

A extrusão em tecnologia alimentar: aplicações, características dos produtos, composição e tendências futuras

Extrusion in food technology: applications, product characteristics, composition and future trends

Maria de Fátima Lopes-da-Silva^{1,2}, Luís Santos¹ e Altino Choupina^{1,2,*}

¹ Escola Superior Agrária de Bragança, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5301-253 Bragança, Portugal;

² Centro de Investigação de Montanha (CIMO), ESA - Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5301-253 Bragança, Portugal.

(*E-mail: albracho@ipb.pt)

<http://dx.doi.org/10.19084/RCA14103>

Received/recebido: 2014.07.28

Received in revised form/recebido em versão revista: 2015.07.06

Accepted/aceite: 2015.07.07

RESUMO

A extrusão de alimentos envolve transformações moleculares complexas que permitem grande diversidade nos produtos extrudidos existentes e nas suas propriedades físicas, químicas, sensoriais e nutricionais. Neste artigo são apresentadas aplicações atuais da extrusão na indústria alimentar, assim como as características dos produtos extrudidos, e descrevem-se as interações entre os parâmetros que as influenciam. Por fim, são ainda apresentadas as tendências que se têm vindo a impor na formulação dos produtos extrudidos.

Palavras-chave: aperitivos, extrusão a frio, extrusão a quente, qualidade nutricional.

ABSTRACT

Food extrusion involves complex molecular transformations that allow diversity in the existing extruded products and in their physical, chemical, sensory and nutritional properties. In this article, current applications of extrusion in food industry are presented, as well as the characteristics of the extruded products; it also describes the interactions between the relevant parameters involved in this particular food processing operation. Finally, future trends in the extruded products formulation are presented.

Keywords: cold extrusion, hot extrusion, nutritional quality, snacks.

APLICAÇÕES DA EXTRUSÃO NA INDÚSTRIA ALIMENTAR E CARACTERÍSTICAS DOS PRODUTOS EXTRUDIDOS

Na atualidade, os equipamentos de extrusão têm conseguido disponibilizar uma série de produtos novos e inovadores (Riaz, 2000), disponibilizando uma ampla variedade de aperitivos (*snacks*), que vêm ao encontro da procura dos consumidores por produtos de conveniência, que se adaptem aos seus estilos de vida.

A versatilidade desta tecnologia é enorme. A produção de proteínas vegetais texturizadas, cereais

de pequeno-almoço prontos-a-comer (*ready-to-eat (RTE) breakfast cereals*), *snacks* de expansão direta, *snacks* co-extrudidos e *snacks* de terceira geração (3G) requer um processamento que pode passar por extrusoras de rosca única muito simples até extrusoras de rosca dupla mais complexas (Heldman e Hartel, 1997; Riaz, 2000; Lopes-da-Silva *et al.*, 2015).

O desenho de *snacks* extrudidos e de cereais de pequeno-almoço envolve transformações moleculares complexas, tais como, gelatinização e fusão da maior parte do amido, desnaturação das proteínas e reestruturação dos materiais alimentares. A matéria-prima vai ser misturada, deformada/estirada,

cozida e expandida para gerar a estrutura desejada no produto (Hirth *et al.*, 2014).

A proteína vegetal texturizada consiste normalmente na utilização de farinha de soja, processando-a e secando-a para dar um produto com uma textura esponjosa, que pode ser aromatizado para se assemelhar a carne. Antes de serem moídas e reduzidas a farinha, as sementes de soja são descascadas e é extraído o seu óleo. Esta farinha de bagaço de soja é depois misturada com água para serem removidos os hidratos de carbono solúveis e o resíduo é então texturizado por extrusão. Durante este processo, na pasta de soja quente as proteínas são desnaturadas pelo calor, abrindo a sua estrutura e ao serem comprimidas contra a parede do canhão são estiradas e formam fibras lineares, idênticas às fibras musculares imitando a textura da carne; finalmente passam através de uma abertura muito reduzida (trefila), de uma zona de alta pressão para uma outra de pressão reduzida (atmosfera), o que resulta numa expansão das proteínas da soja por libertação das moléculas de água contidas na pasta. Depois, esta proteína texturizada é desidratada e pode ser cortada em pequenos pedaços ou ser moída. Com as técnicas de extrusão é possível produzir análogos de carne de boa qualidade a partir de proteínas vegetais texturizáveis (Food Today n^o 31, 02/2002).

Os *snacks* de expansão direta são basicamente produtos de amido que expandem à medida que saem pela trefila. São produzidos por extrusão-cozedura sob elevada tensão tangencial (*shear*), a temperaturas superiores a 100°C. A pressão no interior da extrusora mantém a água líquida a temperaturas elevadas, mas uma vez atravessada a trefila, a humidade vaporiza-se violentamente e origina a expansão da massa; o amido, que estava fluidificado, adquire o estado sólido após a saída pela trefila, com o arrefecimento, formando-se uma estrutura muito leve e porosa de um produto texturizado com fratura crocante (Heldman e Hartel, 1997).

Este tipo de *snacks* requer somente uma extrusora de parafuso simples de canhão curto, sem pré-condicionamento, fazendo uso de uma pequena quantidade adicional de água, que é injetada para o interior do canhão durante o processamento (Riaz, 2000), embora capacidades de produção superiores a 1000 kg/h exijam extrusoras de parafuso duplo (Heldman e Hartel, 1997).

As matérias-primas mais utilizadas são sêmolas

ou grãos de cereais como o milho, o trigo, o arroz e a aveia, mas como o produto final ainda apresenta teores de humidade entre 10 – 15%, é comum uma etapa de secagem pós-processamento para a reduzir a 2 – 3%, a que se pode seguir uma aromatização por cobertura com óleo e condimentos (Heldman e Hartel, 1997), assegurando uma textura crocante e o aroma e sabor desejados.

Já os *snacks* co-extrudidos resultam da utilização de duas extrusoras que co-extrudem através de uma trefila complexa, criando-se produtos recheados. Noutra opção, mais comum, há uma segunda linha de alimentação destinada apenas ao enchimento do recheio, mesmo junto à trefila, a fim de obter o produto combinado (Heldman e Hartel, 1997).

Na produção de *snacks* 3G, também conhecidos como produtos *snack* de expansão indireta ou *half products*, as condições usadas – tipicamente temperaturas de extrusão inferiores a 100°C – não permitem a expansão à saída da trefila, sendo necessário um processamento posterior para se obter o produto final, normalmente por fritura, habitualmente na forma de *pellets* ou *chips* (Heldman e Hartel, 1997). Neste tipo de produtos usam-se extrusoras de duplo parafuso, com um canhão longo (relação comprimento/diâmetro, L/D, 25.5:1), com zonas pré-condicionamento utilizando-se injeção de vapor e de água no canhão da extrusora (Riaz, 2000; Lopes-da-Silva *et al.*, 2015) e zonas de cozedura e de formação.

Estes produtos 3G, quando secos, podem ser expandidos mais tarde, por fritura em óleo quente, insuflados com ar quente ou processados por microondas. Os produtos depois de expandidos são então temperados com sal e diversas especiarias/condimentos, embalados e vendidos aos consumidores como *snacks* prontos-a-comer (RTE *snacks*). Os *pellets* 3G podem também ser vendidos diretamente ao consumidor para preparação em casa (Riaz, 2000), o que acrescenta novas dimensões ao seu potencial de mercado.

Nos produtos 3G, geralmente, a combinação de ingredientes contém níveis de amido relativamente altos para maximizar a expansão do produto final durante a exposição ao óleo ou ar quente, ou microondas. Teores de amido inferiores a 60% do total da receita resultam num produto com menor expansão, mais estaladiço (mais crocante) e com textura mais firme. Já proporções de amido superiores a 60% resultam num produto mais

expandido, leve e com textura mais branda. As formulações podem ainda incluir como ingredientes óleos vegetais, sais e emulsionantes para reduzir a adesividade, para controlar a expansão e para gerar uma estrutura com alvéolos mais uniformes no produto final (Riaz, 2000).

Mas se quisermos considerar os produtos alimentares extrudidos de acordo com a distinção extrusão a quente/ extrusão a frio há numerosos exemplos que podem ser referidos.

Assim, a extrusão a frio é efetuada, sem cozimento, para produção de massas, salsichas e produtos de confeitaria, com recurso a extrusoras de rosca de maior comprimento laborando a baixa velocidade de rotação, de preferência com canhão de superfície interna pouco rugosa para minimizar a fricção e a intensidade das forças de corte ou cisalhamento (Fellows, 2006).

Também a extrusão a quente, com cozimento, é bastante usada, já que permite tirar partido da queda abrupta de pressão à saída da trefila, o que causa rápida expansão do vapor e dos gases oriundos da massa, originando assim um produto final de baixa densidade, muito apreciado sensorialmente. Acresce que a extrusão a quente é um processo em regime HTST, isto é, recorre à aplicação de elevadas temperaturas durante curtos períodos de tempo, o que minimiza, comparativamente, a perda de nutrientes, incluindo componentes vitamínicos e aromas.

A extrusão a quente é muito usada em confeitaria, na produção de caramelos, gomas à base de fruta e alcaçuz, cremes, *toffees* e componentes de chocolates, uma vez que o regime HTST de funcionamento das extrusoras contribui para a dissolução dos açúcares na massa, a vaporização do excesso de água, a homogeneização de aditivos corantes e aromatizantes e para a gelatinização do amido. Tem também grande aplicação no processamento de produtos cárneos e de pescado, como *snacks* salgados e de *pellets* de amido com recheio de sub-produtos daquelas indústrias, incluindo derivados de camarão (Fellows, 2006).

Adicionalmente, de acordo com o mesmo autor, a extrusão a quente também se emprega para a descontaminação de temperos e a esterilização das sementes de cacau destinadas à produção de chocolate.

Mas onde a extrusão a quente tem, porventura, o seu maior domínio de aplicação é, como já se constatou anteriormente, no processamento de produtos de indústria de cereais. Efetivamente, os cereais matinais são, modernamente, numa proporção muito significativa, produzidos por extrusão de fragmentos de grão de cereal, frequentemente misturado com massas de pão, seguida de tosta e laminagem do produto extrudido, o qual é aspergido, posteriormente, com uma solução vitamínica e/ou de sais minerais, para enriquecimento do valor nutricional, num processo que decorre em alguns minutos, o que é bastante célere quando comparado com as cerca de 5h que este mesmo produto demorava a processar classicamente por tosta e laminagem a partir de *grits* de milho. Outros produtos de indústria de cereais, como os *cornflakes* ou os biscoitos de cevada, denominados *crispbread*, de entre outros, são produzidos em linhas de processamento incluindo extrusão (Fellows, 2006).

Este mesmo autor refere ainda que se têm vindo a consolidar algumas novas aplicações interessantes da extrusão a quente, designadamente na biotecnologia industrial, como, por exemplo: uso de extrusoras como reatores enzimáticos para produção de amido modificado usando α -amilase termoestável; hidrólise parcial de caseinatos em extrusora, com seleção das proteases a empregar, havendo claras evidências de obtenção de produtos de boa qualidade microbiológica e de melhoria das características sensoriais; emprego de misturas de oligossacáridos a partir de matérias-primas amiláceas, designadamente de batata, sem uso de enzimas, incorporando as misturas assim obtidas como ingredientes na confeção industrial de alimentos dietéticos e infantis.

Nesta tecnologia é de sublinhar a enorme variedade de combinações possíveis entre os diversos parâmetros que se podem manipular, em particular das condições de operação.

Os parâmetros que influenciam as características dos produtos extrudidos enquadram-se basicamente em dois grupos (Heldman e Hartel, 1997):

- o grupo dos parâmetros relacionados com a alimentação da extrusora, onde se inclui o teor de humidade do material de alimentação, a natureza das matérias-primas na alimentação em termos de composição (proteínas, amido, lípidos, água, tipos de açúcares e de proteínas presentes) e a sua

viscosidade, a presença de ingredientes como óleo, emulsionantes, de entre outros, o pH dos ingredientes e o tamanho das partículas no material de alimentação;

- o grupo dos parâmetros associados à própria operação de extrusão, o qual inclui variáveis tais como: o tipo de extrusora (de rosca(s) simples/dupla); o caudal e o modo de alimentação da extrusora; a geometria do parafuso, a qual altera o grau de mistura, a intensidade de tensão tangencial e a quantidade de energia mecânica na extrusora, modificando o tempo de residência do material no interior do equipamento e alterando a cozedura e a formação do produto; o comprimento do canhão, que influencia a magnitude da pressão na trefila e a extensão das reações que ocorrem na matriz alimentar; a velocidade do parafuso; as características da trefila como a forma, a área de descarga, e a temperatura do canhão.

A Figura 1 mostra como a qualidade do produto final (extrudido) depende de um conjunto de interações complexas que ocorrem no interior da extrusora, as quais dificultam as predições sobre o efeito de determinadas condições de operação.

Aliás, o *scale-up* de extrusoras é extremamente difícil, devido precisamente às numerosas interações entre o alimento e a extrusora (Heldman e Hartel, 1997). Em geral, na extrusão, este processo de translação requer a operação de extrusoras

em várias escalas e numa gama de condições que permitam o desenvolvimento de relações entre o tamanho da extrusora, as condições de operação e as características do produto final.

Relativamente à caracterização dos próprios produtos extrudidos, habitualmente são utilizados diversos parâmetros (Heldman e Hartel, 1997; Meng *et al.*, 2010; Chanvrier *et al.*, 2013), especialmente de natureza física, tais como:

- o grau de expansão do produto à saída da extrusora, por exemplo, através do índice de expansão seccional ou da razão de expansão;
- a densidade a granel;
- as propriedades físicas e reológicas, fundamentais (ex.: módulo de elasticidade) ou empíricas (ex.: dureza, adesividade, etc.), para o que se recorre frequentemente à análise instrumental da textura;
- a microestrutura interna, habitualmente através da microscopia eletrónica de varrimento e de análise de imagem;
- as propriedades afetas ao amido tais como, índice de absorção de água, índice de solubilidade em água e susceptibilidade enzimática, as quais dependem do tipo de matérias-primas utilizadas, assim como das condições de operação;

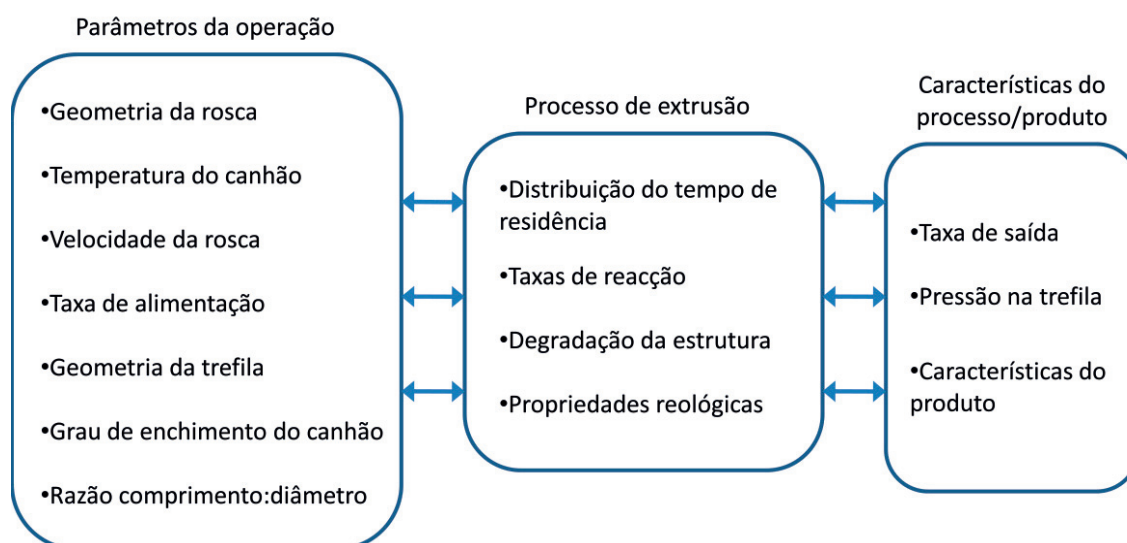


Figura 1 - Representação das interações que ocorrem numa extrusora entre os diversos parâmetros que influenciam a qualidade do produto final (adaptado de Heldman e Hartel, 1997).

f.) o grau de cozedura, o qual afeta características externas como a cor, o aroma, a aparência e outras características físicas. Para os extrudidos amiláceos em particular, este grau de cozedura pode ser avaliado através da perda de birrefringência, medida por microscopia ótica com filtros de luz polarizada; pela natureza cristalina do amido e sua extensão, por difração de raios-X; e por calorimetria diferencial de varrimento, pelas variações entálpicas durante o aumento/diminuição da temperatura.

g.) a cor, quase sempre de forma objetiva, através de um colorímetro.

Outros parâmetros que também é usual serem avaliados no produto final são o teor em proteína, o teor em gordura, a digestibilidade proteica *in vitro*, o teor em fibra, o teor de ácido fítico, a capacidade antioxidante total e os compostos fenólicos totais. Adicionalmente, também se podem determinar parâmetros associados às condições de processamento na extrusão, tais como a distribuição do tempo de residência, a energia mecânica específica e o tempo médio de residência (Stojceska *et al.*, 2008a,b; Pansawata *et al.*, 2008; Anton *et al.*, 2009; Meng *et al.*, 2010; Hirth *et al.*, 2014).

EFEITOS DA EXTRUSÃO NA COMPOSIÇÃO DO PRODUTO ALIMENTAR FINAL

Os consumidores têm vindo a compreender, de forma crescente, como a composição dos produtos alimentares pode afetar a respetiva qualidade nutricional (Brennan, 2005). No caso da extrusão, são diversas as variáveis que podem influenciar a composição dos produtos acabados: as características das matérias-primas, a sua mistura e condicionamento, a temperatura do canhão da extrusora, a pressão, a velocidade do parafuso, o teor de humidade, o caudal, a energia fornecida, o tempo de residência, a configuração do parafuso, de entre outros. Mas as variáveis críticas para o processo de extrusão, como a temperatura, a velocidade do parafuso e o teor de humidade, podem induzir modificações desejáveis, melhorando a palatabilidade e as propriedades nutricionais dos produtos extrudidos (Brennan *et al.*, 2008).

Porém, ainda há quem coloque reservas ao emprego da extrusão na indústria alimentar, argumentando com prejuízos de natureza nutricional.

É um facto que durante a extrusão, as reações químicas que ocorrem devido à temperatura elevada e às forças de cisalhamento, podem causar potenciais modificações no poder nutritivo dos alimentos extrudidos. Um exemplo disso mesmo é a variedade de mudanças que ocorrem nos polissacarídeos da parede celular durante o processamento e a confeção, afetando as propriedades físico-químicas da fibra dietética. Durante a extrusão de farinha de cevada, as mudanças no perfil da fibra dietética foram atribuídas, principalmente, a uma mudança da fibra dietética insolúvel para fibra dietética solúvel, e à formação de amido resistente e de “glucanos indigeríveis resistentes às enzimas” formados por transglicosilação (Vasanathan *et al.*, 2002).

Estas modificações na própria fibra alimentar vão também afetar a textura dos produtos. O efeito da fibra na textura depende maioritariamente de interações com o amido, do tipo de fibra e do seu teor. A fibra insolúvel reduz significativamente o volume de expansão e aumenta a densidade a granel dos produtos, conduzindo a texturas mais duras. Pelo contrário, a fibra solúvel conduz a maiores volumes de expansão e afeta menos a densidade quando comparada com os componentes de fibra insolúvel. Estas diferenças no volume de expansão podem ser explicadas pela interação com o amido, diferenças na sorção de água e no comportamento plasticizante, mas também pelas transformações químicas que sofrem durante a extrusão (Robin *et al.*, 2012).

Uma das primeiras reações que ocorre é a gelatinização dos amidos das matérias-primas - tipicamente de cereais ou outros materiais amiláceos - em condições controladas de humidade e de temperatura. No interior da extrusora, os grânulos de amido são expostos à humidade, ao calor e à desintegração pelas forças de cisalhamento, podendo originar grânulos rompidos fisicamente, moléculas de amido livres, amido gelatinizado e/ou amido dextrinizado. Devido às forças mecânicas, as moléculas são reduzidas a pequenas unidades de oligossacáridos, e apesar da gelatinização típica conduzir a um aumento da viscosidade, a extrusora causa uma diminuição da viscosidade devido à redução do tamanho das moléculas. No interior da extrusora, o sistema amido gelatinizado-água comporta-se como um fluido viscoso, mas quando o material amiláceo sai pela trefila, estas estruturas moleculares arrefecem e constituem filamentos e redes que determinam a textura do produto. A extensão destas reações e a qualidade do produto

final – como a solubilidade e a estrutura interna do produto extrudido – são determinadas pelas condições de operação da extrusora, pelas próprias características da extrusora e pela presença de outros ingredientes, tais como, óleo ou água (Heldman e Hartel, 1997).

Já as proteínas, quando sujeitas nas extrusoras a temperaturas entre 150 e 200°C, a pressões de 120 a 410 kPa e a tensões tangenciais elevadas, desnaturam e formam uma pasta fundida contínua. Na extrusora, a ação de mistura evita o realinhamento das proteínas até ao momento em que são forçadas a atravessar a trefila, momento em que há arrefecimento e despressurização; os filamentos de proteínas convertem-se em “fibras” e tomam forma à medida que saem da extrusora. Esta texturização é promovida, por exemplo, na criação de produtos análogos de carne à base de soja, embora também possam ser extrudidos glúten de trigo e caseinatos (Heldman e Hartel, 1997).

Outra modificação na extrusão em que as proteínas também estão envolvidas são as reações de Maillard, as quais afetam de forma importante as características do produto, particularmente a cor, o aroma e o valor nutricional. Quando proteínas e açúcares redutores estão disponíveis para interagir a temperaturas elevadas, tem lugar o acastanhamento não enzimático devido às reações de Maillard, e tal como noutros tipos de processamento, também na extrusão o conteúdo aquoso e a temperatura determinam a taxa e a extensão deste acastanhamento: temperatura elevada e baixo teor de humidade conduzem a uma cor mais acastanhada e, provavelmente, a uma maior perda do valor nutricional das proteínas. Mas uma diminuição do tempo de residência da massa extrudida na extrusora diminui o acastanhamento. Segundo Heldman e Hartel (1997) isto pode ser conseguido, por exemplo, aumentando o caudal de alimentação, mas também se pode intervir atuando sobre a velocidade do parafuso; é certo que maior velocidade de rotação do parafuso implica maior cisalhamento e maior temperatura durante a extrusão, mas também reduz globalmente o tempo de residência.

Efetivamente, não se podem menosprezar os riscos de ocorrência de reações de Maillard na massa no processamento por extrusão a quente. Tipicamente, estas ocorrências sucedem, porém, pelo emprego de binómios temperatura – pressão desadequados. A este respeito, é recomendável proceder-se a

ensaios experimentais à escala-piloto para otimização dos binómios mais aconselháveis, e em face da versatilidade de possíveis combinações existentes, poderá ser possível obter um novo produto sem a ocorrência destas reações de forma extensa.

As reações de Maillard resultam em perdas na qualidade e disponibilidade proteicas. Alguns estudos demonstraram alterações na disponibilidade de lisina durante a extrusão-cozedura e relacionaram-nas com os parâmetros do processo: em geral, quanto maior a temperatura, menor a disponibilidade de lisina, enquanto um maior teor de humidade resulta numa maior disponibilidade deste aminoácido (Heldman e Hartel, 1997; Chaiyakul *et al.*, 2009). As perdas de aminoácidos como lisina, cisteína e metionina devido à natureza do processamento podem atingir valores elevados, da ordem de 50 – 90%, sobretudo em produtos derivados de arroz (Fellows, 2006).

Outro inconveniente comumente apontado a este processo, sobretudo na extrusão a quente, é a destruição de vitaminas. Vários trabalhos têm discutido a estabilidade das vitaminas durante a extrusão, mas Riaz *et al.* (2009) revêem este tema de forma bastante completa. Potencialmente, as vitaminas perdem-se durante o processo, embora esta perda pareça estar altamente dependente das condições de operação.

Durante a extrusão, a retenção de vitaminas em alimentos destinados ao Homem e em produtos para alimentação animal, é afetada por fatores como a temperatura do canhão, a velocidade do parafuso, o teor de humidade, o diâmetro do(s) orifício(s) da trefila e o débito de saída. Por outro lado, visto que as vitaminas diferem bastante na composição, estrutura química e formas disponíveis, a sua estabilidade durante a extrusão é também muito diversa.

As vitaminas mais sensíveis ao processo de extrusão são, de entre as vitaminas lipossolúveis, a vitamina A e a vitamina E, e de entre as hidrossolúveis, as vitaminas C, B₁, e ácido fólico. As outras vitaminas do grupo B, tais como a B₂, B₆, B₁₂, niacina, Ca-pantotenato e biotina, são estáveis. A vitamina E, por si só, ou na sua forma complexa, é bastante instável durante o processamento e mesmo no armazenamento do produto extrudido. Já a estabilidade da vitamina K e do ácido pantoténico, são mais afetadas pela humidade. O ácido ascórbico adicionado diretamente ou revestido com gordura e, em

seguida, adicionado ao produto durante a extrusão, é também muito instável. As vitaminas A, C, D, e E também são sensíveis à oxidação, por isso, estas vitaminas têm uma retenção mínima durante o armazenamento do extrudido (Riaz *et al.*, 2009). Anteriormente, Athar *et al.* (2006) tinham constatado que a extrusão-cozedura de snacks a temperaturas elevadas por tempos curtos permite a retenção de maiores níveis de vitaminas termolábeis do grupo B relativamente ao que se verificava utilizando temperaturas mais baixas por tempos maiores.

Por outro lado, a extrusão pode potencialmente inativar algumas das enzimas que existem naturalmente nos alimentos (lipases, por exemplo) e que, com frequência, estão envolvidas em reações que condicionam a qualidade do produto durante o seu tempo de vida útil. Esta tecnologia pode assim contribuir para aumentar a estabilidade de alguns produtos finais, ainda que a extensão da inativação dependa das condições do processo. As temperaturas baixas e os teores de humidade baixos podem não proporcionar condições para a desnaturação proteica, e a atividade enzimática não ser suficientemente reduzida.

Apesar de ocorrerem quer efeitos positivos, quer efeitos negativos, como concluíram Brennan *et al.* (2011) numa oportuna revisão sobre este tema, vários estudos têm mostrado que o processamento por extrusão reduz significativamente os compostos bioativos mensuráveis em produtos alimentares (Viscidi *et al.*, 2004; Camire *et al.*, 2007; Korus *et al.*, 2007; Delgado-Licon *et al.*, 2009; Anton *et al.*, 2009; Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009; Khanal *et al.*, 2009; Dehghan-Shoar *et al.*, 2010; Mora-Rochin *et al.*, 2010; White *et al.*, 2010; Emin *et al.*, 2012; Potter *et al.*, 2013; Hirth *et al.*, 2014). Nos géneros alimentícios, os compostos bioativos desempenham um papel vital na proteção que oferecem ao organismo humano contra doenças crónicas e degenerativas. Mas para além desses efeitos benéficos na saúde humana, os compostos fenólicos presentes nos alimentos também têm atividade anti-radicaís livres, quelante de metais e supressora do oxigénio singuleto, que desencadeiam a oxidação lipídica, melhorando o tempo de prateleira e a aceitabilidade, pelos consumidores, dos produtos extrudidos (Brennan *et al.*, 2011). Durante a extrusão, os compostos fenólicos podem sofrer descarboxilação devido às altas temperaturas do canhão, e o elevado teor de humidade pode promover a polimerização dos fenóis e taninos conduzindo a uma diminuição

da extratabilidade e da atividade anti-oxidante (Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009). Contudo, em alguns casos o nível de compostos bioativos em produtos extrudidos pode aumentar, por rotura mecânica (por exemplo, os níveis de ácidos fenólicos aumentam), devido à libertação a partir da matriz da parede celular (Brennan *et al.*, 2011).

Uma avaliação da literatura disponível revela que o nível de compostos bioativos nos produtos extrudidos é influenciada pelas variáveis do processo de extrusão tais como: o cisalhamento (tensão tangencial), a temperatura, o tempo de residência e o teor de humidade, mas também a estrutura do alimento desempenha um papel importante na potencial libertação dos compostos bioativos (Brennan *et al.*, 2011). De qualquer modo, o desenvolvimento da tecnologia tem permitido a disponibilização de uma variedade de alimentos destinados a consumidores preocupados com a saúde (Riaz *et al.*, 2009).

Também em relação aos aromas, as perdas podem ser muito significativas e até severas, na extrusão a quente, devido à natureza do processo, que induz à sua volatilização à saída da trefila. Contudo, na indústria, é prática corrente na linha de processamento aspergir ou aplicar misturas de aromas após a extrusão, sob a forma de aerossóis ou de pastas viscosas, de modo a, tanto quanto possível, compensar as perdas verificadas. Sublinhe-se, no entanto, que a aplicação dessas misturas impõe a necessidade de uma operação subsequente de secagem, a fim de obstar a riscos de deterioração do produto alimentar por incorporação de humidade.

Para além da aplicação, por revestimento do exterior dos produtos após a extrusão, estes aromas podem também ser adicionados conjuntamente às matérias-primas e serem sujeitos ao processo de extrusão. Adicionalmente, podem também produzir-se aromas e sabores durante a própria extrusão, baseados em reações de caramelização, reações de Maillard ou de decomposição oxidativa. Para tal pode contribuir a presença de proteínas, o teor de açúcares, especialmente de açúcares redutores, a origem do amido presente e o teor de humidade das matérias-primas. Tem também sido desenvolvida a encapsulação de aromas termossensíveis de tal forma que se liberta o aroma no momento apropriado do processo (Heldman e Hartel, 1997).

Outro inconveniente apontado diz respeito às perdas de cor, sobretudo em resultado da extrusão a

quente. Os corantes são frequentemente adicionados às matérias-primas e expostos integralmente às condições de extrusão (Heldman e Hartel, 1997). Efetivamente, neste processo, as perdas podem ser significativas. Contudo, na extrusão em regime HTST, as condições nele vigentes causam apenas efeitos de pequena dimensão nas cores naturais dos próprios alimentos (Fellows, 2006).

Em resumo, os efeitos da extrusão-cozedura na qualidade nutricional são ambíguos. Os efeitos benéficos incluem a destruição de fatores anti-nutricionais, a gelatinização do amido, o aumento da fibra dietética solúvel e a redução da oxidação lipídica. Por outro lado, as reações de Maillard reduzem o valor nutricional das proteínas, dependendo do tipo de matérias-primas, da sua composição e das condições do processo. As vitaminas termolábeis podem perder-se em extensão variável. As alterações nas proteínas e no perfil de aminoácidos, nos hidratos de carbono, fibra dietética, vitaminas, teor de minerais e em alguns componentes sem caráter nutriente, podem ser quer benéficas, quer prejudiciais.

Condições de extrusão suaves - elevado teor de humidade, reduzido tempo de residência, baixa temperatura - melhoram a qualidade nutricional, enquanto temperaturas de extrusão superiores a 200°C, teor de humidade inferior a 15% e/ou formulação inapropriada (por exemplo, a presença de açúcares muito reativos), pode ser adversa para a qualidade nutricional. Assim, para obter um produto extrudido equilibrado nutricionalmente é essencial um controlo cuidadoso dos parâmetros do processo (Singh *et al.*, 2007).

É ainda de referir que se tem verificado que a qualidade bacteriológica dos produtos extrudidos é excelente. Geralmente, os microrganismos são destruídos de forma eficiente nas condições em que operam as extrusoras alimentares. Contudo, alguns processos de extrusão a baixas temperaturas e tempos de residência curtos podem não ser suficientes para a completa destruição microbiana (Heldman e Hartel, 1997).

TENDÊNCIAS FUTURAS

A extrusão-cozedura, como um processo térmico/mecânico, multifunções e *multi-step*, tem permitido um número vasto de aplicações a alimentos (Singh *et al.*, 2007), sendo cada vez mais usada na

produção de uma gama ampla de *snacks* e cereais de pequeno-almoço, e alvo de investigação para a melhoria da qualidade nutricional dos produtos extrudidos (Stojceska *et al.*, 2008a).

Os produtos extrudidos são populares, visto que estão sempre prontos a consumo (*ready-to-eat*), têm uma textura crocante e cores e formas atrativas. Contudo, frequentemente são vistos como *junk food* devido à sua composição ser baseada maioritariamente em hidratos de carbono e gorduras (Hirth *et al.*, 2014).

Dado que os consumidores procuram de forma crescente alimentos processados equilibrados nutricionalmente e ricos em fibra dietética e em compostos bioativos – pela relevância na saúde e nutrição humana, especialmente pela ação preventiva sobre determinadas doenças – têm-se vindo a multiplicar recentemente os estudos sobre a incorporação de fibra alimentar e fitoquímicos ou de extratos naturais ricos em fitoquímicos em produtos extrudidos, incluindo estudos sobre a sua estabilidade face ao próprio processamento de extrusão (Viscidi *et al.*, 2004; Korus *et al.*, 2007; Camire *et al.*, 2007; Yanniotis *et al.*, 2007; Stojceska *et al.*, 2008a; Brennan *et al.*, 2008; Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009; Khanal *et al.*, 2009; Riaz *et al.*, 2009; Dehghan-Shoar *et al.*, 2010; Mora-Rochin *et al.*, 2010; White *et al.*, 2010; Potter *et al.*, 2013; Hirth *et al.*, 2014). É o caso das frutas em pó ou dos extratos de fruta contendo elevados teores de componentes bioativos, tais como compostos fenólicos e antocianinas, de entre outros, que, para além de constituírem uma fonte de antioxidantes, também proporcionam uma qualidade organoléptica aceitável (Hirth *et al.*, 2014).

Neste sentido, importa referir as novas perspectivas de valorização que a extrusão abre a diversos materiais de origem vegetal, alguns dos quais eram comumente rejeitados como resíduos ou sub-produtos pela produção agro-industrial ou, quando muito, incorporados em alimentação animal sem grande valor acrescentado.

Por outro lado, hoje em dia, há uma grande pressão política e social para reduzir a poluição decorrente das atividades industriais. Tentam-se modificar os processos de modo que os sub-produtos possam ser reciclados, e cada vez mais os resíduos não são considerados como lixo, mas como matéria-prima de outros processos (Mussato *et al.*, 2006).

Assim, perspectiva-se que uma das tendências para

os próximos anos seja a aposta em produtos extrudidos em cuja formulação entrem subprodutos agrícolas ou agro-industriais, aproveitando a maior receptividade por parte dos consumidores, em face do contexto de crise e de contração econômica e do interesse pela reciclagem e reutilização de matérias-primas, reduzindo o desperdício alimentar.

Adicionalmente, tem-se vindo a ensaiar a incorporação de outras matrizes de origem vegetal com interesse nutricional e para a saúde, cujo consumo tem vindo a ser esquecido ou é tradicionalmente pouco diversificado, como é o caso das leguminosas secas. Podem citar-se aqui, de entre outros, os estudos produzidos por Shirani e Ganesharane (2009), Meng *et al.* (2010), Balasubramanian *et al.* (2011) e Dogan *et al.* (2013).

Estas tendências têm-se imposto de forma gradual. Unlu e Faller (1998) já tinham utilizado os amidos de milho, trigo e batata para aumentar o teor de amido resistente, o qual se comporta como fibra dietética no organismo humano; Vasanathan *et al.* (2002) utilizaram cevada para aumentar o nível de fibra dietética total; Esposito *et al.* (2005) usaram subprodutos de farelo de trigo duro para aumentar o nível de fibra dietética insolúvel; Stojceska *et al.* (2008a) usaram subproduto de couve-flor para aumentar o teor de compostos fenólicos e de antioxidantes em produtos extrudidos; Stojceska *et al.* (2008b) estudaram o efeito da incorporação de drêche em produtos expandidos prontos-a-comer e os seus efeitos nas propriedades funcionais e de textura desses extrudidos; Stojceska *et al.* (2010) mostraram ser possível aumentar o teor de fibra dietética total em produtos extrudidos isentos de glúten incorporando frutas e hortícolas diversas, e recentemente, Robin *et al.* (2012) reviram as limitações e as oportunidades trazidas pela incorporação de fibra dietética nos produtos extrudidos à base de cereais, de entre outros trabalhos.

A inclusão de subprodutos da agro-indústria usando a tecnologia de extrusão para melhorar as características nutricionais dos *snacks* está muito bem documentada (Ainsworth *et al.*, 2007; Esposito *et al.*, 2005; Stojceska *et al.*, 2008a,b). Tem-se visto que estes novos produtos melhoram significativamente o nível de fibra dietética total, mas também afetam as características de textura dos extrudidos (Stojceska *et al.*, 2008a; Robin *et al.*, 2012).

Apesar da incorporação de fibra dietética nos

produtos extrudidos conduzir frequentemente a uma redução dos volumes de expansão e a texturas que são menos preferidas pelos consumidores, Robin *et al.* (2012) afirmam que a aplicação de tratamentos à fibra insolúvel antes da extrusão, tais como a redução do tamanho de partícula ou o aumento da solubilidade por modificação da fibra, que cumpram os requisitos legais estabelecidos, pode melhorar significativamente as propriedades dos produtos que contêm fibra insolúvel, oferecendo a possibilidade de utilizar fontes de fibra subvalorizadas.

Contudo, será sempre adequando a formulação e controlando os parâmetros de extrusão que podem ser produzidos *snacks* expandidos prontos-a-comer aceitáveis para os consumidores (Ainsworth *et al.*, 2007; Stojceska *et al.*, 2008b).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ainsworth, P.; Ibanoglu, S.; Plunkett, A.; IBANOGLU, E. e Stojceska, V. (2007) - Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, vol. 81, n. 4, p. 702–709.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
- Anton, A.A.; Fulcher, R.G. e Arntfield, S.D. (2009) - Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, vol. 113, n. 4, p. 989–996.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.050>
- Athar, N.; Hardacre, A.; Taylor, G.; Clark, S.; Harding, R. e Mclaughlin, J. (2006) - Vitamin retention in extruded food products. *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 19, n. 4, p. 379–383.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2005.03.004>
- Balasubramanian, S.; Borah, A.; Singh, K.K. e Patil, R.T. (2012) - Effect of selected dehulled legume incorporation on functional and nutritional properties of protein enriched sorghum and wheat extrudates. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 49, n. 5, p. 572–579.
<http://dx.doi.org/10.1007/s13197-010-0209-8>
- Brennan, C.S. (2005) - Dietary fibre, glycaemic response, and diabetes. *Molecular Nutrition & Food Research*, vol. 49, n. 6, p. 560–570.
<http://dx.doi.org/10.1002/mnfr.200590028>
- Brennan, M.A.; Monro, J.A. e Brennan, C.S. (2008) -

- Effect of inclusion of soluble and insoluble fibres into extruded breakfast cereal products made with reverse screw configuration. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 43, n. 12, p. 2278-2288.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01867.x>
- Brennan, C.; Brennan, M.; Derbyshire, E. e Tiwari, B.K. (2011) - Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods *Trends in Food Science & Technology*, vol. 22, n. 10, p. 570-575.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>
- Camire, M.E.; Dougherty, M.P. e Briggs, J.L. (2007) - Functionality of fruit powders in extruded corn breakfast cereals *Food Chemistry*, vol. 101, n. 2, p. 765-770.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.031>
- Chanvrier, H.; Davideka, T.; Gumya, J.C.; Chassagne-Bercesa, S.; Jakubczyk, E. e Blanka, I. (2013) - Insights into the texture of extruded cereals products. *InsideFood Symposium*, 9-12 April 2013, Leuven, Belgium, pp. 1-6.
- Chaiyakul, S.; Jangchud, K.; Jangchud, A.; Wuttijumnong, P. e Winger, R. (2009) - Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 42, n. 3, p. 781-787.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.09.011>
- Dehghan-Shoar, Z.; Hardacre, A.K. e Brennan, C.S. (2010) - The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chemistry*, vol. 123, n. 4, p. 1117-1122.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.071>
- Delgado-Licon, E.; Ayala, A.L.M.; Rocha-Guzman, N.E., Gallegos-Infante, J.A.; Atienzo-Lazos, M.; Drzewiecki, J.; Martínez-Sánchez, C.E. e Gorinstein, S. (2009) - Influence of extrusion on the bioactive compounds and the antioxidant capacity of the bean/corn mixtures. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, vol. 60, n. 6, p. 522-532.
<http://dx.doi.org/10.1080/09637480801987666>
- Dogan, H.; Gueven, A. e Hicsasmaz, Z. (2013) - Extrusion cooking of lentil flour (*lens culinaris*-red)-corn starch-corn oil mixtures. *International Journal of Food Properties*, vol. 16, n. 2, p. 341-358.
<http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2011.551866>
- Emin, M.A.; Mayer-Miebach, E. e Schuchmann, H.P. (2012) - Retention of Î2-carotene as a model substance for lipophilic phytochemicals during extrusion cooking. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 48, n. 2, p. 302-307.
- Esposito, F.; Arlotti, G.; Bonifati, A.M.; Napolitano, A.; Vitale, D. e Fogliano, V. (2005) - Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Research International*, vol. 38, n. 10, 1167-1173.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2005.05.002>
- Fellows, P.J. (2006) - *Tecnologia do Processamento de Alimentos. Princípios e Prática*, 2ª Edição, Artmed, Porto Alegre, pp. 305-319.
- Food Today n° 31, 02/2002. European Food Information Council (EUFIC) newsletter. [cit. 04/05/2014].
<http://www.eufic.org/article/en/page/FTARCHIVE/artid/new-food-technologies-processing>
- Heldman, D.R. e Hartel, R.W. (1997) - *Principles of Food Processing*. Chapman and Hall, New York, pp 253-283.
- Hirth, M.; Leiter, A.; Beck, S.M. e Schumann, H.P. (2014) - Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based foods. *Journal of Food Engineering*, vol. 125, n. 1, p. 139-146.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.034>
- Khanal, R. C.; Howard, L.R.; Brownmiller, C.R. e Prior, R.L. (2009) - Influence of extrusion processing on procyanidin composition and total anthocyanin contents of blueberry pomace. *Journal of Food Science*, vol. 74, n. 2, p. H52-H58.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01063.x>
- Korus, J.; Gumul, D. e Czechowska, K. (2007) - Effect of extrusion on the phenolic composition and the antioxidant activity of dry beans of *Phaseolus vulgaris* L. *Food Technology and Biotechnology*, vol. 45, n. 2, p. 139-146.
- Lopes-da-Silva, M.; Santos, L. e Choupina, A. (2015) - A extrusão em tecnologia alimentar: tipos, vantagens e equipamentos. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 38, n. 1, p. 3-10.
- Meng, X.; Threinen, D.; Hansen, M. e Driedger, D. (2010) - Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, vol. 43, n. 2, p. 650-658.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.016>
- Mora-Rochin, S.; Gutiérrez-Urbe, J.A.; Sarna-Saldivar, S.O.; Sánchez-Peña, P.; Reyes-Moreno, C. e Millán-Carrillo, J. (2010) - Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, vol. 52, n. 3, p. 502-508.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.010>
- Mussato, S.I.; Dragone, G. e Roberto, I.C. (2006) - Brewers' spent grain: generation, characteristics

- and potential applications. *Journal of Cereal Science*, vol. 43, n. 1, p. 1–14.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>
- Pansawat, N.; Jangchud, K.; Jangchud, A.; Wuttijumnong, P.; Saalia, F.K.; Eitenmiller, R.R. e Phillips, R.D. (2008) - Effects of extrusion conditions on secondary extrusion variables and physical properties of fish, rice-based snacks. *LWT - Food Science and Technology*, vol. 41, n. 4, p. 632–641.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2007.05.010>
- Potter, R.; Stojceska, V. e Plunkett, A. (2013) - The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children’s diets. *LWT Food Science and Technology*, vol. 51, n. 2, p. 537–544.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.015>
- Repo-Carrasco-Valencia, R.; Pena, J.; Kallio, H. e Salminen, S. (2009) - Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Journal of Cereal Science*, vol. 49, n. 2, p. 219–224.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2008.10.003>
- Riaz, M.N. (2000) - *Extruders in Food Applications*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, pp. 170–198.
- Riaz, M.; Asif, M. e Ali, R. (2009) - Stability of vitamins during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 49, n. 4, p. 361–368.
<http://dx.doi.org/10.1080/10408390802067290>
- Robin, F.; Schuchmann, H.P. e Palzer, S. (2012) - Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 28, n. 1, p. 23–32.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.008>
- Singh, S.; Gamlath, S. e Wakeling, L. (2007) - Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, vol. 42, n. 8, p. 916–929.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Shirani, G. e Ganesharane, R. (2009) - Extruded products with fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of Food Engineering*, vol. 90, n. 1, p. 44–52.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.004>
- Stojceska, V.; Ainsworth, P.; Plunkett, A.; Ibanoglu, E. e Ibanoglu, S. (2008a) - Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, vol. 87, n. 4, p. 554–563.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.009>
- Stojceska, V.; Ainsworth, P.; Plunkett, A. e Ibanoglu, S. (2008b) - The recycling of brewer’s processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion technology. *Journal of Cereal Science*, vol. 47, n. 3, p. 469–479.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2007.05.016>
- Stojceska, V.; Ainsworth, P.; Plunkett, A. e Ibanoglu, S. (2010) -The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, vol. 121, n. 1, p. 156–164.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.024>
- Unlu, E. e Faller, F.J. (1998) - Formation of resistant starch by a twin-screw extruder. *Cereal Chemistry*, vol. 75, n. 3, p. 346–350.
<http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.3.346>
- Vasanathan, T.; Gaosong, J.; Yeung, J. e Li, J. (2002) - Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion. *Food Chemistry*, vol. 77, n. 1, p. 35–40.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00318-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00318-1)
- Viscidi, K.A.; Dougherty, M.P.; Briggs, J. e Camire, M.E. (2004) - Complex phenolic compounds reduce lipid oxidation in extruded oat cereals, *LWT - Food Science and Technology*, vol. 37, n. 7, p. 789–796.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.005>
- White, B.L.; Howard, L.R. e Prior, R.L. (2010) - Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 58, n. 7, p. 4037–4042.
<http://dx.doi.org/10.1021/jf902838b>
- Yanniotis, S.; Petraki, A. e Soumpasi, E. (2007) - Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*, vol. 80, n. 2, p. 594–599.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.018>