T. et al. Farelo de glúten de milho (FMG) para suínos em crescimento e terminação (desempenho). **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.24, n.1, p.108-116, 1995.

YUE, P.; WARING, S. Resistant starch in food applications. **Cereal Food World**, v.43, n.9, p.690-695, 1998.

WALTER M.; SILVA. L.P.; EMANUELLI T. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, v.35, n.4, p.974-980. 2005.



WANG, M.-B., Li, Z.-Y., Matthews, P.R., Upadhyaya, N.M., Waterhouse, P.M. (1998) Improved vectors for *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation of monocot plants. *Acta Horticulturae*, v.461, n.1, p.401-407, 1998.

WOLF, B. W.; BAUER, L.L.; FAHEY G.C.Jr. Effects of chemical modification on *in vitro* rate and extent of food starch digestion: an attempt to discover a slowly digested starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.47, n.10, p.4178-4183, 1999.

ZINN, R.A. [1992]. Influence of Steam-Processing of Corn, Sorghum, Barley and Oats on Nutrient Utilization in Cattle. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 29., 1992, Lavras. **Anais...** Lavras: SBZ, 1992.

ZINN, R.A; OWENS, F.N.; WARE, R.A. Flaking corn: processing mechanics, quality standards, and impacts on energy availability and performance of feedlot cattle. **Journal of Animal Science**, v.80, n.5, p.1145-1156, 2002.