

**PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS (EXPANDIDOS E EXTRUSADOS  
VERSUS FARELADOS E PELETIZADOS)**

**Revisão feita para a empresa  
Vale Verde Comércio e  
Industria Limitada**

**Flávia Maria de Oliveira Borges  
*Médica Veterinária - Dr<sup>a</sup> Nutrição Animal*  
Belo Horizonte  
Abril, 2000**

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b><u>INTRODUÇÃO</u></b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b><u>PROCESSAMENTOS – PELETIZAÇÃO, EXTRUSÃO E EXPANSÃO</u></b>	<b>3</b>
2.1	PELETIZAÇÃO	4
2.2	EXTRUSÃO	4
2.3	EXPANSORES E EXTRUSORES	7
<b>3</b>	<b><u>INCLUSÃO DE ÓLEO NA DIETA</u></b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b><u>AVALIACÃO DO VALOR NUTRICIONAL DE ALIMENTOS EXTRUSADOS</u></b>	<b>11</b>
4.1	EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE A QUALIDADE DA FIBRA	11
4.2	EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE A QUALIDADE DO AMIDO	14
4.3	EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE A DISPONIBILIDADE DAS PROTEÍNAS E AMINOÁCIDOS	15
4.4	EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE A DISPONIBILIDADE DAS VITAMINAS	16
4.5	EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE A DISPONIBILIDADE DOS MINERAIS	17
4.6	EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE A ELIMINAÇÃO DE FATORES ANTINUTRICIONAIS	18
<b>5</b>	<b><u>EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE OS CEREAIS E OUTRAS MATÉRIAS PRIMAS</u></b>	<b>19</b>
5.1	EXTRUSÃO DA SOJA	20
5.2	PROCESSAMENTOS DA SOJA	21
<b>6</b>	<b><u>EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE A ELIMINAÇÃO DE MICROORGANISMOS PATOGÊNICOS</u></b>	<b>23</b>
<b>7</b>	<b><u>AVALIACÃO DE DESEMPENHO</u></b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b><u>ACEITABILIDADE DAS RAÇÕES EXTRUSADAS E EXPANDIDAS</u></b>	<b>29</b>
<b>9</b>	<b><u>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</u></b>	<b>31</b>
	<b>ANEXO 1</b>	<b>38</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

A alimentação representa o principal custo na produção animal, portanto, é importante que uma dieta seja adequada sob o ponto de vista nutricional e, além disto, estimule o consumo sem desperdícios.

Pode-se definir o processamento dos alimentos como sendo modificações físicas, químicas, térmicas ou bacterianas que se efetuam nos alimentos antes de oferta-los aos animais.

O processamento é efetuado para:

- ✓ Alteração de sua forma física ou do tamanho de partículas
- ✓ Conservação
- ✓ Aumento da aceitabilidade ou digestibilidade
- ✓ Modificação de sua composição nutricional
- ✓ Eliminação de elementos tóxicos

Geralmente, os métodos de preparação de alimentos tornam-se mais importantes à medida que se aumenta o nível de alimentação com o objetivo de uma produção máxima.

## **2 PROCESSAMENTOS – PELETIZAÇÃO, EXTRUSÃO E EXPANSÃO**

Inicialmente podemos separar os processamentos em secos ou úmidos. Além disto podemos citar processamentos com altas temperaturas e pressões. etc. Não caberia aqui detalhar todas as formas de processamento de alimentos para a produção animal, no entanto, devem ser comentados alguns processamentos mais importantes.

Tanto a peletização quanto a extrusão ou a expansão usam os mesmos princípios: vapor, temperatura e pressão. Apesar dessas semelhanças, os produtos finais desses processamentos apresentam varias diferenças, tanto físicas, quanto nutritivas. Enquanto que o alimento peletizado apresenta alta densidade física, os alimentos expandidos e extrusados apresentam densidades mais baixas. Entretanto, muitas vezes a densidade nutricional dos

alimentos expandidos e extrusados é maior que a dos peletizados. Esse fato é devido a algumas particularidades desses dois últimos processamentos, como uma maior incorporação de gorduras e óleos, ao contrário do processo de peletização, onde a inclusão de óleo é fator limitante. No **anexo 1** encontram-se exemplos de densidade física e nutricional de rações peletizadas e extrusadas.

## ***2.1 Peletização***

O processo consiste em submeter os alimentos a moagem e posteriormente a pressão, umidade e calor, de forma que se consiga obter comprimidos (péletes), de vários tamanhos ou formas. Neste processamento muitas vezes utilizam-se ligantes (aditivos). MORAN (1989) e WENGER-EUROPE (1997) citam que a peletização oferece uma série de vantagens:

- Aumenta a densidade física de rações muito volumosas, reduzindo o custo de transporte e armazenagem.
- Aumenta o consumo da ração pelos animais .
- Reduz a pulverulência de rações muito secas (evita os problemas respiratórios e facilita o manuseio).
- Elimina a seleção de ingredientes (particularmente em aves).
- Reduz o desperdício em comedouros.

Entretanto, deve-se considerar também as desvantagens desse processamento:

- Perdas com o desmanche dos péletes (algumas vezes podem chegar a 30%), durante o transporte e o armazenamento.
- Destruição pelo calor, umidade e pressão de parte das vitaminas e antibióticos adicionados à mistura (entre 10 - 20 %), necessitando de quantidades maiores destes aditivos.
- Problemas com alimentos com alto teor de lipídeos (os pélets se esfarelam). A inclusão de lipídios não deve ultrapassar a 6%, sob o risco de interferir nas propriedades físicas do produto.

## ***2.2 Extrusão***

Consiste em submeter o alimento a variações de pressão abruptas, elevando a pressão interna do alimento e diminuindo a externa, o que causaria uma

expansão da matéria. A tecnologia de expansão de alimentos está baseada em expor a massa alimentícia a ser processada a uma alta temperatura por um curto espaço de tempo. Após essa exposição os alimentos passam pelos processos normais de peletização, entretanto diferem dos péletes por uma série de vantagens descritas na seqüência (DALE, 1996).

- ✓ Permite uma alta inclusão de lipídios sem danificar as propriedades físicas do produto; esta inclusão pode ser feita antes da peletização do produto previamente extrusado.
- ✓ Melhor valor energético do alimento ao intensificar a digestibilidade.
- ✓ Higiene do produto – Eliminam microorganismos patogênicos como bactérias, fungos, etc...
- ✓ Reduzem os níveis de substâncias inibidoras de crescimento e outros fatores antinutricionais, desde que termolábeis.
- ✓ Reduzem a presença de pó e as perdas por esfarelamentos dos pélets.
- ✓ Permitem uma maior flexibilidade na formulação: podem ser utilizados altos níveis de ingredientes que normalmente diminuiriam a qualidade dos pélets.
- ✓ Aumentam a características ligantes da mistura devido a uma alta gelatinização do amido (SORAL, 1992) presente nos ingredientes normalmente utilizados na formulação. Conseqüentemente diminuem a utilização de aditivos ligantes.
- ✓ A secagem rápida dos péletes durante a extrusão diminui a necessidade de aditivos fungicidas.

A inclusão de lipídios e outros líquidos pode chegar até 20% sem exceder a 2% de pó (explicar isso melhor)

Pode-se aumentar a energia metabolizável em até 4%, devido ao aumento da digestibilidade da gordura.

A diminuição de bactérias patogênicas, mofo e fungos pode chegar a zero com a combinação de temperatura, pressão e umidade nas extrusoras e expansoras.

LUCTH (1997) e avalia as vantagens dos alimentos extrusados e expandidos em comparação com alimentos farelados e peletizados. O processo de produção é descrito com um diagrama de fluxo e detalhes do expansor. As características físicas do produto, inclusive densidade (g/litro), estrutura de grânulo, características de fluxo e solubilidade em água, são comparados com os alimentos peletizados e farelados para aves e suínos. As recuperações de vitaminas A, B, C, D3, E, ácido pantotênico, ácido fólico, biotina, niacina e colina após o processamento indicam uma alta estabilidade das vitaminas nos alimentos extrusados quando comparados com aqueles peletizados.

Segundo LUCTH (1998), da mesma forma, as recuperações de proteína, metionina, cistina, lisina e treonina foram mais altas nos alimentos expandidos. Além disso a gelatinização do amido (% gelatinização com amiloglucosidase) foi melhorada com o processo de expansão. Os alimentos expandidos apresentaram melhor digestibilidade de gordura (82,9 vs. 70,6%) e celulose (17,9 vs. 8,2%) para aves, quando comparados aos alimentos peletizados.

A extrusão aumenta a digestibilidade da fibra dietética. RALET et al. (1991) relata um aumento de 16% a 46% da fibra da polpa de beterraba extrusada em uma extrusora "Cletral AC 45" de roscas gêmeas usando combinações de 100 ou 180 C, 150 ou 250 r.p.m. e 30 ou 20% de umidade adicionada.

Suínos alimentados com alimentos extrusados desenvolveram menos úlceras de estômago e apresentaram taxas mais altas de ganho diário que suínos recebendo alimentos peletizados. Em um estudo com 34 000 galinhas poedeiras de 20 a 72 semanas observou-se que o número de ovos, peso do ovo, consumo de alimentos e conversão alimentar foram, respectivamente: 302, 18,65 kg, 108,6 g/dia e 1:2,12 quando alimentadas com rações extrusadas, enquanto os resultados correspondentes com rações fareladas foram: 289, 18,11 kg, 115,9 g/dia e 1:2,33, respectivamente. Os ganhos de pesos de frangos de corte até 50 dias foram mais altos com alimentos expandidos que com farelados e igualou ao ganho obtido com alimentos peletizados.

Experimentos com bovinos mostraram que a expansão aumentou a proporção de proteína não degradável no rúmen em cereais, grãos de soja, farelo de soja, farelo de linhaça e glúten de trigo sem reduzir sua digestibilidade intestinal. Dessa forma, o autor concluiu que o tratamento térmico através de expansão melhora as propriedades físicas do produto, como taxa de fluxo, estrutura e ausência de pó. Ao mesmo tempo a utilização dos nutrientes como o amido, proteína bruta, lipídeos e fibra bruta pelos animais, foi consideravelmente

melhorada . Outro ponto de interesse é que os alimentos que sofreram o tratamento térmico de expansão são livres de bactérias patogênicas, fungos e levedura.

### **2.3 *Expansores e extrusores***

Tanto as extrusoras como os expansores consistem em um tubo de paredes grossas com uma rosca sem fim, que misturam e amassam a massa alimentícia. Ambos possuem válvulas de injeção de vapor. Os movimentos da rosca sem fim e o vapor injetado levam a uma grande pressão na massa alimentícia. Essa pressão é obtida devido ao mecanismo final das extrusoras e expansoras. Os alimentos são empurrados para uma saída muito estreita tornando-se cada vez mais densos. A diferença entre os dois equipamentos encontra-se no final, a extrusora possui uma câmara de vácuo e a expansora uma válvula anular que expõem os alimentos a uma mudança brusca de densidade. Alimentos submetidos a uma grande pressão são expostos instantaneamente á pressão atmosférica. O resultado obtido no dois processos é o mesmo; uma expansão dos alimentos devido ao rompimento das paredes celulares por uma descompressão.

No expansores a pressão diminui imediatamente após a saída do produto pela válvula anular, que pode ser regulada de acordo com o tamanho do pellet a ser obtido. No momento da saída uma grande quantidade de água é evaporada instantaneamente, e isso faz com que a maioria dos expansores não necessitem de um equipamento de secagem adicional. Além disso, como resultado dessa evaporação da água, a temperatura cai repentinamente para menos de 90 graus centígrados.

Segundo HEIDENREICH e MICHAELSEN (1994), as extrusoras com "roscas gêmeas" (dupla rosca) reduzem a contagem celular de microorganismos, modificam e hidrolisam o amido, degradam substâncias antinutricionais além de melhorar a qualidade sensorial dos alimentos. Os efeitos indesejáveis incluem reação de Maillard e desnaturação das proteínas. A reação de Maillard é uma reação química provocada por altas temperaturas (acima de 70° C), entre o grupo  $\gamma$  amino livre da lisina (aminoácido presente na proteína) e a carboxila terminal do carboidrato. Esta reação torna os dois nutrientes indisponíveis e descaracterizados.

As características físicas do produto final são determinadas pela velocidade de giro das roscas (ou rosca, no caso dos expansores de roscas simples), temperatura no interior do tubo expansor, umidade da mistura e vapor

adicionado durante o processamento. TOMAS et al. (1994) estudaram o efeito da velocidade de giro da rosca, taxa de fluxo, temperatura do tubo e níveis de umidade nas características físicas do amido de arroz extrusado. A caracterização física foi avaliada medindo densidade, conteúdo de umidade final e teste de resistência à quebra. A farinha de arroz (1,5% proteína e 6% umidade) foi misturada à 55-65% de água e extrusada em um extrusor de rosca dupla co-giratória com um cubo de vácuo. A umidade incorporada foi a variável mais importante nas características físicas das amostras, entretanto a interação entre umidade e temperatura do tubo também interferiram nas características, embora apresentassem um efeito menos significativo.

COLONNA e DELLA VALLE (1994) publicaram um livro que apresenta um quadro completo do conhecimento presente relativo a extrusão na preparação de alimentos humanos e animal. São cobertos aspectos básicos e práticos em 18 capítulos escritos por 34 especialistas europeus e japoneses. A publicação é dividida em duas seções principais que lidam com matérias primas e produtos finais, e com a compreensão, desenvolvimento e controle do processo. Aspectos técnicos importantes são demonstrados através de numerosas figuras, desenhos e fotografias. O trabalho é direcionado aos engenheiros e técnicos na indústria, administradores industriais, e professores universitários e estudantes, mas é igualmente valioso para produtores que usam extrusão comercialmente.

Outra revisão sobre alimentos extrusados e apresentado por FOCANT et al (1993). Nessa revisão são discutidas suas vantagens na preparação de alimentos animais particularmente com respeito a pesquisa no próprio instituto dos autores. Depois de uma introdução histórica, é descrita a tecnologia envolvida. Efeitos bioquímicos de extrusão que afetam o valor nutritivo dos alimentos como a desnaturação de proteínas, gelatinização do amido, inativação de fatores antinutricionais e complexação de ácidos graxos são listados. Os autores citam que a técnica permite o uso de alimentos não tradicionais. Além disso ressaltam que se tomados cuidados para assegurar a utilização de temperaturas corretas, os autores concluem que os animais que mais se beneficiam com alimentos extrusados são aqueles com baixa capacidade digestiva (leitões, pintinhos e pré-ruminantes), devido à sensibilidade a fatores antinutricionais e o requerimento em dietas ricas em lipídios.

As alterações nutricionais na proteína, amido e fibra dietética no processamento de extrusão a alta temperatura por um curto tempo são revisadas por ASP (1987) e comparados com processos tradicionais

alternativos, como a autoclavagem e peletização. O autor conclui que produtos com valor nutricional alto podem ser produzidos por extrusão desde que as condições de processamento sejam corretamente escolhidas e controlados.

Da mesma forma, MERCIER (1993) revisa os processamentos de extrusão, com ênfase na metodologia utilizada e os efeitos principais de extrusão no valor nutricional das proteínas, carboidratos (amido e fibras) lipídeos, vitaminas, minerais e fitatos.

### **3 INCLUSÃO DE ÓLEO NA DIETA**

Enquanto que o processo de peletização limita a inclusão de óleo na formulação devido aos problemas físicos como o esfarelamento, alimentos extrusados podem comportar a inclusão de, até, 15% de lipídios. Essa faixa mais ampla de inclusão de lipídeos se traduz em uma das grandes vantagens dos alimentos expandidos e extrusados, descritos na seqüência.

REINBEK (1889) cita que com a peletização somente de 2 a 5 % de gordura podiam ser incorporada a dieta e com o sistema de expansão esse valor pode chegar a 20%. Esse processo diminuiu a necessidade de aspensão de óleos após a peletização.

A adição de gorduras e óleos em dietas animais é extremamente interessante para aumentar o aporte energético em um menor volume ingerido. Este aspecto é particularmente importante para monogástricos e ruminantes em dadas condições ambientais e fisiológicas.

Para monogástricos, um dos principais problemas com relação à adaptação aos trópicos, seriam as altas temperaturas provocando a síndrome de stress calórico. Nesta síndrome, o primeiro sintoma apresentado seria a redução na ingestão de alimentos. Neste caso, o aporte de maior quantidade de energia em um menor volume e massa é recomendável, o que é conseguido mediante adição de lipídeos à dietas. A outra vantagem desta adição seria a diminuição do incremento calórico, reduzindo a produção de calor.

Este tipo de dieta pode ser dividida em duas categorias:

- ✓ *Dietas de alta energia*
- ✓ *Dietas de alta densidade*

As primeiras (alta energia), aportam uma quantidade elevada de energia, diminuindo a ingestão da dieta. Uma vez que os níveis dos outros nutrientes encontram-se normais, esta diminuição por causar um desbalanço nutricional ao animal, devido a menor ingestão de todos os outros nutrientes. Este tipo de dieta pode ser indicado para animais em terminação, por curtos períodos, mas não seria indicada para animais silvestres em cativeiro, quando se trabalha com níveis nutricionais para a manutenção.

Já as segundas (alta densidade nutricional), além de um nível alto de energia, apresentam teores elevados de todos os outros nutrientes, contornando o problema da menor ingestão. Esta ração é adequada para todos os estágios da criação, podendo ser utilizada por um período maior. Deste modo, é a dieta de eleição em períodos de stress calórico. Além disso são recomendadas para algumas espécie que exigem maior quantidade de lipídios na dieta, como carnívoros domésticos e silvestres, além de algumas outras espécies como aves, etc.

Além de fornecer energia, melhorar a absorção das vitaminas, diminuir a pulverulência, aumentar a palatabilidade, etc., as gorduras e os óleos, quando adicionados em até 15 % às rações, aumentam a eficiência de utilização da energia consumida, por causa do menor incremento calórico do metabolismo de lipídios.

Cerca de 30% da energia das proteínas e perdida como incremento calórico, enquanto que para CHO fica em torno de 6% e, para lipídeos, em torno de 3%. Este fenômeno, também denominado valor extracalórico das gorduras, provavelmente se dá por duas causas principais:

- Sinergismo entre ácidos graxos saturados e polinsaturados (fenômeno não observado com gorduras altamente saturadas)
- Redução da velocidade de passagem da ingesta pelo trato intestinal (absorção melhor de todos os nutrientes da dieta)

Outro ponto interessante e vantajoso das dietas extrusadas e também relacionados á adição de gorduras diz respeito á rancificação.

O ranço das gorduras pode ser definido como alterações na sua composição química, modificando seu aspecto físico e suas características organolépticas. Existem, basicamente, dois tipos de rancificação:

- **Oxidativa (Peroxidação)**
- **Hidrolítica**

A **rancificação hidrolítica** ocorre pela hidrólise dos lipídeos por microorganismos, com degradação à ácidos graxos mais glicerol. Este processo não interfere no valor nutricional dos lipídeos, ao contrário da rancificação oxidativa, no entanto pode alterar o sabor e odor da gordura, levando à problemas de palatabilidade. O fato das ração expandidas e extrusadas apresentarem níveis muito baixos ou mesmo ausência de microorganismos diminui esse tipo de rancificação, conservando as propriedades organolépticas dos pélets extrusados.

## 4 AVALIAÇÃO DO VALOR NUTRICIONAL DE ALIMENTOS EXTRUSADOS

### *4.1 Efeitos da extrusão sobre a qualidade da fibra*

Fibra é a denominação dada à parede celular dos vegetais, compostas por substâncias altamente heterogêneas, basicamente a Celulose, Hemicelulose (glicose com ligações  $\beta$  1-4), lignina (Polímeros fenólicos), substâncias pépticas, entre outros. A parede celular dos vegetais não é atacada por enzimas dos animais superiores, mas pode ser quebrada por enzimas de microorganismos. Daí pode-se deduzir que a fibra tem pouco valor para animais monogástricos não herbívoros, que apresentam baixa fermentação, mas tem grande valor para herbívoros ruminantes e não ruminantes (com ceco e intestino grosso com grandes locais de fermentação).

A celulose é um polímero da glicose com ligações  $\beta$ -1,4, o que a torna indisponível para animais superiores, uma vez que os mesmos não possuem enzimas capazes de romper estas ligações. Os microorganismos, entretanto, possuem enzimas (celulases) capazes de hidrolizar a celulose até glicose. A celulose é um dos carboidratos estruturais dos vegetais e apresenta uma grande relação com a lignina. A ligação beta entre as glicoses implica em que a molécula da celulose tome a forma de fita, ao contrario do amido, que tende a se enovelar.

A razão do nome da hemicelulose é que acreditou-se que fossem essas as precursoras da celulose. Hoje já sabe-se que, embora intimamente relacionadas á celulose e lignina, são heteropolissacarídeos com identidade

química própria. Na hidrólise fornecem hexoses, pentoses e, freqüentemente, ácidos urônicos. Podem ser parcialmente utilizadas por não herbívoros e totalmente utilizadas por herbívoros. Quantitativamente, situam-se entre 12 a 20% da MS das forragens. As hemiceluloses das gramíneas contém uma cadeia principal constituída de xilanas (glicose-glicose  $\beta$ 1,4), com cadeias laterais de ácido metilglucurônico, enquanto que as hemiceluloses de leguminosas são, predominantemente, xilanas não ramificadas.

As substâncias pécticass são também denominadas pectinas e tem o ácido D-galacturônico como constituinte principal. Estão presentes na parede celular dos vegetais mas são muito solúveis. Alguns autores as classificam como homopolissacarídeos, mas como é comum a presença de D-galactose, L-arabinose e L-ramnose, outros as classificam heteropolissaccarídeos.

A celulose, a hemicelulose e as substâncias pépticas, são consideradas, juntamente com a lignina, como a porção fibrosa dos alimentos. São medidas por vários métodos, tais como fibra bruta, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro, etc. É importante reconhecer que tais medições são arbitrárias e apresentam falhas. A fibra não é uma entidade homogênea que as análises sugerem. A relação entre as várias porções determinam a extensão da disponibilidade desta fração para os animais.

A extrusão modifica a proporção de fibra insolúvel e solúvel da dieta, aumentando a quantidade dessa última. Essa odificação leva a dois efeitos importantes. Os nutrientes encapsulados pela fibra insolúvel tornam-se disponíveis com um conseqüente aumento da digestibilidade da matéria seca e, a própria fibra torna-se mais digestível no colón e ceco dos animais. A extensão dessa digestão vai depender da extensão do colo e ceco no aparelho digestível dos animais. Herbívoros e onívoros que apresentem esses segmentos desenvolvidos aproveitariam melhor a fibra solúvel que aqueles que possuem intestino grosso reduzido.

BJORCK et al. (1984) estudaram os efeitos da extrusão no conteúdo de fibra dietética e na degradação intestinal de subprodutos do trigo. A fibra do trigo - grão inteiro aumentou ligeiramente após a extrusão enquanto que a fibra da farinha de trigo só aumentou após o processamento sob condições extremas de temperatura e pressão. Um redistribuição da fibra insolúvel a fibra solúvel ocorreu em todas as amostras de farinha de trigo. Na farinha de trigo crua 40% eram solúveis, enquanto que na farinha de trigo extrusada foram encontrados entre 50-75% de solubilidade da fibra. A degradação de monômeros da fibra dietético no intestino de rato semelhante tanto no trigo grão inteiro cru quanto

extrusado, porém, a fibra dietética na farinha de trigo extrusada foi degradada mais extensivamente que na matéria-prima correspondente. A excreção fecal de amido não aumentou quando os animais foram alimentados com os produtos extrusados indicando que o amido foi completamente absorvido ou fermentado. Ratos alimentados com somente com farelo de trigo desenvolveram diarreia.

GUALBERTO et al. (1997) avaliaram os efeitos da extrusão na fibra solúvel e insolúvel, e conteúdo de ácido fítico de alguns cereais. O efeito da velocidade da rosca de 50, 70 e 100% de rotações máximas por minuto (% r.p.m.) foi investigado. Um BI-EX Modelo "DNDG-62/20D" de duplo parafuso, fabricado pela Buhlerag, CH-9240, Uzwil, Suíça, foi usado para processar trigo, aveia e farelo de arroz. Os autores encontraram que extrusão não afetou o conteúdo de fibra insolúvel de farelo de trigo, porém, foi observada uma diminuição deste componente no arroz e farelo de aveia. O conteúdo de fibra solúvel aumentou em todos os farelos após a extrusão, com exceção ao farelo de arroz extrusado a 100% r.p.m. Para as fibras solúveis da aveia e farelo de arroz, o maior aumento aconteceu a 50 e 70% r.p.m., enquanto que para o farelo de trigo ocorreu entre 70 e 100% r.p.m. A extrusão não afetou o conteúdo de fitatos dos cereais.

LUKESOVA et al. (1996) avaliaram as mudanças nas características da fibra dietéticas após extrusão de cereais. A fibra dietética total (FDT), insolúvel (FDI) e solúvel (FDS) fibra foi calculada em amostras de pão e em misturas de matérias-primas para extrusão. A FDT não foi tão profundamente afetado através de extrusão quanto a FDI e a FDS. O conteúdo de FDI apresentou-se geralmente diminuído, entretanto a FDS só foi reduzida em amostras que continham leguminosas; nas amostras contendo cereais apresentou-se aumentada após a extrusão.

Segundo BERGLUND et al. (1994), quatorze misturas de quatro cultivares de cevada (grão) e arroz ou farinha de trigo foram extrusados em uma extrusora de roscas gêmeas co-giratório. As misturas cruas e cereais foram analisadas para fibra dietética solúvel e insolúvel, beta-glucanas, viscosidade alcalina, e outras propriedades físicas e químicas. Os cereais produzidos com arroz e cinco das misturas de cevada-arroz foram avaliados sensorialmente. Os cereais produzidos por extrusão de 100% cevada tinham limitada capacidade de expansão e altas densidades. Quando se adicionou 50% arroz, as densidades foram reduzidas em 50%, e o aparência do produto foi semelhante àqueles com 100% de cereal de arroz. A extrusão resultou em uma viscosidade alcalina e conteúdo de fibra solúvel aumentadas para a maioria

dos cereais. A fibra dietética total do cereal de cevada variou de 5,8 a 9,0%, com 2,0 a 4,7% fibra solúvel. As avaliações sensoriais indicaram boa aceitação de todas as combinações de cereais, de onde os autores concluíram que a cevada é um material satisfatório para produção de um alimento cereal de alta fibra.

#### ***4.2 Efeitos da extrusão sobre a qualidade do amido***

O amido é o carboidrato de reserva das plantas, presente principalmente nos grãos, e pode ser dividido em duas duas frações: **amilose** (polímero de glicose em ligação  $\alpha$ 1,4, cadeia linear, solúvel) e **amilopectina** (insolúvel, com polímero de glicose em ligação  $\alpha$ 1,4 e  $\alpha$ 1,6, o que torna sua cadeia ramificada). As proporções de amilose e amilopectina determinam as características físicas e químicas do amido presentes nos cereais. Além disso são responsáveis também pelas características físicas dos grânulos expandidos e peletizados. A capacidade de gelatinização do amido depende da proporção de amilopectina presente no mesmo. Quanto maior a quantidade de amilopectina, maior a capacidade de formação de gels na presença de água ou vapor.

Uma vez gelatinizada, a amilopectina torna-se mais digestível no trato gastrointestinal dos animais. Essa maior digestibilidade do amido estimula a uma maior produção de ácido láctico, um importante metabólito que atua como uma barreira contra bactérias patogênicas (PEISKER, 1992).

LIN et al. (1997) avaliam o efeito das condições de processamentos e inclusão de lipídeos no grau de gelatinização do amido em rações extrusadas para cães. As rações foram preparadas com adição de sebo de boi ou de gordura de frango (25, 50 ou 75 g/kg) em uma mistura de farelo de milho, farelo de soja e sal. A extrusão foi realizada com velocidades de giro de 200, 300 ou 400 r.p.m., e conteúdo de umidade de 160, 180 ou 200 g/kg. Após a extrusão o grau de gelatinização do amido foi analisado. O aumento na concentração de gordura resultou em uma redução da gelatinização do amido e o sebo de boi apresentou um efeito mais pronunciado que a gordura de frango. O alto conteúdo de umidade inicial foi associado com uma diminuição na gelatinização de goma diminuído, embora os dados não fossem significantes. Os efeitos do conteúdo de gordura e velocidade de giro foram interativos. Com um baixo conteúdo de gordura (25 g/kg), a gelatinização foi mais baixa a uma menor velocidade (200 r.p.m.), entretanto, em concentrações de óleo mais

altas (50 e 75 g/kg), a capacidade de gelatinização diminuiu nas velocidades de giro mais altas (300 e 400 r.p.m.).

LEPORT e CERF (1987) citam que estudos físico-químicos da estrutura e digestão do amido indicam que a hidrólise e absorção do mesmo são incompletas na maioria das espécies animais. Processamentos como moagem, cocção e extrusão podem melhorar essa digestão. O acúmulo de amido indisponível no cólon assim como a fibra podem induzir a formação de ácidos graxos voláteis e gases devido a fermentação bacteriana com alterações patológicas.

OSTERGARD et al. (1989) avaliaram os efeitos da extrusão (extrusora de parafuso duplo) na farinha de cevada em condições de processamentos distintos. Os efeitos da extrusão no grau de gelatinização, conteúdo de amido e fibra dietética, assim como a disponibilidade enzimática do amido foram avaliadas. Embora, em geral, o amido das amostras extrusadas fossem altamente suscetíveis a digestão enzimática "in vitro", foi observada uma diminuição na recuperação de amido durante a análise enzimática em algumas amostras. Essa diminuição foi acompanhada por um aumento na fração de fibra. Esse fato provavelmente foi devido à complexação de alguma parte do amido com outros nutrientes durante a extrusão.

LUE et al. (1991) avaliaram o efeito da extrusão nas propriedades de expansão, gelatinização do amido e conteúdo de fibras de dietas a base de milho e polpa de beterraba. A polpa de beterraba com diferentes tamanhos de partículas (10 a 200 mesh) foi misturado com o farelo de milho e extrusado com uma extrusora de parafusos duplos (dupla rosca sem fim). As variáveis estudadas eram tamanho da partícula de fibra, porcentagem de fibra e velocidade de extrusão. As propriedades de expansão, conteúdos de fibra dietéticos total e conteúdos de amido gelatinizados dos produtos foram determinados. O amido das matérias-primas foi completamente gelatinizado durante a extrusão (determinado por um método enzimático) e os conteúdos de fibra dietética insolúvel, solúvel e total (IDF, SDF e TDF) conteúdos não foram significativamente diferentes entre produtos extrusados que continham 30% fibra de polpa de beterraba, independente do tamanho de partícula.

#### ***4.3 Efeitos da extrusão sobre a disponibilidade das proteínas e aminoácidos***

A presença de um nível equilibrado e satisfatório de proteínas na ração não é garantia de que esta dieta vá atender os requisitos de aminoácidos de um animal. Sob determinadas circunstâncias, alguns aminoácidos podem estar numa forma não disponível para o animal, porque a proteína não é completamente digerida. Entre os fatores que provocam a indisponibilidade da proteína ou aminoácidos pode-se citar:

- ✓ Presença de mucoproteínas (às seções protéicas adjacentes aos resíduos de CHO são resistentes ao ataque enzimático).
- ✓ Aumento da fibra na dieta (celulose e hemicelulose podem tornar a proteína inacessível a ataque enzimáticos).
- ✓ Presenças de inibidores enzimáticos (Ex: Inibidor da tripsina, presente na soja crua e eliminado com o aquecimento).
- ✓ Reação de Maillard (Excesso de calor provocando a ligação de açúcares redutores ao grupo  $\epsilon$  - amino livre da lisina, tornando este aa indisponível).

A extrusão apresenta dois pontos positivos quanto ao aproveitamento da proteína pelo animais. Rompe a parede celular dos cereais liberando a proteína emcapsulada pela fração fibrosa, além de eliminar fatores antinutricionais responsáveis pelo baixo aproveitamento protéico. Entretanto, a extrusão poderia, teoricamente, provocar o aparecimento de reações de Maillard.

PEISKER (1992) cita que a expansão realmente provoca a ligação da proteína ao amido e que essa ligação torna a proteína insolúvel em soluções aquosas. Entretanto o autor comenta que a digestão do amido pelas enzimas do trato gástrintestinal liberam a fração protéica. Segundo o mesmo autor, os dados em vivo e em vitro não demonstram uma perda na qualidade da proteína ou na disponibilidade de aminoácidos.

#### ***4.4 Efeitos da extrusão sobre a disponibilidade das vitaminas***

SHIN et al. (1997) avaliaram a estabilidade hidrolítica e mudanças na vitamina E e oryzanol (antioxidante) do farelo de arroz extrusado durante armazenamento. O farelo foi extrusado à 110, 120, 130 e 140C e tempos de exposição ao ambiente pós-extrusão de 0, 3 e 6 minutos, e armazenados a temperaturas ambientes durante 1 ano. o tempo de exposição ao ar não apresentaram nenhum efeito na estabilidade hidrolítica, entretanto a

temperatura de 110 C foi ligeiramente menos efetiva para a manutenção dessa estabilidade. o incremento no tempo de exposição ambiental provocou uma redução ( $P < 0.05$ ) do conteúdo total de vitamina e de vitamina E . A concentração de Oryzanol foi mais baixa ( $P < 0.05$ ) somente no tempo de exposição de 6 minutos. Além disso o Oryzanol foi relativamente mais estável a temperaturas de extrusão que vitamina E. As retenções mais altas de vitamina total, vitamina E e oryzanol foram encontradas no farelo de trigo de arroz cru durante armazenamento. Os autores concluíram que as temperaturas de extrusão reduziram a retenção de vitamina E e oryzanol durante armazenamento.

As mudanças no conteúdo de vitamina (perdas de vitamina B) dos cereais durante alguns processos térmicos (laminação, floculação e extrusão) foram estudadas por BARNA et al. (1997). O processo de laminação foi efetuado para centeio, aveia, trigo e cevada, floculação para o trigo e extrusão para o milho. Durante a laminação houve uma diminuição (11-35%) no conteúdo de tiamina. Nenhuma mudança significativa foi encontrada na riboflavina ou conteúdo de piridoxina de qualquer cereal testado após a laminação. A niacina apresentou 22% de diminuição no trigo. o processo de floculação apresentou uma alta perda de vitaminas do complexo B, especialmente a tiamina (72%) . A extrusão apresentou perdas de 30, 11 e 23% de tiamina, niacina e piridoxina, respectivamente. os autores concluem que as vitaminas do complexo B são bem resistentes aos processos hidrotérmicos com a exceção de tiamina em cereais floculados.

#### ***4.5 Efeitos da extrusão sobre a disponibilidade dos minerais***

SZPENDOWSKI et al. (1996) avaliaram o efeito de extrusão no conteúdo de minerais em produtos extrusados selecionados. O efeito de extrusão em níveis de microelementos (Fe, Cu e Pb) e macroelementos (Ca, P e Na) foi investigado nos caseinatos de cálcio e sódio, amido de batata, proteína de soro concentrada etc. A extrusão não teve efeito significativo nos níveis de macroelementos nos extrusados de caseína, amido de batata e proteína do soro com ou sem mescla ao caseinato de cálcio. O nível de P não mudou durante a extrusão dos caseinatos e o conteúdo Fe e Cu foram mais altos em todos os produtos extrusados. Esse fato foi atribuído a reações entre Fe ou Cu e a proteína ou amido durante o processo de extrusão. O processo de extrusão não apresentou um efeito significativo no conteúdo de Pb de produtos extrusados.

Os efeitos do tratamento ácido e extrusão do farelo de trigo na disponibilidade de minerais (fósforo, cálcio, magnésio e zinco) e a digestibilidade de fibra dietética para ratos foram estudados por SHINODA et al. (1994). Os animais foram alimentados com as dietas altas em fibras durante 4 semanas. Os tratamentos foram os seguintes: farelo de trigo com tratamento ácido, farelo de trigo extrusado após tratamento ácido, farelo de trigo sem tratamento e farelo de trigo extrusado. Todos os farelo de trigo foram adicionados à dieta até completar 15% de conteúdo de fibra dietética total. O tratamento ácido e a extrusão do farelo de trigo aumentaram a absorção aparente e retenção de Ca significativamente. A extrusão do farelo de trigo sem tratamento apresentou um efeito semelhante para o P e Mg, embora nenhum efeito na disponibilidade de Zn tenha sido observado. A digestibilidade aparente de fibra dietética na dieta encontrou-se diminuída no farelo de trigo com tratamento ácido.

#### ***4.6 Efeitos da extrusão sobre a eliminação de fatores antinutricionais***

CAMIRE et al. (1990) revisaram as mudanças químicas no amido, fibra, proteínas, gorduras, minerais e vitaminas durante o processo extrusão. Os autores afirmam que a extrusão pode melhorar a disponibilidade de nutrientes, além de remover ou reduzir componentes indesejáveis do alimentos, como aflotoxinas, inibidores de tripsina, glicoalcaloides, gossipol e alergênicos.

Os efeitos dos tratamentos químicos, peletização ou extrusão na eliminação de fatores antinutricionais de feijões *Phaseolus vulgaris* foram também avaliados por BEUMER et al. (1998). O tratamento químico com soluções de ácido propiônico, cisteína, sulfito de sódio e acetil-cisteína não tiveram nenhum efeito na desnaturação de proteína. A Peletização a vapor com temperaturas de 65 e 80C dos feijões ou misturas contendo 25% dos mesmos não reduziram a lectina ou atividade do inibidor de tripsina (IT), entretanto esses fatores foram inativados pela extrusão com parafuso duplo à 110, 130 e 148 C, e conteúdo de umidade de 20 e 28%.

Da mesma forma, ALONSO et al. (1998b), avaliaram os efeitos da extrusão e métodos de processo convencionais na proteína e fatores antinutricionais da ervilha (*Pisum sativum* L.). Os autores concluíram que a extrusão (148 C, 25% umidade e 100 r.p.m.) foi o processo térmico mais efetivo na inativação dos taninos condensados, inibidores da tripsina, chimotripsina, alfa-amilase e na redução de atividade de hemaglutinina, sem modificar conteúdo de proteína, como acontece com a descorticação e tratamentos de germinação. Com

relação à solubilidade da proteína, ALONSO et al (1998a) concluíram que não havia nenhuma diferença no conteúdo de nitrogênio de ervilha antes e após de extrusão e os grupos de sulfidril totais e livres e conteúdo de disulfido diminuíram após a extrusão da ervilha (35, 74 e 6%, respectivamente,  $P < 0.05$ )

## **5 EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE OS CEREAIS E OUTRAS MATÉRIAS PRIMAS**

DAHLIN e LORENZ (1993) citam que sete cereais (grão inteiro) foram utilizados para estudar os efeitos do processamento de extrusão na digestibilidade "in vitro" da proteína. 8 condições de extrusão foram aplicadas e os efeitos da variedade dos cereal, temperatura de extrusão, e umidade do alimento na digestibilidade da proteína foram avaliados. A aceitabilidade digestiva da proteína nos cereais não processados e extrusados foi calculado usando um em método "in vitro" de hidrólise enzimática. Os produtos com maior proteína digestível foram produzidos a combinação de extrusão: 15% de umidade, 100 C/150C de temperatura e 100 rotações/min. Este efeito foi significativo quando se considerou por todos os cereais.

LII et al. (1988), estudaram os efeitos das propriedades de físico-química e processo de extrusão na qualidade do farelo de arroz. os autores encontraram que a viscosidade do extrusado encontrava-se correlatado positivamente com o conteúdo de proteína total e temperatura do processamento. Além disso os estudos indicaram que a qualidade do extrusado era mais alta quando o conteúdo de umidade da matéria-prima era baixo. Finalmente, os autores citam que a extrusão causou dano para na estrutura do amido, com formação de amido indisponível.

As modificações físico-químicas e propriedades nutricionais de feijões de porco (*Phaseolus vulgaris* L.) através da extrusão foram estudas por MARTIN-CABREJAS et al. (1999). A extrusão foi avaliada como meio para melhorar as propriedades nutricionais do *P. vulgaris* armazenado a 42C e 80% umidade relativa por 6 semanas ou períodos maiores que 1 ano sob condições tropicais. O armazenamento sob essas condições resultam em um aumento do tempo de cocção, característica indesejável nesse tipo de leguminosa. O processamento foi efetuado com os feijões moídos em uma extrusora de parafuso único com 4 temperaturas no tubo extrusor e 2 conteúdos de umidade. A densidade e índice de solubilidade de água diminuiu com temperatura crescente, enquanto que o índice de absorção de água aumentou

devido à proporção mais alta de amido gelatinizado das amostras extrusadas. Os feijões crus continham quantias significantes de lectinas e inibidores de tripsina e alfa amilase que foram inativados através da extrusão. A extrusão levou também a uma redistribuição considerável de fibra dietética insolúvel para solúvel, embora o conteúdo de fibra dietético total não tenha sido afetado. Os feijões armazenados submetidos a extrusão mostraram características físicas e químicas semelhante àqueles extrusados frescos.

FAPOJUWO et al. (1987) avaliaram as variáveis de extrusão incluindo umidade (15 e 25%), temperatura (50, 125 e 200C) e velocidade de giro (50, 125 e 200 r.p.m.) em 2 variedades de sorgo de baixo-tanino extrusadas com 0, 2 e 4% de hidróxido de cálcio. A digestibilidade da proteína foi calculada através da análise de pepsina "in vitro". A extrusão melhorou a digestibilidade de 45.9 a 74.6% e 43.9 a 68.2% para as 2 variedades, respectivamente. A temperatura foi a variável de extrusão que mais influenciou a digestibilidade. Enquanto que a velocidade de giro e a umidade não apresentaram nenhum efeito significativo. A alteração do pH antes da extrusão melhorou ainda mais a digestibilidade.

### ***5.1 Extrusão da soja***

A soja é fonte protéica de origem vegetal mais utilizada em todo o mundo, possui mais de 45% de proteína bruta na matéria natural, menos de 7% de fibra bruta e é rico em aminoácidos essenciais, principalmente lisina e metionina. A soja possui uma série de fatores antinutricionais que são divididos em termolábeis e termoestáveis. Os processo de extrusão podem eliminar ou diminuir a níveis seguros os fatores termolábeis descritos na seqüência.

**Inibidores de proteases:** Os fatores termolábeis mais conhecidos e provavelmente mais estudados são os inibidores de proteases, mais comumente denominados inibidores de tripsina. Os inibidores da tripsina são responsáveis por 40% dos efeitos prejudiciais sobre o crescimento e sobre a hipertrofia do pâncreas. Esses fatores competem com a proteína da dieta, formando complexos com a tripsina e quimiotripsina. Existem vários fatores inibidores de proteases, mas os principais são os Kunits e Bowman Bork, que são ricos em pontes de enxofre e exercem seus efeitos por competição, ligando-se a diferentes sítios ativos das enzimas.

**Lectinas:** As lectinas são proteínas que têm a propriedade de se ligar aos carboidratos e glicoproteínas. As lectinas são hemaglutinantes e deprimem a ingestão de alimento e o crescimento. Não está bem claro se a queda no

consumo de alimento é causa ou conseqüência do baixo crescimento dos animais.

**Fatores bociogênicos:** Na literatura específica, encontram-se citações dando conta de que a soja crua provoca um acentuado aumento da tireóide em ratos e pintos, um efeito que pode ser contornado pela adição de iodo à dieta, ou pelo aquecimento da soja crua

**Fatores antivitaminicos:** A soja crua contém fatores que interferem na absorção de algumas vitaminas, causando sinais de deficiência em aves. A inclusão de soja crua ou de proteína crua, isolada da soja, na dieta de aves pode causar a necessidade de maior suplementação de vitamina D<sub>3</sub>. Esse efeito raquitogênico pode ser evitado com a extrusão da soja ou através da suplementação da dieta com cálcio e fósforo. O fator antivitamina E tem sido isolado da proteína de soja e sua presença demonstrada por avaliações de crescimento, mortalidade e por aparecimento de sintomas específicos como diátese exudativa e encefalomalácia. A identificação desse fator antivitaminico ainda não foi estabelecida, embora existam sugestões de que seja uma tocoferol oxidase. A utilização da soja crua na dieta aumenta os requisitos de vitamina B<sub>12</sub>, provocando sinais de deficiência e causando um aumento na excreção de metabólitos associados com enzimas que a requerem como coenzima. Esse aumento nos requisitos de vitamina B<sub>12</sub> tem sido atribuído à diminuição da disponibilidade da vitamina produzida pela flora intestinal e ao aumento da reciclagem da vitamina absorvida.

**Fatores antiminerais:** os requisitos de certos minerais na dieta de monogástricos são aumentados quando se usa soja crua, em conseqüência do seu conteúdo de ácido fítico. A soja e vários de seus subprodutos contêm de 1 a 1,5% de ácido fítico, que facilmente forma quelatos com metais di e trivalentes como cálcio, magnésio, zinco, cobre e ferro. Esses compostos são pouco absorvidos no intestino, resultando em uma baixa disponibilidade desses elementos contidos nos produtos de soja.

## 5.2 *Processamentos da soja*

**Jet-sploter:** a soja crua é transportada por uma esteira, que passa através de um túnel sob corrente de ar super aquecida, que eleva, em menos de um minuto, a temperatura dos grãos acima do ponto de ebulição da água. A soja aquecida tem o seu volume aumentado, devido ao vapor de água contido no interior dos grãos, e ao passar por laminadores que a explodem, transforma-se

em flocos. Este processamento desorganiza as moléculas de amido, aumentando a sua digestibilidade.

**Extrusão úmida:** ocorre a extrusão úmida quando os grãos crus são umedecidos e submetidos a alta pressão por uma rosca sem-fim que os força através de uma matriz perfurada, produzindo calor de fricção. Esse aquecimento, somado ao calor de vapor a que a soja é submetida, cozinha os grãos e inativa os fatores antinutricionais termolábeis. O produto obtido desse processamento é um material pulverulento, que não precisa ser moído antes de ser incorporado às rações. Durante o processamento há uma considerável ruptura de células e os nutrientes tornam-se geralmente de alta digestibilidade.

**Extrusão seca:** a extrusão pode ser efetuada também sem a adição de umidade, utilizando-se os grãos secos e sem aplicação de vapor durante o processamento.

Os efeitos de processamento térmico (tostagem ou extrusão) no farelo de soja não tratado foram avaliados por MARSMAN et al. (1997). Estudaram-se características como ganho de peso, conversão alimentar e digestibilidade ileal aparente dos nutrientes para frangos de corte na fase inicial, alimentados com farelo de soja como fonte de proteína principal. Quando comparadas com a tostagem, a extrusão melhorou a conversão alimentar significativamente (1,56 vs. 1,62) e a digestibilidade ileal aparente da proteína bruta e fibra bruta (87,5 vs. 82,2% e 26,7 vs. 11,4%, respectivamente). A extrusão do farelo de soja com altos níveis de temperatura e vapor causou um aumento significativo na capacidade de retenção de água, com um incremento na viscosidade da ingesta. Além disso a concentração de polissacarídeos não amiláceos solúvel na ingesta foi maior comparado com extrusão do farelo de soja em níveis mais baixos temperatura/vapor. O aumento em viscosidade da ingesta entretanto não afetou desempenho de crescimento, nem influenciou a digestibilidade ileal aparente dos nutrientes.

Em um trabalho descrito por MARSMAN, et al. (1995), foram comparados o farelo de soja tostado não extrusado e extrusado usando um equipamento de rosca sem fim e regulando a pressão durante extrusão com uso de 0, 1 ou 2 redutores de chumbo. A atividade do fator inibidor da tripsina foi 25 a 41% mais baixo no farelo de soja extrusado quando comparado com aquele sem sofrer o processamento. A digestibilidade da proteína "in vitro" aumentou de 60.7% para 81.1% depois da extrusão e foi correlatado negativamente com atividade do fator antitripsínico. O índice de solubilidade do nitrogênio, usado como um parâmetro da qualidade de extrusão do farelo de soja foi de 50-55%

melhorando a digestibilidade da proteína "in vitro" e a conversão alimentar de frangos de corte. Um ensaio de crescimento usando pintinhos de um dia (578 fêmeas e 528 machos) confirmaram que a extrusão melhorou significativamente a conversão alimentar.

OHISHI et al. (1995) descreve um experimento no qual suínos e ovinos foram alimentadas com uma dieta basal (milho inteiro, farelo de trigo, farelo de arroz desengordurado e farinha de peixe) acrescidas de farelo de soja extrusado desengordurado (extrusão com dupla rosca -twin-screw extruded - TSE - FSD), farelo de soja desengordurado (FSD) e um controle, sem farelo de soja. A TSE - FSD apresentou baixa antigenicidade para bezerros (0.4% da atividade original). As digestibilidades da fibra detergente neutro, fibra bruta e energia do TSE-FSD (98,9, 82,4 e 90,0%, respectivamente) foram mais altas que a digestibilidade do FSD (83,9, 34,9 e 81,6%, respectivamente) para suínos. A PB digestível, NDT e conteúdo de ED do TSE-FSD para suínos foram de 47,7%, 86,7% e 4,28 Mcal/kg, respectivamente, comparados a 47,3%, 78,2% e 3,90 Mcal/kg para o FSD. Para ovelhas o TSE-FSD e o FSD apresentaram digestibilidades e valores nutritivos semelhantes.

FURUICHI et al. (1989) avaliaram os efeitos da extrusão em baixa-umidade na composição química e valor nutricional da soja grãos inteiros. A extrusão da soja foi executada com alta temperatura 239, 216 ou 175C e baixa -umidade (10 litros/h) em uma extrusora de parafuso duplo. Nenhuma mudança no conteúdo de aminoácidos ou conteúdo de lisina disponível foi observada ao longo do processo de extrusão. Os inibidores de Tripsina, lectina e atividade de uréase foram quase que totalmente eliminados. As proteínas na massa extrusada eram mais digestíveis por pepsina e tripsina que as proteínas na soja crua. A relação da eficiência da proteína, valor biológico e utilização de proteína líquida foram melhoradas significativamente pelo processo. Os resultados indicam que a extrusão da soja grão inteiro nas condições utilizadas u neste estudo não tem efeito adverso no valor nutricional dos mesmos.

## **6 EFEITOS DA EXTRUSÃO SOBRE A ELIMINAÇÃO DE MICROORGANISMOS PATOGENICOS**

LIKIMANI et al. (1990) avaliaram o efeito da umidade do alimento e a força de mesclagem na destruição dos esporos de *Bacillus globigii* durante a extrusão. Os efeitos de umidade de alimento (14-22%), temperatura de extrusão. (80/110-80/130 C- temperatura do tudo extrusor dividida em zona1/zona 2),

tempo de permanência da massa no tubo, e força de mesclagem na destruição dos esporos de *B. globigii* durante processamento em uma extrusora de parafuso único, de uma ração a base de milho e soja foram avaliadas. Como esperado, as temperaturas mais altas apresentaram um efeito significativo na eliminação dos esporos enquanto que a velocidade de mesclagem não apresentou nenhum efeito. A redução do conteúdo de umidade da mistura resultou em maior destruição de esporos bacterianos. A umidade crescente dos alimentos (14%, 18%, 22%), porém resultou em mais baixa temperatura da massa. (i.e. 116, 110, 108, respectivamente, a uma temperatura constante de 80/120 no barril extrusor.). A temperatura de massa mais alta em conteúdos de umidade mais baixa aumentou a destruição dos esporos.

WETZEL,W. (1996) descreve um expansor "Condex" para a produção de alimentos sob condições mais higiênicas. Esse equipamento permite produção de um extrusado sem o uso adicional um cubo de pressão, como nas extrusoras tradicionais. Um válvula controla o fluxo de produto e intensidade de processo. Podem ser escolhidos várias matrizes de saída de acordo com o tamanho exigido e forma do extrusado. Vários testes foram realizados para avaliar a desinfecção de rações de aves contaminada com *Enterococcus faecalis*. Este microorganismo foi escolhido por causa de sua resistência de calor mais alta que a *Salmonella enteritidis* e *S. typhimurium*. A contaminação foi reduzida a zero.

WETZEL,W. (1996) conclui que a extrusão com expansores é um método higiênico de alimentos. O autor sugere que possíveis recontaminações podem ser evitadas levando a cabo um tratamento ácido moderado.

Em trabalho semelhante, KONIGA (1995) avaliou a capacidade do processo de expansão na erradicação de contaminação por *Salmonella*. Foram usados 6 alimentos perfazendo um total de 1698 amostras em uma série de 11 experimentos. Os alimentos eram contaminados com um microorganismo experimental, *Citrobacter reundii* em concentrações até 105 cels/g, antes do processamento. Este microorganismo era escolhido porque, assim como a *Salmonella*, é da família *Enterobacteriaceae* e tem uma resistência ao calor semelhante.

Foram feitas contas de células após a mistura dos alimentos, expansão, peletização e resfriamento, usando um método com um limite de detecção de 0.3 cels/g. O organismo foi erradicado totalmente, excluindo os níveis mais baixos de temperatura de extrusão, entretanto ainda assim foram diminuídos significativamente.

Para a obtenção de dados detalhados na efetividade da expansão, as contagens de Enterobacteriaceae naturais foram feitas antes e depois de expansão, usando a mesma técnica. Com temperaturas de 100-110°C, as contagens bacterianas foram reduzidas de 10<sup>5</sup> para < 0.3 cels/g. Em temperaturas de 110-120°C o conteúdo bacteriano diminuiu para abaixo do limite de detecção para maioria das amostras. As contagens em amostras positivas aumentaram novamente após o período de resfriamento.

ISRAELSEN et al. (1996) avaliaram a redução de salmonella em alimentos expandidos e peletizados em uma série de 15 ensaios com alimentos contaminados pesadamente com salmonella. Nos primeiros 3 ensaios a dieta continha 73% de trigo moído, 25% de farelo de algodão contaminado com salmonella e 2% de gordura animal. Nos ensaios restantes a dieta continha 63% trigo, 21% de farelo de algodão contaminado com salmonella e 8% de óleo. A dieta seca foi umedecida com 60% de umidade e permitiu-se o crescimento bacteriano 2 dias. Este procedimento aumentou a contagem de salmonella para 1000 por campo. A extensão na redução da contagem de salmonella na ração extrusada com ou sem peletização foi examinada em níveis diferentes de gordura, água e adição a vapor e a 3 níveis força de expansão. A redução na contagem de salmonella foi estreitamente relacionada com a temperatura de expansão e de peletização. A Peletização após a expansão diminuiu a contagem de salmonella particularmente nas mais baixas temperaturas.

KELLEY E WALKER (1999) estudaram a redução da concentração bacteriana na farinha de levedura utilizada como alimentação animal utilizando um processamento de extrusão com parafuso único. Os conteúdos de umidade do alimento pré e pós-extrusão eram, respectivamente, 12 e 37%. A levedura crua, pré e pós extrusada e alimentos comerciais de suínos foram colecionados assepticamente e analisados para coliformes totais e fecais, enterococos, estafilococos, heterotróficos e bactérias anaeróbicas facultativas não específicas. As concentrações bacterianas pós-extrusão foram substancialmente mais baixas em todos os tipos de amostra. A sobrevivência de heterotróficos e bactérias anaeróbicas facultativas não específicas em algumas amostras de pós-extrusão indicaram que as técnicas de extrusão usadas não esterilizaram completamente o alimento, mas foram bastante reduzidas. Os resultados sugeriram que o processo de extrusão pode reduzir potencialmente as concentrações de bactérias patogênicas.

## 7 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

170 suínos, com 21 dias de idade e 5.4 e 5.8 kg, respectivamente, foram usados em 2 experimentos realizados por FRIESEN et al. (1993) para avaliação do efeito do calor adicional no processamento de extrusão úmida no valor nutritivo de produtos a base de farelo de soja para suínos desmamados precocemente (dia 0 a 14 após o parto). Os efeitos principais da extrusão úmida, produtos da soja e efeitos de interação foram analisados. flocos de soja crus, proteína de soja concentrada comercial e uma proteína de soja experimental concentrada foram usadas no experimento 1 e uma farinha de soja tostada substituiu a proteína de soja experimental concentrada no experimento 2. Uma dieta (1.4% lisina) contendo proteína do leite foi o controle positivo em ambos os experimentos. Uma interação ( $P < 0.06$ ) entre extrusão úmida e fonte de proteína ocorreu do 0 a 14 e do dia 0 a 35 na avaliação do ganho de peso diário (AGD) e conversão alimentar (experimento 1 e 2). Os suínos alimentados com produtos de soja processados com extrusão úmida apresentaram melhores ganhos de peso e conversão alimentar ( $P < 0.01$ ) quando comparados com suínos recebendo flocos de soja crus e soja tostada (dia 0 a 14). A digestibilidade Aparente da matéria seca e a digestibilidade do nitrogênio (dia 14) aumentou ( $P < 0.05$ ) com o processamento de extrusão úmida. A uréia no sangue e os títulos de imunoglobulina G no soro diminuíram ( $P < 0.05$ ) em porcos alimentados com produtos submetidos à extrusão úmida quando comparado com produtos de soja não extrusados. Em um terceiro experimento, 100 suínos com 5.9 kg e 21 dias de idade, foram usado para comparar os processamentos de extrusão úmida e seca no farelo de soja. O ganho de peso, consumo alimentar, conversão alimentar e digestibilidade aparente da matéria seca e do nitrogênio foram maximizados ( $P < 0.05$ ) naqueles animais alimentados com uma dieta de leite do dia 0 a 14 pós-parto. Os suínos alimentados com farelo de soja extrusado (úmido ou seco) apresentaram ( $P < 0.05$ ) ganho de peso, consumo, conversão alimentar e digestibilidade aparente da matéria seca e N intermediárias. Os animais alimentados com farelo de soja extrusado úmido do dia 0 a 28 apresentaram um ganho de peso mais elevado ( $P < 0.10$ ) quando comparados com suínos alimentados com farelo de soja com extrusão seca.

LESZCZYNSKI et al. (1993) citam que a utilização de soja extrusada com alto teor de gordura não comprometeu a qualidade da carcaça de suínos quando ofertada durante o período de crescimento e terminação. Os autores citam ainda que a digestibilidade da matéria orgânica e a digestibilidade dos lipídios foram aumentadas com o processamento de extrusão.

Igualmente, BOLDUAN et al. (1993) estudaram o efeito do tratamento de expansão do farelo de trigo para suínos em crescimento. As dietas foram: farelo de trigo (30%) sem tratamento, dieta completa extrusada tratada e somente o farelo de trigo extrusado. Um alimento comercial convencional foi usado como controle. Os animais alimentados com as dietas extrusadas apresentaram maior consumo de alimentos e maior conversão alimentar.

TRAYLOR et al. (1999), por sua vez, avaliaram o efeito da expansão em rações de suínos, realizando cinco experimentos para avaliação dos efeitos das condições operacionais do expansor na digestibilidade dos nutrientes para suínos em terminação. Os efeitos das condições de expansão (0, 11.7, 24.4, 32.5 kg/cm<sup>2</sup>) para dietas a base de milho-soja (ensaio 1), dietas a bases de quebrados de trigo (ensaio 2), dietas a base de sorgo (ensaio 3) e a base de trigo (ensaio 4) foram estudados. O ensaio 5 foi conduzido como um arranjo fatorial 2 X 4 com 2 produtos de soja (soja crua e farelo de soja) e 4 condições de expansão (0, 14.1, 28.1, 42.2 kg/cm<sup>2</sup>). No ensaio 1 as taxas de produção totais foram semelhantes entre tratamentos. A quantidade de finos (pó e quebrados) diminuiu (efeito cúbico,  $P < 0.001$ ) quando a pressão de cone foi aumentado de 0 a 11.7 kg/cm<sup>2</sup>, com diferenças menos significativas quando a pressão de cone foi aumentado até 35.2 kg/cm<sup>2</sup>. A digestibilidade dos nutrientes aumentou ( $P < 0.02$ ) quando o alimento foi submetido a pressões mais altas. A digestibilidade da matéria seca (MS), nitrogênio (N) e energia bruta (EB) foi maximizada a 24.4 kg/cm<sup>2</sup> de pressão do cone. A energia digestível da dieta expandida a 24.4 e 35.2 kg/cm<sup>2</sup> aumentou em 172 e 109 kcal/kg, respectivamente, comparados com a dieta processada a 0 kg/cm<sup>2</sup> de pressão. No ensaio 2, a produção total e taxas de produção foram semelhantes entre os tratamentos. A quantidade de finos diminuiu (efeito quadrático,  $P < 0.03$ ) quando a pressão foi aumentada de 0 a 11.7 kg/cm<sup>2</sup>. A digestibilidade da MS ( $P < 0.02$ ), N ( $P < 0.001$ ) e EB ( $P < 0.002$ ) aumentaram com o aumento da pressão no cone de 0 a 35.2 kg/cm<sup>2</sup>. A digestibilidade da MS, N e EB para porcos alimentados com a dieta baseada em quebrados de trigo foram aumentadas em 8, 13 e 10% respectivamente, na pressão de cone mais alta comparadas com as dietas sem qualquer pressão de cone. No ensaio 3 quando a pressão de cone de dilatador foi aumentada de 0 a 11.7 kg/cm<sup>2</sup> o consumo de energia a peletização diminuiu (efeito quadrático,  $P < 0.004$ ) de 14.1 a 12.0 kWh/t. A digestibilidade da MS e EB aumentaram (efeitos cúbicos,  $P < 0.006$ ) com o aumento da pressão do cone de 0 a 35.2 kg/cm<sup>2</sup>. A digestibilidade do N aumentou (efeito cúbico,  $P < 0.001$ ) de 78.3 a 81.0% quando o alimento foi submetido a pressões de cone mais altas, com uma

maximização a 24.4 kg/cm<sup>2</sup>. A energia digestível da dieta aumentou (efeito cúbico, P <0.001) em 225 kcal/kg quando a pressão foi aumentada de 0 a 11.7 kg/cm<sup>2</sup>. No ensaio 4 a umidade do pelet diminuiu e perda de umidade aumentou com o aumento da pressão de cone de 0 a 35.2 kg/cm<sup>2</sup>. A gelatinização do amido nas dietas baseadas em trigos aumentou de 16.8 a 49.1% com o aumento de pressão de 0 e 35.2 kg/cm<sup>2</sup>. No ensaio 5 a gelatinização do amido nas dietas a base do farelo de soja foi 19% maior que para dietas da base de soja crua. A energia digestível das dietas com soja crua foi mais baixa (P <0.02) que as dietas a base de farelo de soja.

JOHNSTON et al. (1999a) avaliaram o efeito da expansão em rações iniciais de suínos e encontraram uma maior eficiência de ganho com dietas expandidas quando comparadas a dietas peletizadas ou fareladas. Conclusões semelhantes foram obtidas por JOHNSTON et al. (1999b) para suínos em crescimento e por JOHNSTON et al. (1999c) para suínos em terminação.

SAYRE, et al. (1988) avaliaram a inclusão de 600 g/kg de farelo de arroz extrusados em dietas de frangos de corte. A extrusão (10 min às 130C) do farelo de arroz melhorou ganho de peso nas duas primeiras semanas de idade. A adição de cálcio (10 g/kg) para a dieta com farelo de arroz extrusado preveniram a diminuição em desempenho após as duas semanas de idade e as aves continuaram ganhando a uma taxa crescente de peso até o fim do ensaio (7 semanas de idade).

Digestibilidade dos nutrientes e energia metabolizável (EM) de alimentos peletizados comparados com expandidos para pintinhos

Digestibilidade dos nutrientes	Peletizados	Expandidos/peletizados
Matéria orgânica	68,6 <sup>a</sup>	70,2 <sup>a</sup>
Proteína	78,5 <sup>a</sup>	77,2 <sup>a</sup>
Gordura	70,6 <sup>a</sup>	82,3 <sup>b</sup>
Amido	97,8 <sup>a</sup>	98,9 <sup>a</sup>
Fibra detergente neutro	8,4 <sup>a</sup>	13,8 <sup>b</sup>
Fibra detergente ácido	19,8 <sup>a</sup>	22,3 <sup>a</sup>
Celulose	8,2 <sup>a</sup>	16,1 <sup>b</sup>
EM (Kcal/kg)	2799 <sup>a</sup>	2920 <sup>b</sup>

Adaptado de Amandus (1995)

Prova de crescimento com frangos de corte

	Peletizados	Expandidos/peletizados
Ganho de peso (g/dia)	44,7	45,1
Conversão alimentar	1,91	1,88

Adaptado de Amandus (1995)

SUZUKI et al. (1991) estudaram o efeito da extrusão na digestibilidade da proteína do sorgo. Camundongos de 4 semanas foram alimentados "ad libitum" com dietas contendo grão de sorgo sem tratamento (Sorgo bicolor), sorgo extrusado (180C) ou uma dieta completa extrusada contendo de 10% levedura. A utilização de nitrogênio líquida foi mais alta na dieta completa seguido por sorgo extrusado e grãos, respectivamente. Os resultados sugerem que a extrusão aumenta que o valor nutritivo global das proteínas embora apresente como desvantagem uma redução do conteúdo de lisina disponível.

STROUCKEN et al. (1996) investigaram os efeitos da extrusão comparada com peletização em uma ração de cães no conteúdo de nitrogênio, matéria seca, gordura e digestibilidade de minerais em 6 cães adultos (3 Schnauzers e 3 beagles). A extrusão diminuiu a digestibilidade do nitrogênio, entretanto a absorção de mineral foi aumentada e não teve nenhum efeito observado na digestibilidade da matéria seca e gordura. Os animais alimentados com a ração extrusada apresentaram o pH das fezes diminuído e o conteúdo de umidade das fezes aumentado sugerindo que esta dieta estimulou a fermentação bacteriana no intestino.

## 8 ACEITABILIDADE DAS RAÇÕES EXTRUSADAS E EXPANDIDAS

As deficiências nutricionais são as causas mais comuns de doenças em psitacídeos domésticos, devido ao fato de que a maioria de alimentos de papagaios comercialmente disponíveis são a base de misturas de semente multi-deficientes, além do que os pássaros comem seletivamente, o que leva a um desbalanceamento nutricional dos alimentos ingeridos (LUMEIJA et al., 1996).

Segundo ULLREY, et al (1991), os psitacídeos são classificados freqüentemente como granívoros apesar de estudos nos que estabeleceram grande diversidade em hábitos alimentares na natureza, indicando que, além do consumo de sementes, existe um grande consumo de flores, brotos, folhas, frutas, etc. Além disso, insetos podem ser importantes. Embora existam poucos estudos das exigências nutricionais dos psitacídeos, é provável que a

maioria das necessidades possa ser comparável às daquelas de pássaros domésticos que foram estudados completamente.

As misturas comerciais para psitacídeos normalmente contêm milho, girassol, sementes de abóbora, trigo, amendoim, milho, aveia e trigo-mouro, embora outras sementes podem estar presentes. As cascas podem significar entre 18 a 69% destas sementes e como não são ingeridas, uma significativa proporção das misturas de semente típicas é desperdiçada. Além disso, algumas das sementes são muito altas em gordura e promovem a obesidade. Deficiências nutricionais comuns em misturas de sementes de incluem lisina, cálcio, fósforo disponível, sódio, manganês, zinco, ferro, iodo, selênio, retinol, vitaminas D, E e K, riboflavina, ácido pantotênico, ácido nicotínico, vitamina B12 e colina.

As tentativas para corrigir estas deficiências incorporando péletes em misturas de sementes normalmente são falhas devido à por rejeição desses péletes e ao consumo seletivo de sementes mais palatáveis.

LUMEIJA et al. (1996) avaliou a aceitação de uma ração de papagaio consistindo em grânulos extrusados para 10 papagaios do Congo (*Psittacus erithacus*), 12 papagaios do Amazona, 5 cacatuas enxofre-coroadas (*Cacatua sulfurea sulfurea*), 5 araras azuis e 5 araras ouro (*Ara ararauna*). Todos os pássaros foram alojados individualmente com uma adaptação a dieta experimental de 5 dias.

A aceitação da dieta por todas as espécies foi boa, embora inicialmente os papagaios do Amazonas tenham se recusado a ingerir o alimento novo por um período de até 4 dias. No período inicial de mudança da dieta, observou-se uma diminuição no consumo em todas as espécies testadas, com exceção das araras; a mudança, entretanto, só foi significativa nos papagaios do Amazona ( $P < 0,01$ ) e cacatuas ( $P < 0,012$ ). Uma diminuição ( $P < 0,01$ ) em peso corporal só foi observado nos papagaios do Amazona. Com a exceção dos mesmos, a perda em peso de corpo era menos que 10% do peso inicial. Os autores concluem que, embora a composição do alimento foi considerada teoricamente adequada, uma avaliação definitiva em suficiência nutricional, só pode ser dada com a realização de mais experimentos.

HULLAR et al. (1998). avaliaram os efeitos da extrusão na qualidade de alimentos para gatos baseado em soja. A composição da dieta testada era 20% de farelo de soja com alto teor de gordura, 40% farinha de carne, 39% milho, 0.5% sal e 0.5% premix de mineral-vitaminico. A digestibilidade dos péletes

extrusados foi comparado de forma indireta utilizando a mistura não extrusada e uma dieta basal com em carne de coelho (60 g da dieta basal e 30 g dieta não extrusada). A digestibilidade das diferentes dietas foi de : matéria seca- 71, 56 e 72%; matéria orgânica - 76 , 58 e 76%; proteína bruta - 75, 58 e 76%; extrato etéreo - 93, 88 e 91%; e extrato não nitrogenado - 72 , 34 e 72%, para a dieta extrusada, não extrusada e carne de coelho, respectivamente. A extrusão melhorou a palatabilidade da dieta a base de soja assegurando a ingestão suficiente de matéria seca pelos felinos. Os autores concluíram que a digestibilidade da mistura milho-soja baseada, foi tão boa quanto a da dieta a base de coelho.

## 9 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALONSO, R.; ORUE, E.; BUTRON, J.; MARZO, F.; JANSMAN, A.J.M. (ed.); HILL, G.D. (ed.); HUISMAN, J. (ed.); POEL, A.F.B. VAN DER. Physicochemical changes in *Pisum sativum* L. and *Phaseolus vulgaris* L. proteins induced by extrusion cooking. In: ***Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds and rapeseed: proceedings of the third international workshop***, Wageningen, The Netherlands, 1998a, p.421-424.
- ALONSO, R.; ORUE, E.; MARZO, F.. Effects of extrusion and conventional processing methods on protein and antinutritional factor contents in pea seeds. ***Food Chemistry***. v. 63: n. 4, p. 505-512; 1998b.
- ASP, N. G. Nutritional aspects: what happens to the different materials at different temperatures? ***Extrusion technology for the food industry*** [edited by O'Connor, C.] 1987, p.16-21; London, UK; Elsevier Applied Science.
- BARNA, E.; LEDER, F.; DWORSCHAK, E. Changes in the vitamin content of cereals during hydrothermal processes (flaking, puffing, extrusion). ***Nahrung***, v. 41:n. 4, p. 243-244; 1997.
- BERGLUND, P.T., FASTNAUGHT, C.E., HOLM, E.T. Physicochemical and sensory evaluation of extruded high-fiber barley cereals. ***Cereal Chemistry***. v. 71: n. 1, p 91-95; 1994.
- BEUMER, H; VOOIJS, A.J.; JURGENS, A.; MAANEN, J.F.C. VAN; JANSMAN, A.J.M. (ed.); HILL, G.D. (ed.); HUISMAN, J. (ed.); POEL, A.F.B. VAN DER. Effects of chemical treatments, pelleting or extrusion on the elimination of

- antinutritional factors in *Phaseolus vulgaris* beans. In: **Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds and rapeseed: proceedings of the third international workshop**, Wageningen, The Netherlands, 1998, p.391-397.
- BJORCK, I.; NYMAN, M.; ASP, N.G. Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. **Cereal Chemistry**. v. 61: n. 2, p.174-179,1984.
- BOLDUAN,G.; BECK, M.; PEISKER, M. Effect of expander on piglet diets with wheat bran (Expanderwirkungen auf Ferkelrationen mit Weizenkleie). **Krafftutter**, n. 6, 266-268p, 1993.
- CAMIRE, M.E.; CAMIRE, A.; KRUMHAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v.29: n.1, p. 35-53; 1990.
- COLONNA, P. (ed.); DELLA VALLE, G. **Extrusion cooking** (La cuisson-extrusion). Collection Sciences et Techniques Agro-Alimentaires - INRA. 1994, 545 p.
- DAHLIN, K., E LORENZ, K. Protein digestibility of extruded cereal grains. **Food Chemistry**. v. 48: n.1, p3-18; 1993.
- DALE, N. Improving nutrient utilization by ingredient and dietary modification. **Word Poultry**, v.12, n.2, p 33,1996.
- FAPOJUWO, O.O.; MAGA, J.A.; JANSEN, G.R. Effect of extrusion cooking on in vitro protein digestibility of sorghum. **Journal of Food Science**., v. 52: n. 1, p.218-219; 1987.
- FOCANT, M.; VANBELLE, M.; GIGOUNON, B.; COLLIGNON, G.; MIGNOLET, E.; VANHOECKE, A.; LEGRAND, A.; FOULON, M. **Extrusion cooking. Discussion on its potential in animal feeding. (Cuisson-extrusion. Une mise au point sur les potentialites en alimentation animale)**. Unite de Biochimie de la Nutrition. Faculte des Sciences Agronomiques, Universite Catholique de Louvain; Louvain la Neuve; Belgiu, n. 68, 62 p.; 1993.
- FRIESEN, K.G.; NELSSSEN, J.L.; GOODBAND, R.D; BEHNKE, K.C; KATS, L.J The effect of moist extrusion of soy products on growth performance and nutrient utilization in the early-weaned pig. **Journal of Animal Science**. v. 71: n. 8, p. 2099-2109; 1993.

- FURUICHI, Y.; KUBOTA, Y.; SUGIURA, Y.; UMEKAWA, H.; TAKAHASHI, T.; KOUNO, S. Effects of low moisture extrusion cooking on the chemical composition and nutritional value of whole soybeans. ***Journal of Japanese Society of Nutrition and Food Science***. 1989, 42: 2, 165-172; 23 ref.
- GUALBERTO, D.G.; BERGMAN, C.J.; KAZEMZADEH, M.; WEBER, C.W. Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber, and phytic acid contents of cereal brans. ***Plant Foods for Human Nutrition***. v.51: n. 3, p.187-198; 1997.
- HEIDENREICH, E. MICHAELSEN, T. Manufacture of special feeds with a twin extruder (Spezialfutterherstellung mit einem Zweiwellenextruder). ***Kraftfutter***, n. 12, p. 468 – 488p. 1994.
- HULLAR, I.; FEKETE, S.; SZOCS, Z.; KIENZLE, E. (ED.); TENNANT, B.. Effect of extrusion on the quality of soybean based catfood. Proceedings of the Conference of the European Society of Veterinary and Comparative Nutrition, Munich, Germany, ***Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition***. v. 80: n. 2-5, p. 201-206; 1998..
- ISRAELSEN, M.; BUSK, J.; VIRSOE, M.; HANSEN, I.D. Reduction of salmonella in compound feed by expanding and pelleting. ***Kraftfutter***, n. 12, p. 584- 594. 1996.
- JOHNSTON, S.L.; HINES, R.H.; HANCOCK, J.D.; BEHNKE, K.C.; TRAYLOR, S.L.; CHAE, B.J.; HAN, I.K. Effects of conditioners (standard, long term and expander) on pellet quality and growth performance in nursery and finishing pigs. ***Asian Australasian Journal of Animal Sciences***. v. 12: n. 4, p.558-564; 1999a.
- JOHNSTON, S.L.; HINES, R.H.; HANCOCK, J.D.; BEHNKE, K.C.; TRAYLOR, S.L.; CHAE, B.J.; HAN, I.K. Effects of expander conditioning of complex nursery diets on growth performance of weanling pigs. ***Asian Australasian Journal of Animal Sciences***. v. 12: n. 3, p. 395-399, 1999b.
- JOHNSTON. S.L.; HANCOCK. J.D.; HINES. R.H.; KENNEDY. G.A.; TRAYLOR, S.L.; CHAE, B.J.; HAN, I.K. Effects of expander conditioning of corn and sorghum based diets on pellet quality and performance in finishing pigs and lactating sows. ***Asian Australasian Journal of Animal Sciences***. v. 12: n. 4, p. 565-572; 1999c.

- KELLEY, T.R.; WALKER, P.M. Bacterial concentration reduction of food waste amended animal feed using a single screw dry extrusion process. **Bioresource Technology**. v. 67:n. 3, p. 247-253; 1999.
- KONIG, H. G. Salmonella decontamination of feeds with the aid of expander technology.(Salmonellen-Dekontamination von Futtermitteln mit Hilfe der Expandertechnik) **Mischfuttermitteltechnik**., v.132, n. 31, p.508-510; 1995.
- LEPORT, J.; CERF, M. Digestion and digestibility of starch.(Digestion et digestibilité de l'amidon). **Cahiers de Nutrition et de Diététique**., v.22: n.6, p.435-438, 1987.
- LESZCZYNSKI, D.E.; PIKUL, J.; EASTER, R.A.; MCKEITH, F.K.; MCLAREN, D.G.; NOVAKOFSKI, J.; BECHTEL, P.J.; JEWELL, D.E. Effects of feeding finishing pigs extruded full-fat soybeans on performance and pork quality. **Journal of Animal Science**., v. 70: n. 7, p. 2167-2174; 1992.
- LII, C.Y.; CHANG, Y.H . The effects of physico chemical properties and extrusion cooking process on the eating quality of rice. In: **Proceedings of a symposium held at Taichung District Agricultural Improvement Station, Taiwan**, n. 13, p.31 - 43; 1988.
- LIKIMANI, T.A.; ALVAREZ MARTINEZ, L.; SOFOS, J.N. The effect of feed moisture and shear strain on destruction of *Bacillus globigii* spores during extrusion cooking. **Food Microbiology**., v. 7: n. 1, p. 3 -11; 1990.
- LIN, S.; HSIEH, F.; HUFF, H.E. Effects of lipids and processing conditions on degree of starch gelatinization of extruded dry pet food. **Lebensmittel Wissenschaft and Technologie**. v. 30: n. 7, p.754-761; 1997.
- LUCHT, H.W. Expanded structured feed for feeding productive livestock. An alternative to meal or pelleted feed (Expandiertes Strukturfutter in der Nutztierfütterung. Eine Alternative für Futter in Mehl- oder Pelletform). **Mischfuttermitteltechnik**. v.134: n.18, p.537-542 , 1997.
- LUCHT, H.W. Expanded structured feed for feeding productive livestock. An alternative to mealy or pelleted feed.(Mangimi espansi strutturati nell'alimentazione animale. Un'alternativa agli sfarinati o pellet). **Tecnica Molitoria**. v. 49: n. 7, p. 685-698; 1998.
- LUE, S.; HSIEH, F.; HUFF, H.E. Extrusion cooking of corn meal and sugar beet fiber: effects on expansion properties, starch gelatinization, and dietary fiber content. **Cereal Chemistry**. v.68: n. 3, p. 227-234; 1991.

- LUKESOVA, P.; PRIHODA, J.; MACKOVA, B. Changes in dietary fibre characteristics after the extrusion of cereals. **Potravinarske Vedy**. v.14: n. 1, p. 13 -24; 1996.
- LUMEIJ, J. T., ZIJP, N. M. N., SCHIPPERS, R. The acceptance of a recently introduced extruded parrot food in the Netherlands. **Israel Journal of Veterinary Medicine**. v. 51, n. 3-4, p.161-164, 1996.
- MARSMAN, G.J.P, GRUPPEN, H., POEL, A.F.B.,; RESINK, J.W ET AL. The effect of shear forces and addition of a mixture of a protease and a hemicellulase on chemical, physical and physiological parameters during extrusion of soybean meal. **Animal Feed Science and Technology**. v. 56: n.1-2, p.21-35, 1995.
- MARSMAN,G.J.P., GRUPPEN, H., KWAKKEL, R.P. VERSTEGEN, M.W.A. et al. The effect of thermal processing and enzyme treatments of soybean meal on growth performance, ileal nutrient digestibilities, and chyme characteristics in broiler chicks. **Poultry Science**. v. 76, n. 6, p. 864-872, 1997.
- MARTIN CABREJAS, M.A.; JAIME, L.; KARANJA, C.; DOWNIE, A.J.; et al. Modifications to physicochemical and nutritional properties of hard to cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by extrusion cooking. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 47: n. 3, p.1174-1182, 1999.
- MERCIER, C Nutritional appraisal of extruded foods.. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**., v. 44: SUPP 1, S45-S53; 1993.
- MORAN, E.T., Jr. Effect of pellet quality on the performance of meat birds. **In: Recent advances in animal nutrition** (edited by Haresign, W.; Cole, D. J. A.) London, UK; Butterworths, p.87-108; 1989.
- OHISHI, A., SAKABE, M., WATANABE, K., URUSHIBATA, M., et al. Evaluation of nutritive value of twin-screw extruded soybean meal with low-antigenicity. **Animal Science and Technology**., v. 66, n.8, p.720-724, 1995.
- OSTERGARD, K.; BJORCK, I.; VAINIONPAA, J. Effects of extrusion cooking on starch and dietary fibre in barley. **Food Chemistry**. v. 34: n. 3, p. 215 - 227; 1989.
- PEISKER, M. Physical and chemical changes during expansion. **Feed International**, fevereiro, p.16-34. 1992.

- RALET, M.C.; THIBAUT, J.F.; DELLA VALLE, G. Solubilization of sugar-beet pulp cell wall polysaccharides by extrusion-cooking. ***Lebensmittel Wissenschaft and Technologie***. v.24: n. 2, p. 107-112, 1991.
- REINBEK, G.F. Pelleting of high fat mixtures. (Pelletierung fettreicher Mischungen). ***Mischfuttertechnik***., v.126:n.5, p. 53-55. 1989.
- SAYRE, R.N., EARL, L., KRATZER, F.H., SAUNDERS, R.M. Effect of diets containing raw and extrusion-cooked rice bran on growth and efficiency of food utilisation of broilers. ***British Poultry Science***. v. 29, n.4, p.815-823; 1988.
- SHIN TAISUN; GODBER, J.S.; MARTIN, D.E.; WELLS, J.H.; SHIN, T.S. Hydrolytic stability and changes in E vitamers and oryzanol of extruded rice bran during storage. ***Journal of Food Science***. v. 62: n. 4, p.704-708; 1997.
- SHINODA, S., KAWAGUCHI, K., ISHII, T., YOSHIDA, T. Effects of acid treatment and extrusion cooking of wheat bran in high bran diet on mineral availability in rats. *Journal of the Japanese Society of Nutrition and Food Science*., v. 47: n. 3, p. 209-217; 1994.
- SORAL SMIETANA, M. Studies on thermally induced interactions between cereal starch and lipids in technological processes. ***Technologia Alimentorum***. No. 24 Supplementum B, 1992, 57 p
- STROUCKEN, W.P.J.; POEL, A.F.B. VAN DER; KAPPERT, H.J.; BEYNEN, A.C.; VAN DER POEL, A.F.B. Extruding vs pelleting of a feed mixture lowers apparent nitrogen digestibility in dogs. ***Journal of the Science of Food and Agriculture***. v. 71: n. 4, p. 520-522; 1996.
- SUZUKI, H.; HAYAKAWA, S.; OHTSUBO, K. Effect of extrusion cooking on the nutritive value of proteins in grain sorghum. ***Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology***. v.6: n.38, p.553 -555, 1991.
- SZPENDOWSKI, J.; SMIETANA, Z.; SWIGON, J. The effect of extrusion on the content of minerals in selected extruded products. ***Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis, Technologia Alimentorum***. n 29, p.15-23; 1996.
- TOMAS, R. L., OLIVEIRA, J. C., AKDOGAN, H., MCCARTHY, K.L. Effect of operating conditions on physical characteristics of extruded rice starch.

***International Journal of Food Science and Technology***. v. 29: n. 5, p. 503-514; 1994.

TRAYLOR, S.L.; BEHNKE, K.C.; HANCOCK, J.D.; HINES, R.H.; JOHNSTON, S.L.; CHAE, B.J.; HAN, I.K. Effects of expander operating conditions on nutrient digestibility in finishing pigs. ***Asian Australasian Journal of Animal Sciences***. v. 12: n. 3, p. 400-410, 1999.

ULLREY, D. E., ALLEN, M. E., BAER, D. J. Formulated diets versus seed mixtures for psittacines. ***Journal of Nutrition***. v. 121: n.11S, p.193-205,1991.

WENGER EUROPE. Pelleted feed production. (Produktion von Futterpellets). ***Krafftutter***., n. 11, p. 467-475, 1997.

WETZEL,W. Use of an expander and pelleting with a heat shield: salient features for feedstuffs producers.( Expandereinsatz und Pelletieren mit Hitzeschild: markante Schritte fur Futtermittelproduzenten) ***Mischfuttertechnik***. v. 133: n. 40, p.655-657. 1996.

## ANEXO 1

**ATENÇÃO:** O conceito de densidade é massa sobre volume. Podemos ter densidade física e nutricional, mas sempre considerando a massa e o volume em questão.

**Por exemplo:** Vamos considerar que 1,0 kg de ração farelada tenha o volume de 1,0 litro.

Então:  $1,0 \text{ kg} / 1,0 \text{ litros} = 1 \rightarrow$  significando que esta ração tem densidade física de 1.

Se peletizarmos a mesma ração, diminuimos o volume, então:

$1,0 \text{ kg} / 0,9 \text{ litros} = 1,11 \rightarrow$  ou seja, aumentamos a densidade física reduzindo o volume.

Observem que, através deste procedimento, estamos aumentando a densidade nutricional de todos os nutrientes.

Supondo que 1,0 kg ração farelada continha:

$0,18 \text{ Kg de PB} / 1,0 \text{ kg} / 1,0 \text{ litro}$  então  $0,18 / 1,0 \text{ L} = 0,18$  (densidade nutricional da PB)

$2750 \text{ kcal} / 1,0 \text{ kg} / 1,0 \text{ litros}$  então  $2750 \text{ kcal} / 1,0 = 2750$  (densidade nutricional da E)

Se peletizarmos = 1,0 kg vai ter o volume de 0,9 litro, então:

$0,18 \text{ Kg. de PB} / 1,0 \text{ kg} / 0,9 \text{ litro}$  então  $0,18 / 0,9 \text{ l} = 0,20$  (densidade nutricional da PB)

$2750 \text{ kcal} / 1,0 \text{ kg} / 0,9 \text{ litros}$  então  $2900 \text{ kcal} / 0,9 = 3055$  (densidade nutricional da E)

**Outra forma de aumentar a densidade nutricional sem alterar a massa e volume de uma ração seria:** Temos uma ração (A) farelada na qual 1,0 Kg = 1,0 litro com 20% de PB e 2900 kcal de E. Vamos compara-la a outra ração (B) na qual 1,0 kg também seja igual a 1,0 litro mas com 17 % de PB e 3100 Kcal de E.

As duas rações tem a mesma densidade física →  $1,0 \text{ kg}/1,0 \text{ litros} = 1,0$

Com relação à densidade nutricional:

Ração A →  $0,20 \text{ kg}/1,0 \text{ Litro} = 0,20$  (densidade nutricional da proteína)  
→  $2900 \text{ kcal} / \text{kg} / 1,0 \text{ litro} = 2900$  (densidade nutricional de Energia)

Ração B →  $0,17 \text{ kg}/1,0 \text{ Litro} = 0,17$  (densidade nutricional da proteína)  
→  $3100 \text{ kcal} / \text{kg} / 1,0 \text{ litro} = 3100$  (densidade nutricional de Energia)

**Então: As duas rações tem a mesma densidade física, mas diferem quanto à densidade nutricional. A ração A tem menor densidade energética que ração B, no entanto, apresenta maior densidade protéica que esta última.**

**Outro exemplo seria rações com densidades físicas e nutricionais diferentes:** Temos uma ração (A) peletizada na qual 1,0 Kg = 0,9 litro com 2750 kcal de E. Vamos compara-la a outra ração (B) extrusada na qual 1,0 Kg= 1,0 litro mas com o processo de extrusão a EM aumentou para 3100 Kcal .

As duas rações tem a diferentes densidades físicas →  $1,0/0,9 = 1,10$   
 $1,0 / 1,0 \text{ litros} = 1,0$

A ração A, peletizada, apresenta maior densidade física que a ração B, extrusada.

Com relação à densidade nutricional:

Ração A →  $2750 \text{ kcal} / \text{kg} / 0,9 \text{ litro} = 3055,6$  (densidade nutricional de E)

Ração B →  $3100 \text{ kcal} / \text{kg} / 1,0 \text{ litro} = 3100$  (densidade nutricional de E)

A ração B, extrusada, apresenta mais densidade energética que a ração A, peletizada.