

INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS
Campus Bambuí

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL**

MARIA SILVEIRA COSTA

EXTRAÇÃO DE FIBRAS INSOLÚVEIS DO RESÍDUO FARELO DE TRIGO

BAMBUÍ-MG
2017

MARIA SILVEIRA COSTA

EXTRAÇÃO DE FIBRAS INSOLÚVEIS DO RESÍDUO FARELO DE TRIGO

Dissertação apresentada ao Instituto Federal Minas Gerais *campus* Bambuí, como requisito para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Orientador: Neimar de Freitas Duarte

BAMBUÍ-MG

2017

C837e Costa, Maria Silveira.
Extração de fibras insolúveis do resíduo farelo de trigo. / Maria
Silveira Costa. – 2017.
77 f.: il.

Orientador: Dr. Neimar de Freitas Duarte.
Dissertação de mestrado (Pós-graduação) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí,
MG, Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental,
2017.

1. Tratamento térmico. 2. Solução aquosa. 3. Ultrafiltração. I. Duarte,
Neimar de Freitas. II. Título.

CDD 641.3311



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS

Avenida Professor Mário Werneck, n.º 2590, Bairro Buritis, Belo Horizonte, CEP 30575-180,
Estado de Minas Gerais

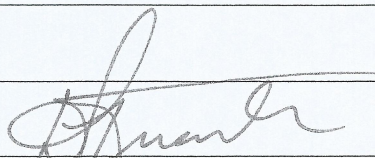


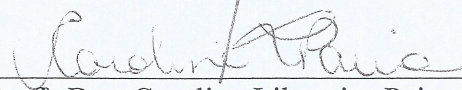
FICHA DE APROVAÇÃO

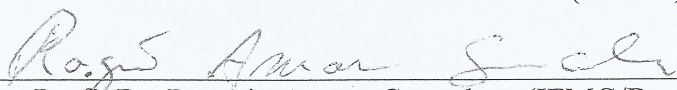
Dissertação de Mestrado, intitulada “*Extração de Fibras Insolúveis do Resíduo Farelo de Trigo*”, de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental **Maria Silveira Costa**, aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 11/08/2017, com a média de pontuação de 92.

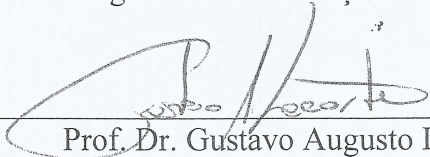
Título do Trabalho – houve alteração () Sim (X) Não

Se sim, qual o novo título _____


Prof.º. Dr. Neimar de Freitas Duarte – Orientador (IFMG/Santa Luzia)


Prof.ª. Dra. Caroline Liboreiro Paiva (UFMG)


Prof. Dr. Rogério Amaro Gonçalves (IFMG/BambuÍ)


Prof. Dr. Gustavo Augusto Lacorte

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG

DEDICATÓRIA

A natureza, por ser a razão deste estudo.

AGRADECIMENTOS

Muito obrigada Neimar, pela confiança e orientação.

Muito obrigada Rogerinho, por mais uma pesquisa juntos.

Muito obrigada Gustavo Lacorte, pelo incentivo e por todo o apoio.

Muito obrigada IFMG, por acreditar e financiar este trabalho.

Muito obrigada Vilma Alimentos, por ser parceira.

Muito obrigada Cerennia Congelados, pela consideração.

Muito obrigada família.

Muito obrigada Carlos.

“Apesar de tudo eu ainda creio na bondade humana”

(Anne Frank)

COSTA. Maria Silveira. Extração de fibras insolúveis do resíduo farelo de trigo. Bambuí: IFMG, 2017. 68 p.

RESUMO

A geração de resíduos e subprodutos é inerente a qualquer setor produtivo. Os setores agroindustriais produzem grandes quantidades de resíduos, os quais podem apresentar elevados problemas de disposição final e potencial poder poluente, além de representarem, muitas vezes, perdas de biomassa e de nutrientes de alto valor. Dentre as cadeias agroindustriais, a cadeia de processamento de trigo se enaltece por tratar do cereal com o maior volume de produção mundial e que gera volumes expressivos (23%) de resíduo (farelo de trigo), representando um grande problema para as indústrias moageiras. O farelo de trigo consiste em um recurso alimentar renovável e pouco explorado, apesar de se apresentar como uma das fontes mais ricas de fibras, principalmente fibras insolúveis. As fibras alimentares apresentam diversos benefícios à saúde humana, sendo considerada como componente funcional, agindo na prevenção de diversas doenças. As indústrias alimentícias, atentas ao cenário, estão desenvolvendo diversos produtos enriquecidos com fibras, visando atender à demanda crescente de indivíduos interessados em uma alimentação mais saudável. No entanto, as fibras isoladas possuem um alto custo e seu fornecimento, atualmente, é restrito por empresas internacionais. Diante deste contexto, o objetivo do trabalho é desenvolver ou aprimorar uma metodologia de extração de fibras insolúveis do farelo de trigo, sendo aplicáveis as indústrias moageiras de trigo, assim como obter um novo produto com maior valor agregado, as fibras insolúveis disponíveis para comercialização e utilização nas indústrias de alimentos. Este trabalho foi subdividido em três etapas: 1) revisão bibliográfica sistemática, 2) caracterização físico-química de diferentes farelos de trigo e 3) experimentação de diferentes metodologias de extração de fibras insolúveis. Na experimentação de diferentes métodos de extração, o primeiro experimento preliminar (EP-I) variou o conteúdo da solução aquosa de extração entre ácidos e bases. Determinada a solução aquosa ideal, o experimento preliminar II (EP-II) utilizou-se do delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2 com 3 diferentes temperaturas e com os tempos de 20 e 30 minutos. Com solução aquosa e binômio tempo/temperatura determinados realizou-se o experimento preliminar III (EP-III), o qual trabalhou a etapa de purificação da solução extraída, variando entre o sistema de ultrafiltração e de carvão ativado. Com três experimentos preliminares realizados, o experimento extrativo se baseou na etapa principal do processo, que é propriamente a fase de extração, onde se variou entre tratamentos enzimáticos, físicos e mistos. Como resultado encontrou-se dez patentes relacionadas ao processo de extração de fibras, das quais nove tratam da extração enzimática e apenas uma da extração por meio físico. As amostras de farelo de trigo analisadas apresentaram teores de fibras insolúveis entre 39,9 - 44,1%, sendo a amostra M3 a que apresentou maior teor (44,1%). Entre os processos de extração o que obteve melhores resultados foi o E1 – tratamento físico, com 12,3% de fibras insolúveis nas amostras M1 e M2. O processo de extração por tratamento físico apresentou rendimento médio de aproximadamente 29%. O produto obtido foi uma solução aquosa de fibras, podendo a mesma ser submetida ou não ao processo de secagem. Portanto, a metodologia de extração de fibras proposta por este trabalho se resumiu em: remoção das impurezas com álcool etílico; extração em solução aquosa com água pura; extração em autoclave com temperatura e tempo mínimos de 174°C e 20 minutos, respectivamente; centrifugação; purificação com membrana de ultrafiltração ou osmose reversa; clareamento e secagem.

Palavras-chave: tratamento térmico, solução aquosa, ultrafiltração

COSTA. Maria Silveira. Extraction of insoluble fibers from wheat bran residue. Bambuí: IFMG, 2017. 68 p.

ABSTRACT

The generation of waste and by-products is inherent to any productive sector. The agroindustrial sectors produce large quantities of waste, which can present high final disposal problems and potential pollutants, and often represent losses of biomass and high-value nutrients. Among the agroindustrial chains, the wheat processing chain is praised for treating the cereal with the largest volume of production in the world, which generates significant volumes (23%) of waste (wheat bran), representing a major problem for the milling industry. Wheat bran is a renewable and poorly exploited food resource, although it is one of the richest sources of fiber, mainly insoluble fibers. Fiber fibers present several benefits to human health, being considered as functional component, acting in the prevention of several diseases. The food industry, attentive to the scenario, are developing several products enriched with fibers, aiming to meet the growing demand of individuals interested in a healthier diet. However, single fibers are expensive and their supply is currently restricted by international companies. In view of this context, the objective of the work is to develop or improve a methodology for the extraction of insoluble fiber from wheat bran, with the wheat mills being applied as well as obtaining a new product with higher added value, the insoluble fibers available for commercialization and In the food industry. This work was subdivided into three stages: 1) systematic bibliographical review, 2) physicochemical characterization of different wheat bran, and 3) experimentation of different methodologies for the extraction of insoluble fibers. In the experimentation of different extraction methods, the first preliminary experiment (EP-I) varied the content of the aqueous extraction solution between acids and bases. When the ideal aqueous solution was determined, preliminary experiment II (EP-II) was used in a completely randomized design, in a 3x2 factorial scheme with 3 different temperatures and at 20 and 30 minutes. The preliminary experiment III (EP-III), which worked on the purification step of the extracted solution, was carried out with the solution of ultrafiltration and activated carbon. With three preliminary experiments carried out, the extractive experiment was based on the main stage of the process, which is exactly the extraction phase, where it was varied between enzymatic, physical and mixed treatments. As a result ten patents related to the fiber extraction process were found, of which nine deal with the enzymatic extraction and only one of the physical extraction. The wheat bran samples analyzed had insoluble fiber contents between 39.9 - 44.1%, and the M3 sample had the highest content (44.1%). Among the extraction processes, the best results were E1 - physical treatment, with 12.3% of insoluble fibers in samples M1 and M2. The physical treatment extraction process showed an average yield of approximately 29%. The product obtained was an aqueous solution of fibers, which may or may not be subjected to the drying process. Therefore, the methodology of fiber extraction proposed by this work is summarized in: removal of impurities with ethyl alcohol; extraction in aqueous solution with pure water; autoclaving with minimum temperature and time of 174 °C and 20 minutes, respectively; centrifugation, purification with ultrafiltration membrane or reverse osmosis; bleaching and drying.

Keywords: heat treatment, aqueous solution, ultrafiltration

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de definições sobre resíduos	16
Figura 2 – Fluxograma do balanço de massa de processos industriais.....	17
Figura 3 – Estrutura esquemática do grão de trigo	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química da matéria seca de alguns resíduos sólidos agroindustriais .	21
Tabela 2 – Concentração de fibras no grão e no farelo de trigo	25
Tabela 3 – Produção mundial de trigo.....	28
Tabela 4 – Dados do mercado de trigo no Brasil.....	29
Tabela 5 – Consumo mundial de trigo	29
Tabela 6 – Importação mundial de trigo.....	31
Tabela 7 – Exportação mundial de trigo.....	32
Tabela 8 – Tipos de fibras alimentares, grupos, componentes e principais fontes	34
Tabela 9 – Caracterização das amostras de farelo e grão de trigo	40
Tabela 10 – Tratamentos com diferentes soluções aquosas para extração de fibras.....	42
Tabela 11–Tratamentos com diferentes binômios tempo/temperatura para extração de fibras	42
Tabela 12 – Tratamentos com diferentes métodos de purificação para extração de fibras	43
Tabela 13 – Tratamentos com diferentes processos de extração de fibras	43
Tabela 14 – Patentes obtidas pela busca em base de dados.....	46
Tabela 15– Patentes diretas relacionadas com a extração de fibras de trigo ou farelo de trigo	47
Tabela 16 – Patentes indiretas relacionadas com a extração de outros componentes fibrosos	49
Tabela 17 – Composição centesimal das amostras de farelo e grão de trigo.....	50
Tabela 18 – Teores de fibras de diferentes tratamentos com soluções aquosas.....	52
Tabela 19 - Teores de fibras de diferentes tratamentos de binômios tempo/temperatura	53
Tabela 20 - Teores de fibras de diferentes tratamentos de purificação.....	54
Tabela 21 - Teores de fibras de diferentes processos de extração.....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	15
RESÍDUOS INDUSTRIAIS	15
Resíduos agroindustriais	18
TRIGO E FARELO DE TRIGO	22
Definições e características do trigo	22
Estrutura do trigo	23
Caracterização do farelo de trigo	25
Potencial de utilização do farelo de trigo	26
Produção de trigo mundial e no Brasil	28
2.2.5 Importação e exportação de trigo pelo Brasil	30
FIBRAS ALIMENTARES	33
Fibras solúveis	35
Fibras insolúveis	36
Benefícios para a saúde	36
3 METODOLOGIA	39
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	39
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA	40
PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE FIBRAS INSOLÚVEIS	41
Remoção das impurezas	44
Tratamento térmico	44
Hidrólise enzimática de amido	44
Centrifugação.....	45
Purificação e armazenamento	45
ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	46
Patentes diretas	46
Patentes indiretas	49
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA	50
PROCESSOS DE EXTRAÇÃO	52
Experimento preliminar I: solução aquosa.....	52

Experimento preliminar II: binômio tempo/temperatura.....	53
Experimento preliminar III: método de purificação	54
Experimento extrativo	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos e subprodutos é inerente a qualquer setor produtivo. O aumento da conscientização ecológica deixa claro que o grande desafio da humanidade para as próximas décadas é equilibrar a produção de bens e serviços, crescimento econômico, igualdade social e sustentabilidade ambiental (PINTO *et al.*, 2005).

A crescente preocupação com o meio ambiente vem mobilizando vários segmentos do mercado, inúmeros órgãos governamentais e indústrias estão se preparando para aplicar uma política ambiental que diminua os impactos negativos à natureza (PELIZER, PONTIERI & MORAES, 2007).

Os setores agroindustriais produzem grandes quantidades de resíduos, tanto líquidos como sólidos. Esses resíduos podem apresentar elevados problemas de disposição final e potencial poder poluente, além de representarem, muitas vezes, perdas de biomassa e de nutrientes de alto valor. Atualmente, conceitos de minimização, recuperação, aproveitamento de subprodutos e bioconversão de resíduos são cada vez mais difundidos e necessários para as cadeias agroindustriais (LAUFENBERG, 2003), colocando em evidência a necessidade da instalação de sistemas de produção sustentáveis.

Os resíduos gerados ao longo da cadeia produtiva, apesar de não possuírem valor econômico evidente, podem se tornar uma fonte importante para a produção de novos insumos. Neste sentido, o desenvolvimento e implementação de processos sustentáveis, capazes de converter biomassa em produtos com elevado valor agregado tornam-se imprescindíveis para aproveitar resíduos agroindustriais e mitigar os impactos ambientais (MENEZES & VIEIRA, 2011). Existe, portanto, a necessidade de se repensar a produção e a destinação de resíduos agroindustriais, pois estes podem ser novamente inseridos na cadeia produtiva, gerando grandes ganhos para a sociedade (SACHS, 2008).

Dentre as cadeias agroindustriais, existe a cadeia de processamento do trigo, cereal com o maior volume de produção mundial, gerando como principal produto a farinha de trigo que é amplamente utilizada na fabricação de pães, massas alimentícias, bolos e biscoitos. Do beneficiamento deste cereal, é obtido um resíduo denominado farelo de trigo, o qual representa um volume expressivo, de aproximadamente 23-25% da produção total de trigo, e um problema para as indústrias moageiras.

O farelo de trigo é o principal e mais abundante subproduto da moenda de grãos e consiste em um recurso alimentar renovável e pouco explorado (BEAUGRAND *et al.*, 2004).

É um resíduo produzido em todo o mundo, em grandes quantidades, e que se apresenta como uma das fontes mais ricas de fibras (MAES & DELCOUR, 2002). Sua utilização predominante é na alimentação animal, sendo comercializado com baixo valor agregado e com determinada restrição como componente para rações animais.

As fibras alimentares têm ocupado uma posição de destaque devido aos resultados divulgados em estudos científicos, antigos e recentes, que demonstram a ação benéfica desses nutrientes no organismo e a relação entre o seu consumo em quantidades adequadas e a prevenção de doenças.

A presença de fibras em quantidades insuficientes na alimentação, por um período longo de tempo, pode contribuir para o aparecimento de doenças crônicas. O aumento na ocorrência dessas doenças justifica a importância de se atingir a recomendação diária de fibras com o objetivo de reduzir os riscos de desenvolver tais patologias (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2008).

As indústrias alimentícias, atentas ao cenário, estão desenvolvendo diversos produtos enriquecidos com fibras, visando atender à demanda crescente de indivíduos interessados em uma alimentação mais saudável. No entanto, as fibras isoladas possuem um alto custo e seu fornecimento, atualmente, é restrito por empresas internacionais.

Diante deste contexto, o objetivo do trabalho é desenvolver ou aprimorar uma metodologia de extração de fibras insolúveis do farelo de trigo, sendo aplicáveis as indústrias moageiras de trigo; assim como obter um novo produto com maior valor agregado, as fibras insolúveis disponíveis para comercialização e utilização nas indústrias de alimentos.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

RESÍDUOS INDUSTRIAIS

As taxas de crescimento da economia brasileira subiram nos últimos anos, acompanhadas pela promoção de inclusão social e aumento do consumo. Este último, por sua vez, majora a demanda pela extração de matéria-prima, seu processamento, produção, distribuição, geração de resíduos, tratamento e disposição final. Entretanto, a elevação do consumo implica em aumento dos impactos ambientais em todas as fases supracitadas do sistema linear de produção, e tem também como consequências o acréscimo da geração de resíduos. Nesse contexto, os resíduos industriais historicamente vêm sendo depositados de maneira inadequada no Brasil, muitas vezes, sem segregação (PAIXÃO, ROMA & MOURA, 2011).

As atividades industriais geram diferentes tipos de resíduos, com características as mais diversas. São originados das atividades dos diferentes ramos industriais, tais como metalúrgico, químico, petroquímico, celulose e papel, alimentício, mineração etc. Assim, os resíduos industriais são bastante variados, podendo ser representados por resíduos de processo, resíduos de operações de controle de poluição ou descontaminação, materiais adulterados, materiais e substâncias de atividades de remediação de solo contaminado, resíduos da purificação de matérias-primas e produtos, cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros e cerâmica (PAIXÃO, ROMA & MOURA, 2011).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), em seu artigo 13, define “resíduos industriais” como aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais. Já de acordo com a Resolução CONAMA nº 313/2002 (BRASIL, 2002), “resíduo industrial” é todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso – quando contido, e líquido – cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviável em face da melhor tecnologia disponível.

Os resíduos industriais apresentam composição variada, dependendo do processo industrial. Os resíduos gerados no ambiente industrial são de responsabilidade do gerador, no entanto, caso a origem se assemelhe à dos resíduos urbanos, de acordo com a PNRS, podem ser coletados pelos serviços municipais de limpeza urbana e/ou coleta de resíduos sólidos e ter o mesmo destino final que os resíduos sólidos urbanos (ABRELPRE, 2005).

Todas as empresas, em diferentes graus de intensidade, geram aspectos que podem se converter em impactos ambientais. Mesmo pequenas indústrias que numa primeira análise parecem não provocar problemas ambientais podem causar sérios prejuízos caso não se tome o devido cuidado (SANTOS, YAMANAKA & PACHECO, 2005).

De acordo com Philippi Jr (2005), os resíduos constituem subprodutos da atividade humana com características específicas, definidas geralmente pelo processo que os gerou. Do ponto de vista da sociedade, materiais descartados que são aproveitados deixam de ser resíduos, constituindo-se nas matérias-primas secundárias. E, quando os resíduos não têm aproveitamento econômico por nenhum processo tecnológico disponível e acessível são denominados rejeitos (Figura 1)

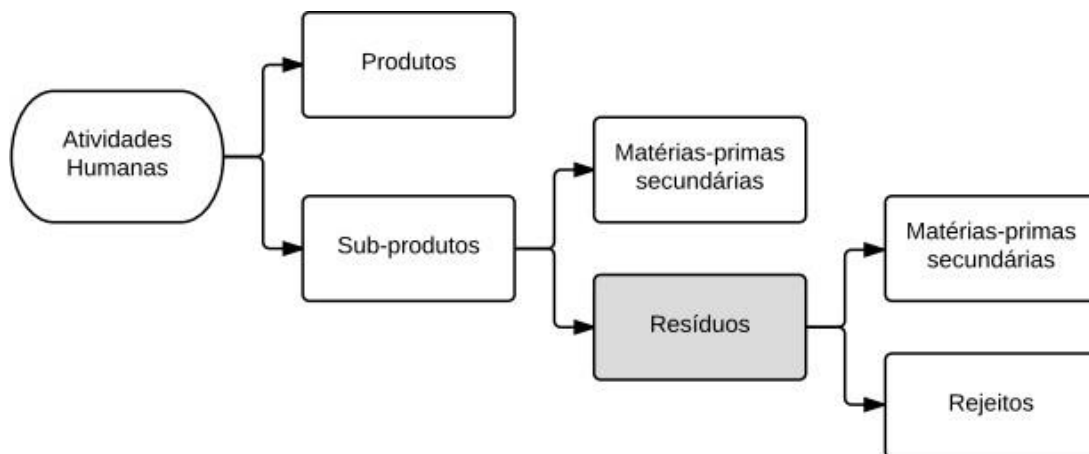


Figura 1 – Esquema de definições sobre resíduos

Fonte: Adaptado de Philippi, 2005

Nos processos industriais também são gerados subprodutos, resíduos e rejeitos. Os resíduos industriais são gerados tanto nos processos produtivos quanto nas atividades auxiliares, como manutenção, operação de área de utilidades, limpeza, obras e outros serviços (PHILIPPI JR, 2005). Um balanço de massa com as principais entradas e saídas de um processo industrial com destaque para os resíduos, que englobam as matérias-primas secundárias e rejeitos, é demonstrado na Figura 2.

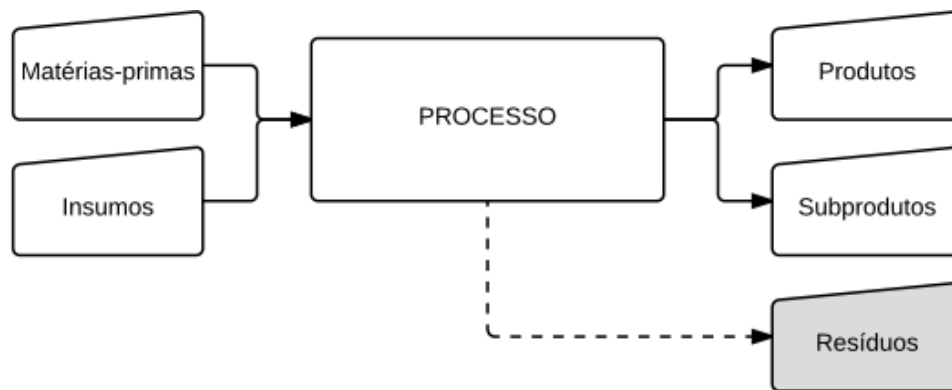


Figura 2 – Fluxograma do balanço de massa de processos industriais

Fonte: Adaptado de Lora, 2000

Entre as atividades industriais que influenciam a geração de resíduos, Philippi Jr (2005) descreve algumas, como: 1) Projeto do processo – os processos industriais podem ser projetados utilizando tecnologias alternativas. Algumas podem ser mais eficientes, outras menos, e algumas utilizam produtos mais perigosos que outros ou geram resíduos mais perigosos que outros; 2) Aquisição e armazenamento de matérias-primas – ao se adquirir matérias-primas de qualidade superior, há em geral uma contribuição para a melhoria da eficiência do processo. Além disso, utilizando-se matérias-primas mais puras, são geradas menores quantidades de resíduos e são rejeitados menos lotes com defeitos. A compra de excesso de matérias-primas pode gerar lotes rejeitados devido a sua data de validade, os quais não podem ser reaproveitados tornando-se resíduos; 3) Operações de produção – operações de produção e de controle de processo realizadas de maneira padronizada e com competência evitam acidentes e rejeição de lotes por defeitos, diminuindo a quantidade de resíduos; 4) Limpeza e manutenção de equipamentos – os equipamentos industriais devem ser periodicamente limpos, seja todos os dias, semanas, anos ou em intervalos mais longos. Na atividade de limpeza são extraídos lodos, lamas, escórias, poeiras, óleos e outros materiais que constituem resíduos; 5) Derramamentos e vazamentos – líquidos que vazaram ou derramaram de seus contêineres originais precisam ser recolhidos, e em muitos casos não são aceitos pelo controle de qualidade para uso na produção. Além disso, os panos, estopas, serragem e outros materiais absorventes utilizados na remediação passam a integrar o resíduo. Por isso e por outros motivos ambientais, os derramamentos e vazamentos devem ser evitados.

Santos, Yamanaka e Pacheco (2005) afirmam que os resíduos estão ligados a idéia de desperdício, e os descrevem de três maneiras: I) Uso ineficiente de equipamento, espaço,

trabalho, tempo ou energia; II) Materiais gerados no processo que não podem ser reaproveitados; III) Gerenciamento deficiente de recursos.

Além do aspecto do desperdício e em virtude do seu caráter poluidor os resíduos devem ser gerenciados de maneira adequada pelas indústrias de forma a proteger, conservar e melhorar a qualidade do meio ambiente, assim como contribuir para a saúde humana e assegurar uma utilização prudente e racional dos recursos naturais (SIMIÃO, 2011).

Os resíduos sólidos industriais apresentam características diversificadas, dependendo do processo de manufatura que os originou, tornando seu gerenciamento complexo.

Para que os resíduos sejam gerenciados adequadamente os mesmos são divididos em classes conforme seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004).

A NBR 10.004 classifica os resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, agrupando-os em três classes, tais quais: Resíduos Classe I (Perigosos), Resíduos Classe II A (Não-inertes) e Resíduos Classe II B (Inertes).

Resíduos agroindustriais

Os significativos avanços no desempenho do agronegócio implicaram no aumento do consumo de insumos e da geração de resíduos nas atividades agropecuária e agroindustrial. A pesquisa científica aponta a partir da década de 80, para o agravamento de problemas ambientais globais, como a destruição da camada de ozônio, o efeito estufa e o comprometimento da biodiversidade, além dos impactos locais provenientes da geração de resíduos líquidos e sólidos. Esses problemas demandaram a rediscussão do modelo de desenvolvimento que se mostrava limitado por seus efeitos sobre a sustentabilidade (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000).

A geração de resíduos está associada ao desperdício no uso de insumos, às perdas entre a produção e o consumo, e aos materiais que, gerados ao longo da cadeia agroindustrial, não possuem valor econômico evidente. Estima-se que, em média, de 20% a 30% da safra de grãos, de frutas e de hortaliças colhidas no Brasil sejam desperdiçados no caminho entre a lavoura e o consumidor. Os dados sobre o tipo e volume de resíduos gerados no agronegócio mundial sem valor agregado são muito escassos (ONG BANCO DEALIMENTOS, 2004).

Resíduos podem representar perda de biomassa e de nutrientes, além de aumentar o potencial poluidor associado à disposição inadequada que, além da poluição de solos e de corpos hídricos quando da lixiviação de compostos, acarreta problemas de saúde pública. Por outro lado, o elevado custo associado ao tratamento, ao transporte e à disposição final dos resíduos gerados tem efeito direto sobre o preço do produto final.

A agroindústria pode ser conceituada como o conjunto de atividades relacionadas à transformação de matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura em produtos. A agroindústria, ainda pode ser entendida como todo segmento industrial de produtos alimentícios, e as indústrias que transformam matéria-prima agropecuária em produtos intermediários para fins alimentares e não alimentares como as indústrias de óleos vegetais não comestíveis (ARAÚJO, 2005).

O segmento de agroindústrias pode ser dividido em duas macro categorias. Sendo a primeira àquela que inclui as atividades que requerem transformações iniciais dos produtos através do tratamento e manipulação de culturas/grãos (por exemplo, a transformação do trigo em farinha). E a segunda a que inclui as transformações industriais reais e a conversão de produtos e bens em produtos alimentares comestíveis (macarrão, conservas vegetais, dentre outros). Sendo que na indústria de processamento, os resíduos e as perdas são gerados principalmente durante as fases de processamento que separam as partes comestíveis de partes não comestíveis (FALASCONI, 2013).

Dentre os vários tipos de resíduos industriais, encontram-se os resíduos agroindustriais, classificados como resíduos classe II e enquadrados como resíduos orgânicos por serem de origem viva (vegetal ou animal). Esse tipo de resíduo é considerado poluente e, quando acumulado, pode gerar odores desagradáveis, normalmente devido à sua decomposição orgânica; além do que falhas em seu armazenamento podem originar um ambiente propício ao desenvolvimento de microrganismos causadores de doenças.

Os resíduos resultantes das atividades agroindustriais são gerados no processamento de couro, fibras, alimentos, madeira, produção de açúcar e álcool, grãos, dentre outros. Sua produção é geralmente, sazonal, condicionada pela maturidade da cultura ou oferta da matéria-prima. O tipo e quantidade de resíduos agroindustriais produzidos são variáveis com o tempo (MATOS, 2014).

Um dos principais entraves para a ascensão das atividades agroindustriais no Brasil, além da falta de incentivo aos pequenos produtores e a escassez de políticas públicas mais eficientes voltadas para o dinamismo das ações desse setor, é a falta de logística e

infraestrutura adequada para o escoamento dos produtos, que a cada dia ganha maior importância dentro das empresas. Concomitante a isso, outra problemática relacionada à agroindústria brasileira é a grande quantidade de resíduos gerados durante o processamento/beneficiamentos de suas matérias primas (MATOS, 2005).

Na maioria dos casos, os resíduos oriundos das agroindústrias, não são tratados e apresentam uma disposição ambientalmente inadequada, com potenciais riscos de contaminação dos solos e águas.

As atividades agropecuárias e de processamento e produtos agropecuários têm proporcionado sérios problemas de poluição no solo, em águas superficiais e em águas subterrâneas. Como os resíduos de atividades agroindustriais apresentam, em geral, grande concentração de material orgânico, o seu lançamento em corpos hídricos pode proporcionar grande decréscimo na concentração de oxigênio dissolvido nesse meio, cuja magnitude depende da concentração de carga orgânica e da quantidade lançada, além da vazão do curso d'água receptor (MATOS, 2005).

Quando há o lançamento de grande quantidade de material orgânico oxidável no corpo hídrico, as bactérias aeróbias, para estabilizarem o material orgânico presente, passam a utilizar o oxigênio disponível no meio aquático, baixando sua concentração na água e podendo, com isso, provocar a morte de peixes e outros animais aquáticos aeróbios, por asfixia. Em caso de lançamento de grandes cargas orgânicas, além de proporcionar a morte de animais, pode provocar a exalação de odores fétidos e de gases agressivos, causar eutrofização de rios e lagos e dificultar o tratamento da água para o abastecimento público.

Os resíduos sólidos de agroindústrias (bagaços, tortas, restos de frutas e hortaliças, dentre outros) são constituídos por aqueles provenientes de usinas sucroalcooleiras, matadouros e indústrias do processamento de carnes (vísceras e carcaça de animais), frutas e hortaliças (bagaço, tortas, refugo e restos), indústria da celulose e papel (resíduos da madeira, lodo do processo de produção e do tratamento de águas residuárias), curtumes (aparas de couro e lodo do processo e tratamento de águas residuárias), moageiras de trigo (farelo de trigo), dentre outros (MATOS, 2014).

Nas indústrias de processamento de carne gera-se sangue, banha, sólidos orgânicos ou inorgânicos, sais e químicos que são adicionados durante as operações de processamento. Na industrialização de peixe constituem os resíduos sólidos pequenos pedaços de peixes, escamas, peles e vísceras. Nos criatórios de animais em confinamento, tais como de suínos, aves, bovinos, equinos, ovinos, são produzidas grandes quantidades de dejetos que podem ser

manejados na forma sólida (estercos). Os resíduos do cultivo agrícola são constituídos pelos restos de plantas não aproveitados comercialmente, como cana de milho, palha de feijão e palha de soja.

Além de possível contaminação direta, os maiores impactos provocados por resíduos sólidos orgânicos são decorrentes da fermentação do material, quando pode ocorrer a formação de ácidos orgânicos (chorume – líquido de elevada DBO formado com a degradação do material orgânico e a lixiviação de substâncias tóxicas) com geração de maus odores e diminuição do oxigênio dissolvido em águas superficiais. A produção de gases fétidos provoca desconforto aos seres humanos e animais, além de poder atrair vetores de doenças. O material orgânico é, também, habitat para proliferação de micro (bactérias, fungos, vírus, protozoários, etc.) e macro vetores (moscas, mosquitos, baratas e ratos).

Segundo Matos (2005) a produção de resíduos agrícolas é extremamente variável, dependendo da espécie cultivada, do fim a que se destina, das condições de fertilidade do solo, condições climáticas, dentre outros. O conteúdo de nutrientes em resíduos de culturas é muito variável, dependendo do tipo de material e, dentre outras coisas, da fertilidade do solo. Uma característica muito importante para resíduos sólidos é a relação carbono/nitrogênio, pois é usada como referencial para preparo da mistura de resíduos a serem compostados e para monitorar o processo de degradação aeróbia dos resíduos. A relação C/N é, obviamente, maior em resíduos muito ricos em carbono e pobres em nitrogênio, como é o caso de serragem de madeira, por exemplo, que pode apresentar valores em torno de 800:1. No caso de resíduos de cultivos agrícolas, é mais comum encontrar-se valores entre 10 e 100, como é o caso da palha de trigo que apresenta relação C/N de 80:1 e resíduos culturais de plantas leguminosas, que apresentam valores de 20:1 ou menos.

Na Tabela 1 estão apresentados valores de concentração de macro nutrientes e relação C/N de alguns resíduos sólidos agroindustriais.

Tabela 1 – Composição química da matéria seca de alguns resíduos sólidos agroindustriais

RESÍDUO	<u>Ntotal</u>	<u>Ptotal</u> (dag kg⁻¹)	<u>Ktotal</u>	C/N
Torta de mamona	5,4 – 5,5	0,8 – 0,9	1,2 – 1,3	10/1
Bagaço de cana-de-açúcar	0,3 – 0,8	0,05 – 0,12	0,15 – 0,8	64 – 108/1
Torta de filtro	0,6 – 2,2	1,0	1,0	20 – 28/1
Serragem de madeira	0,06 – 0,18	< 0,04	0,1 – 0,15	865/1
Bagaço de laranja	0,71	0,08	0,34	18/1
Borra de café (solúvel)	1,91	0,07	0,02	25/1
Casca de semente de algodão	0,68	0,03	1,00	78/1
Casca de arroz	0,78	0,25	0,41	39/1

Polpa de sisal	1,38	0,21	0,73	27/1
Torta de babaçu	3,70	0,85	0,90	14/1
Torta de cacau	3,28	1,06	1,21	11/1
Torta de coco	4,37	0,82	3,14	12/1
Sangue seco	11,8	0,52	0,58	4/1
Torta de linhaça	5,66	0,75	2,61	9/1
Pó de couro	8,7	0,10	0,37	6/1

Fonte: Matos, 2004

A geração de resíduos na agroindústria é, marcadamente, sazonal, uma vez que a matéria-prima é de produção irregular no ano. Por essa razão, diz-se que existe alta instabilidade do volume produzido de resíduos agroindustriais.

A casca de arroz corresponde, em média, de 20 a 25% do peso do grão, enquanto que cerca de 39% do peso do fruto do cafeeiro é constituído pela casca. O último resíduo sólido pode ser separado em peneiras (quando do descascamento a seco do fruto) ou em grades (quando do descascamento a úmido do fruto) e deve receber destinação adequada, por ser altamente poluente para o meio ambiente. As usinas açucareiras e destilarias produzem, como resíduo sólido, o bagaço de cana (resíduo da moagem da cana-de-açúcar) e a torta de filtro (resíduo obtido após a filtração do caldo de cana). O processamento de 1000 toneladas de cana rende, nas usinas açucareiras, em média, 280 toneladas de bagaço e 35 toneladas de torta de filtro (MATOS, 2005).

Os resíduos de matadouros são constituídos por esterco dos currais, vômitos, conteúdo estomacal e conteúdo intestinal, além de ossos e pele. De acordo com Matos (2005) nos matadouros de bovinos são produzidos cerca de 23 kg de barrigada e 18 kg de dejetos, para cada animal abatido, enquanto nos abatedouros de frango o descarte de material (penas, intestinos, pé, cabeça e sangue) representa 30% da massa total do animal. Na indústria de beneficiamento de trigo, aproximadamente 25% do grão de trigo se torna farelo de trigo, resíduo este extremamente volumoso e objeto de estudo deste trabalho.

TRIGO E FARELO DE TRIGO

Definições e características do trigo

Os cereais possuem papel fundamental na alimentação humana, a âmbito de saúde, como fonte de nutrientes e fibras e, tecnologicamente, devido às variadas formas que podem ser utilizadas para o consumo humano.

O trigo ocupa o primeiro lugar em volume de produção mundial, sendo aplicado a uma enorme diversidade de produtos. Devido à importância mercadológica e à vasta aplicabilidade do trigo, pesquisas são cada vez mais incentivadas, com o propósito de implementar melhorias focadas em determinadas áreas de atuação, como nutrição e saúde, pesquisa e desenvolvimento de novos produtos e ciência e tecnologia (SCHEUER *et al.*, 2011).

O trigo é matéria-prima para a elaboração de alimentos consumidos diariamente, como hábito alimentar, na forma de pães, biscoitos, bolos e massas, alimentos que fazem parte da base da pirâmide alimentar.

A palavra “trigo” provém do vocábulo latino *triticum*, que significa quebrado, triturado, numa referência à atividade que se deve realizar para separar o grão de trigo da camada que o reveste. O termo “trigo” destina-se tanto à planta como às sementes comestíveis dela originadas (LEON, 2007).

O trigo, pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Pooideae* e ao gênero *Triticum*, é classificado em diferentes espécies, conforme o número de cromossomos: *Triticum monococcum* com 14 cromossomos, *Triticum durum* com 28 cromossomos e *Triticum aestivum* com 42 cromossomos (POPPER, SCHÄFER & FREUND 2006), este último, o trigo comum.

Atualmente, a classificação comercial de trigo brasileira é regulamentada pela IN Mapa nº 38/2010, estabelecida como uma tentativa de aproximar a qualidade tecnológica requerida para os principais usos da farinha de trigo: pães industriais, massas alimentícias secas e biscoitos tipo *cracker* (classes de trigo Melhorador e Pão); uso doméstico e pães caseiros (classes de trigo Doméstico e Pão); e biscoitos semidoces duros e bolos (classes de trigo Básico e Outros Usos). Na Classe de trigo “Outros Usos” também estão incluídos produtos que não se enquadram nos usos tradicionais, como produção de ração animal e utilização industrial (GUARIENTI *et al.*, 2016).

Estrutura do trigo

As diferentes variedades de trigo se distinguem pela altura das plantas, produtividade, conteúdo de endosperma, proporção de proteínas na farinha, qualidade da proteína, resistência a diversas doenças e adaptabilidade a solos ácidos, requerimentos climatológicos e pela aparência física (ABITRIGO, 2008). A relação entre esses diversos fatores ambientais e os diferentes genótipos, repercute nas propriedades funcionais (GEORGET *et al.*, 2005) e,

principalmente, na qualidade de processamento do trigo, como moagem e elaboração dos produtos (CARCEA *et al.*, 2006), mais especificamente com relação à variação do grau de elasticidade do glúten, o que afeta sobremaneira a fermentação dos pães (SHEWRY *et al.*, 1998).

O grão de trigo é uma cariopse de forma ovalada, arredondada nas extremidades, como pode ser visualizado na Figura 3. É composto por um determinado número de tecidos diferentes: o gérmen (ou embrião); o endosperma, que é envolto com grãos de amido para fornecer energia para a germinação; uma espessa camada de aleurona, encerrando o endosperma com paredes de célula; e o pericarpo. Por peso, o trigo é composto de pericarpo/casca (14-16% do grão), gérmen ou embrião (2-3%), e endosperma central (principalmente amido -81-84%) (POMERANZ, 1988).

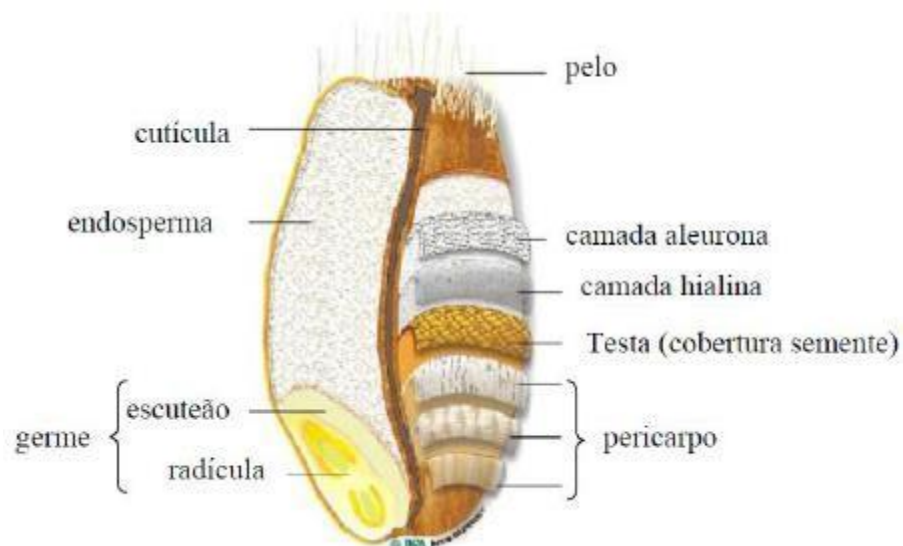


Figura 3 – Estrutura esquemática do grão de trigo

Fonte: Adaptado de Hemery *et al.*, 2007

Durante o processo de moagem o grão é fragmentado e são obtidos o farelo, o endosperma e o gérmen, considerados matérias-primas para a indústria.

O farelo de trigo é formado pelo pericarpo, que constitui a camada mais externa e protetora do grão, rica em fibras e minerais, e pela camada de aleurona (ATWELL, 2001). A camada de aleurona, apesar de ser botanicamente considerada parte externa do endosperma, para a maioria dos moinhos é um dos constituintes do farelo (GWIRTZ *et al.*, 2014). Esta camada contém vitaminas do complexo B e metade do conteúdo mineral presente no grão de trigo (JAEKEL, 2013).

O endosperma dá origem à farinha de trigo branca propriamente dita. Representa aproximadamente 75-80% do peso do grão e é constituído, em média, por 88% de carboidratos, formados basicamente pelo amido na forma de amilose e amilopectina (GWIRTZ *et al.*, 2014).

O gérmen é o embrião que dá origem a uma nova planta. Representa cerca de 3% do peso do grão e é uma das mais ricas fontes de vitaminas do complexo B e E, possuindo, também, teor considerável de proteínas, lipídios e minerais (LEON; ROSELL, 2007). O gérmen é usualmente removido durante o processo de extração por conter lipídios que limitam a manutenção da qualidade da farinha (GWIRTZ *et al.*, 2014).

A composição química do grão de trigo pode variar conforme a região, as condições de cultivo e o ano da colheita (LEON; ROSELL, 2007). O conteúdo de nutrientes do grão e de suas frações influencia as características funcionais e tecnológicas do produto e, em conjunto com as propriedades estruturais e a microbiota presente, define a qualidade da farinha de trigo (MOUSIA *et al.*, 2004).

Caracterização do farelo de trigo

O grão de trigo é extremamente rico em amido, porém a quantidade e qualidade da fibra chamam atenção na composição química deste produto. Sendo que a maior parte da fibra está nas camadas exteriores do grão (pericarpo e revestimento da semente), normalmente conhecido como farelo de trigo e que se apresenta como uma das fontes mais ricas em fibra, principalmente fibras insolúveis, sendo responsável por 35-48% do total de fibras (Tabela 2).

Tabela 2 – Concentração de fibras no grão e no farelo de trigo

	Fibras totais (g/100g)	Fibras insolúveis (g/100g)	Fibras solúveis (g/100g)
Grão de trigo	11,6 – 17,0	10,2 – 14,7	1,4 – 2,3
Farelo de trigo	36,5 – 52,4	35,0 – 48,4	1,5 – 4,0

Fonte: Vitaglione, Napolitano e Fogliano, 2008

O farelo de trigo é uma boa fonte de fibra alimentar e de metabólitos secundários como os ácidos fenólicos, flavonóides, lignanas, fitoesteróis, tocoferóis e tocotrienóis. O extrato de farelo de trigo, contendo alta concentração de ácidos fenólicos, apresentou atividade antioxidante mais forte do que outras frações do trigo como o endosperma, por exemplo (ONYENEHO e HETTIARACHCHY, 1992).

Atualmente, o farelo de trigo, obtido do beneficiamento do grão para alimentação humana, na proporção de 23%, onde uma tonelada de trigo processado gera, aproximadamente, 770 kg de farinha e 230kg de farelo, apresenta-se como um subproduto com baixos valores energéticos e que pode ser utilizado na matriz nutricional animal (bovinos, suínos, aves) (ROSTAGNO *et al.*, 2011).

As moageiras de trigo comercializam parte (70%) deste resíduo para as indústrias de rações animais, com baixo valor agregado (média de R\$0,57/kg em 2016), uma vez que seu uso é limitado nas rações por apresentar elevado teor de fibra, possuir polissacarídeos não amiláceos (PNA) e ácido fítico (LE GOFF, VAN MILGEN e NOBLET, 2002). Não conseguindo de fato absorver toda a produção do resíduo, gera-se um excedente (30%) de farelo, o qual geralmente é retornado ao meio ambiente, se tornando um grande problema ambiental.

Para animais monogástricos, por exemplo, rações com maior teor de amido e teor reduzido de fibras seriam o cenário ideal. Já os ruminantes incluem-se em dietas com maior teor de fibras.

De acordo com Rostagno *et al.* (2011) a proteína do farelo de trigo é de boa qualidade, apresentando valores médios de digestibilidade dos aminoácidos de 80% para suínos. Ainda, segundo Blas, Mateos e Rebollar (2003) o farelo apresenta boa concentração de proteína bruta (15,62%), entretanto, seu principal componente é a fibra (37-40% de FDN) o que é também o principal fator limitante para sua inclusão nas dietas.

Potencial de utilização do farelo de trigo

Dentre as utilizações mais comuns do farelo de trigo destacam-se a utilização em silagens para alimentação animal e compostagens. Entretanto, devido à sua rica composição, vários estudos tem sido desenvolvidos com o objetivo de utilizar este resíduo para o desenvolvimento de produtos com alto valor agregado.

Swennen *et al.* (2006), produziram, em larga escala, arabinoxilooligosacarídeos (AXOS) a partir de farelo de trigo comercial, por métodos enzimáticos, dispensando o uso de agentes químicos. Vários estudos em animais e humanos têm mostrado que a ingestão de fibras alimentares reduz o risco de doenças crônicas e auxiliam na manutenção da saúde. A maioria desses efeitos benéficos tem sido atribuída aos polissacarídeos da parede celular como arabinoxilanos (AX) e β -glucanas. No entanto, estudos recentes têm mostrado que os

AXOS (derivados do AX) também exercem efeitos benéficos no organismo. O AXO produzido apresentou 72% de pureza, com um rendimento de 6%. O produto formado serve como uma valiosa ferramenta para a investigação da relação entre estrutura dos AXOS e propriedades físico-químicas e funcionais.

Liu *et al.* (2011) avaliaram a atuação do farelo de trigo como agente preventivo de alguns tipos de câncer. Embora o mecanismo de proteção ainda não esteja bem delineado, há indícios que fitoquímicos lipofílicos presentes no farelo são mais importantes neste mecanismo. Extratos lipofílicos foram examinados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência-CLAE, contra o crescimento de células de adenocarcinoma de próstata humanas. Os resultados sugeriram que o alquilresorcinol presente no farelo apresentou elevada atividade citotóxica em células cancerígenas. Outros componentes bioativos presentes no extrato, como alguns ácidos graxos livres e fitoesteróis também podem contribuir para a atividade anti câncer.

Oligossacarídeos funcionais têm sido amplamente utilizados tanto como ingredientes alimentares como suplementos farmacológicos. Yuan, Wang e Yao (2005) avaliaram os efeitos dos xilooligossacarídeos do farelo de trigo substituídos com arabinose como uma nova classe de oligossacarídeos funcionais com ação no metabolismo de lipídeos no sangue e capacidade antioxidante em ratos alimentados com uma dieta rica em gordura durante 6 semanas. A suplementação alimentar com 5% de xilooligossacarídeos de farelo de trigo exerceu efeito benéfico no controle de peso corporal, melhorando os níveis de glicose e lipídeos no sangue e aumentando a capacidade antioxidante. Estes resultados mostraram que os xilooligossacarídeos do farelo de trigo podem ser eficazes no controle de gordura corporal, bem como para o aumento da capacidade antioxidante e conseqüente redução de risco de câncer.

Uma aplicação direta do farelo de trigo se dá em produtos integrais como pães, massas e biscoitos, os quais são desenvolvidos com farinha de trigo integral, ou seja, sem a retirada das camadas mais externas do grão (que contém o farelo). Estes produtos são diferenciados e apresentam valor de mercado maior que os produtos convencionais, devido ao seu apelo à saúde.

Produção de trigo mundial e no Brasil

De acordo com o relatório do United States Department of Agriculture (USDA) publicado em junho de 2017 a produção mundial de trigo, na safra 2016/17, alcançou 754,1 milhões de toneladas. Já a safra de 2017/2018, até o mês de junho, computa uma produção de 739, 5 milhões de toneladas.

Somando-se o estoque inicial, resultante do ano anterior, a oferta total do produto no ano 2016/17 foi de 996,7 milhões de toneladas. Deste total, aproximadamente 179, 5 milhões de toneladas de trigo foram comercializadas no mercado externo, o que significa dizer que o comércio internacional de trigo representou 23,8% da produção mundial desta commodity. Em outras palavras, estamos diante de um produto que tem uma forte característica de consumo interno junto aos principais países produtores, uma vez que 76,2% da produção são consumidas nestes países.

Entre os principais países produtores (safra 2016/17) encontram-se a União Européia (compreendida por 12 países) que ocupa o topo do ranking com 145,5 milhões de toneladas, em segundo lugar a China com 128,9 milhões de toneladas, seguida da Índia e Rússia, com 87 e 72,5 milhões de toneladas, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Produção mundial de trigo

Production (mmt)	2015/16	2016/17	2017/18 (Jun)
Argentina	11,300	17,000	17,500
Austrália	24,168	35,000	25,000
Canada	27,594	31,700	28,350
China	130,190	128,850	131,000
Egypt	8,100	8,100	8,100
European Union	160,480	145,471	150,754
Índia	86,530	87,000	96,000
Iran	15,000	15,500	15,000
Kazakhstan	13,748	14,985	13,000
Morocco	8,064	2,731	5,800
Pakistan	25,100	25,600	26,200
Rússia	61,044	72,529	69,000
Turkey	19,500	17,250	18,000
Ukraine	27,274	26,800	25,000
Uzbekistan	7,200	7,200	7,200
Others	55,574	55,526	53,987
United States	56,117	62,859	49,642
World TOTAL	736,983	754,101	739,533

Fonte: USDA, 2017

Apesar de não estar descrito na tabela acima, o Brasil produziu 6,7 milhões de toneladas de trigo na safra 2016/17, atingiu seu recorde de produção e aproximou da produtividade do Uzbequistão. Com 2,12 milhões de hectares plantados na safra 2016/17 contra 2,45 na safra 2015/16, a qual produziu 5,5 milhões de toneladas de trigo, o Brasil apresentou aproximadamente 40% de ganho em produtividade (Tabela 4).

No entanto, segundo a USDA, a produção de trigo no Brasil em 2017/2018 é estimada em 5,6 milhões de toneladas, 17% inferior em relação ao ano anterior. A plantação no sul do Brasil começou em maio e o trigo será colhido até o final de 2017.

Tabela 4 – Dados do mercado de trigo no Brasil

WHEAT	2015/16	2016/17	2017/2018
Market Begin Year	Oct 2015	Oct 2016	*Oct 2017
Beginning Stocks (1000 mt)	870	996	2026
Production	5540	6730	5600
MY Imports	6745	6800	6900
TY Imports	5922	7500	6900
TY Imp. From U.S.	422	0	0
Total Supply	13155	14526	14526
MY Exports	1059	800	1000
TY Exports	1063	800	1000
Feed and Residual	500	800	500
FSI Consumption	10600	10900	11100
Total Consumption	11100	11700	11600
Ending Stocks	996	2026	1926
Total Distribution	13155	14526	14526
Area Harvested (1000 ha)	2.2612	3.1745	2.6667
Yield (mt/ha)	2450	2120	2100

Fonte: USDA, 2017

Em relação ao consumo, nota-se que a Índia apesar de ser um dos principais países produtores de trigo, consome mais do que produz, assim como o Brasil, que consome aproximadamente o dobro da sua produção, sendo necessário, portanto a importação de trigo de outros países. Já o Canadá apresenta cenário inverso, produz cerca de três vezes o seu consumo, tornando-se possível e viável a exportação do seu excedente. A Tabela 5 demonstra o consumo mundial de trigo.

Tabela 5 – Consumo mundial de trigo

Consumption (mmt)	2015/16	2016/17	2017/18 (Jun)
Algeria	10,250	10,250	10,350
Brazil	11,100	11,900	11,700
Canadá	7,863	10,200	8,800
China	112,000	118,500	116,000

Egypt	19,200	19,700	20,000
European Union	129,850	128,500	127,250
Índia	88,551	97,500	99,000
Indonesia	9,100	9,300	9,100
Iran	18,000	18,250	18,500
Morocco	9,800	10,200	10,300
Pakistan	24,400	24,500	25,400
Rússia	37,000	40,000	40,000
Turkey	18,000	17,400	17,400
Ukraine	12,200	10,300	10,600
Uzbekistan	9,350	9,700	9,900
Others	160,517	166,746	168,238
United States	32,021	32,822	32,413
World TOTAL	712,022	740,246	734,767

Fonte: USDA, 2017

2.2.5 Importação e exportação de trigo pelo Brasil

O setor do agronegócio tem sido o maior responsável pelos seguidos superávits da balança comercial brasileira. O Brasil é competitivo em diversas cadeias agroindustriais, como a da soja, da carnes, do café e do suco de laranja. No entanto, com relação ao trigo, não se verifica o mesmo desempenho. Grande parte do trigo utilizado na produção de farinhas, massas, pães, bolos e biscoitos são provenientes de outros países (BNDES, 2011).

Uma das principais matérias-primas da indústria alimentícia brasileira, o trigo é o segundo item de maior participação na pauta de importações, atrás apenas da cadeia de petróleo, colocando o país no topo da escala dos maiores importadores mundiais.

Apesar de o Brasil ser reconhecido mundialmente como uma potência do agronegócio, sua produção de trigo não é suficiente para atender ao mercado interno, e o país é um grande importador do produto. Em sua história, o setor sofreu intervenção do Estado, que, mesmo após a liberalização, na década de 1990, deixou marcas profundas. Uma nova lei extinguiu as permissões do governo para o funcionamento de novos moinhos e a expansão dos existentes acabando com o monopólio estatal sobre a compra e a venda do trigo no país. O setor foi repentinamente desregulamentado sem um período de transição de políticas, o que representou o desmanche do antigo modelo, o fim da estabilidade e o início da concorrência estrangeira, com a conseqüente quebra de muitos produtores, moinhos e empresas (BNDES, 2011).

Segundo o United States Department of Agriculture (USDA) o comércio internacional movimentou 179,5 milhões de toneladas de trigo em 2016/17. Sendo o Egito o maior

importador de trigo (11,5 milhões de toneladas), seguido da Indonésia (9,0), Algeria (8,0) e Brasil (7,7), conforme demonstra a Tabela 6.

O Brasil, como forte país importador de trigo, vem dando preferência ao produto argentino. Isto se acentuou a partir do lançamento do Mercosul (1991) e particularmente a partir da consolidação do Mercosul, como zona de livre-comércio (1995). Em 2017, até junho, o Brasil importou 7 milhões de toneladas de trigo, sendo seus principais fornecedores a Argentina, EUA e Paraguai, respectivamente.

Tabela 6 – Importação mundial de trigo

Imports TY (mmt)	2015/16	2016/17	2017/18 (Jun)
Afghanistan	2,700	2,700	2,600
Algeria	8,153	8,000	8,000
Bangladesh	4,693	6,000	6,800
Brazil	5,922	7,700	7,000
China	3,476	4,200	3,000
Colombia	2,032	2,000	2,100
Egypt	11,925	11,500	12,000
European Union	6,917	5,500	6,500
Índia	300	6,000	4,000
Indonésia	10,116	9,000	9,500
Iraq	2,218	2,300	2,500
Japan	5,715	5,900	5,800
Korea, South	4,420	4,650	4,500
México	4,805	5,200	5,200
Morocco	4,503	5,500	4,900
Nigéria	4,410	4,500	4,500
Peru	1,799	1,900	2,150
Philippines	4,850	5,500	5,650
Saudi Arabia	2,931	3,700	3,800
Sudan	2,021	2,400	2,500
Thailand	4,872	3,600	3,000
Turkey	4,396	4,500	5,800
Uzbekistan	2,654	2,700	2,800
Vietnam	3,069	5,000	4,800
Yemen	3,332	3,200	3,400
Others	53,204	49,981	52,396
United States	3,056	3,200	3,300
Unaccounted	3,555	3,148	2,788
World TOTAL	172,044	179,479	181,284

Fonte: USDA, 2017

Prevê-se que as importações de 2017/2018 aumentem para 8 milhões de toneladas devido ao aumento da demanda por trigo de alta qualidade. Recentemente, o presidente da Associação Brasileira do Trigo (ABITRIGO) disse a jornalistas que está preocupado com o

fato de a qualidade do trigo argentino ter caído e que os moinhos brasileiros estão buscando obter trigo de maior qualidade da Argentina este ano.

Já, em se tratando de exportação, tem-se a Rússia liderando o ranking de 2016/17 com 27,5 milhões de toneladas, seguido da União Européia, Austrália, Canadá e Ucrânia (Tabela 7). No entanto, na safra 2017/2018, até junho, a União Européia já superou a Rússia em 1,5 milhões de toneladas. É interessante ressaltar que a China apesar de ser o segundo maior produtor, não se encontra na lista dos países exportadores, justificando-se pelo fato de seu consumo ser muito alto e de até ser necessário importar trigo para atender sua demanda.

Tabela 7 – Exportação mundial de trigo

Consumption (mmt)	2015/16	2016/17	2017/18 (Jun)
Argentina	8,750	12,000	11,500
Australia	15,782	22,000	22,000
Canada	22,136	20,000	22,000
European Union	34,686	27,000	30,500
Kazakhstan	7,600	6,800	7,000
Mexico	1,568	1,500	1,400
Russia	25,543	27,500	29,000
Serbia	0,880	1,100	1,100
Turkey	5,605	6,000	6,000
Ukraine	17,431	17,800	14,500
Others	10,207	9,611	9,284
United States	21,856	28,168	27,000
World TOTAL	172,044	179,479	181,284

Fonte: USDA, 2017

Outro dado importante é a crescente representação do trigo argentino no mercado externo, onde em três safras (de 2013/14 para 2016/17) sua exportação cresceu mais de 700%. A presença cada vez mais marcante da Argentina tem relação com o aumento da importação do trigo argentino pelo Brasil, que nas últimas safras tem comprado uma proporção muito superior de trigo da Argentina se comparado com outros fornecedores como os EUA e Canadá.

Em se tratando do Brasil, apesar do mesmo importar metade do seu trigo consumido, ele também exporta trigo, sendo seus principais clientes a Coreia do Sul e o Vietnã. Segundo a USDA, em 2016/17 o Brasil exportou 0,8 milhões de toneladas e a perspectiva para 2017/18 é que aumente para 1 milhão de toneladas, devido ao aumento da produção e menor quantidade de trigo utilizado na alimentação animal pelo fato da safra de milho ser provavelmente recorde neste ano.

FIBRAS ALIMENTARES

As fibras alimentares (FA) vêm despertando renovado interesse de especialistas das áreas de nutrição, alimentos e saúde. Formam um conjunto de substâncias derivadas de vegetais resistentes à ação das enzimas digestivas humanas. Podem ser classificadas em fibras solúveis (FS) e fibras insolúveis (FI), de acordo com a solubilidade de seus componentes em água. A maior parte das pectinas, gomas e certas hemiceluloses são FS, enquanto celulose, algumas pectinas, grande parte das hemiceluloses e lignina são FI (ASP *et al.*, 1992).

Entretanto, são escassas as publicações científicas que informam a quantidade de FA consumida por populações. Estudos relacionados à questão, em diversos países como África, Índia, Austrália, América do Norte e Japão, apontam que as quantidades ingeridas são divergentes nos níveis nacionais e internacionais (ACEVEDO e BRESSANI, 1989). No Brasil quase não há estudos que quantifiquem o consumo de fibras alimentares (FILISSETTI-COZZI e LAJOLO, 1991).

O papel da ingestão das fibras tornou-se mais estudado nos últimos anos. O consumo adequado de fibras na dieta usual parece reduzir o risco de desenvolvimento de algumas doenças crônicas como: doença arterial coronariana (DAC), acidente vascular cerebral (AVC), hipertensão arterial, diabetes melito (DM) e algumas desordens gastrointestinais. Além disso, o aumento na ingestão de fibras melhora os níveis dos lipídeos séricos, reduz os níveis de pressão arterial, melhora o controle da glicemia em pacientes com diabetes melito (DM), auxilia na redução do peso corporal e ainda atua na melhora do sistema imunológico (BERNAUD e RODRIGUES, 2013).

A fibra alimentar, também denominada fibra dietética, é resistente à ação das enzimas digestivas humanas e é constituída de polímeros de carboidratos, com três ou mais unidades monoméricas, e mais a lignina – um polímero de fenilpropano. Os componentes da fibra alimentar dividem-se nos grupos: polissacarídeos não amido, oligossacarídeos, carboidratos análogos (amido resistente e maltodextrinas resistentes), lignina, compostos associados à fibra alimentar (compostos fenólicos, proteína de parede celular, oxalatos, fitatos, ceras, cutina e suberina) e fibras de origem animal (quitina, quitosana, colágeno e condroitina) (TUNGLAND e MAYER, 2002).

De forma simplificada, as fibras são classificadas como fibras solúveis, viscosas ou facilmente fermentáveis no cólon, como a pectina, ou fibras insolúveis como o farelo de trigo que tem ação no aumento de volume do bolo fecal, mas com limitada fermentação no cólon (ANDERSON *et al.*, 2009). Os efeitos positivos da fibra alimentar estão relacionados, em

parte, ao fato de que uma parcela da fermentação de seus componentes ocorre no intestino grosso, o que produz impacto sobre a velocidade do trânsito intestinal, sobre o pH do cólon e sobre a produção de subprodutos com importante função fisiológica (DEVRIES, 2003).

As recomendações atuais de ingestão de fibra alimentar na dieta variam de acordo com a idade, o sexo e o consumo energético, sendo a recomendação adequada em torno de 14 g de fibra para cada 1.000 kcal ingeridas (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005). Sendo a recomendação diária de fibra no Brasil de 25 g.

As diversas frações da fibra alimentar agrupam-se de acordo com seus componentes e características determinando o tipo de fibra. Esses componentes são encontrados principalmente em alimentos de origem vegetal, como cereais, leguminosas, hortaliças e tubérculos, conforme apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Tipos de fibras alimentares, grupos, componentes e principais fontes

Tipo	Grupos	Componentes	Fontes
Polissacarídeos não amido	Celulose	Celulose (25% da fibra de grãos e frutas e 30% em vegetais e oleaginosas)	Vegetais (parede celular das plantas), farelos
	Hemicelulose	Arabinogalactanos, beta-glicanos, arabinosilanos, glicuronosilanos, xiloglicanos, galactomananos	Aveia, cevada, vagem, abobrinha, maçã com casca, abacaxi, grãos integrais e oleaginosas
	Gomas e mucilagens	Galactomananos, goma guar, goma locusta, goma karaya, goma tragacanto, alginatos, Agar, carragenas e <i>psyllium</i>	Extratos de sementes: alfarroba, semente de locusta; exsudatos de plantas, algas, <i>psyllium</i>
	Pectinas	Pectina	Frutas, hortaliças, batatas, açúcar de beterraba
Oligossacarídeos	Frutanos	Inulina e frutoligosacarídeos (FOS)	Chicória, cebola, yacón, alho, banana, tупinambo
Carboidratos análogos	Amido resistente e maltodextrinas resistentes	Amido + produtos da degradação de amido não absorvidos no intestino humano saudável	Leguminosas, sementes, batata crua e cozida, banana verde, grãos integrais, polidextrose
Lignina	Lignina	Ligada à hemicelulose na parede celular. Única fibra estrutural não polissacarídeo – polímero de fenilpropano	Camada externa de grãos de cereais e aipo
Substâncias associadas aos polissacarídeos não amido	Compostos fenólicos, proteína de parede celular, oxalatos, fitatos, ceras, cutina, suberina	Componentes associados à fibra alimentar que confere ação antioxidante a esta fração	Cereais integrais, frutas, hortaliças
Fibras de origem não vegetal	Quitina, quitosana, colágeno e condroitina	Fungos, leveduras e invertebrados	Cogumelos, leveduras, casca de camarão, frutos do mar, invertebrados

Fonte: Adaptado de Tunland e Mayer, 2002

As fibras solúveis dissolvem-se em água, formando géis viscosos. Não são digeridas no intestino delgado e são facilmente fermentadas pela microflora do intestino grosso. São solúveis as pectinas, as gomas, a inulina e algumas hemiceluloses. Entretanto, as fibras insolúveis não são solúveis em água, portanto não formam géis, e sua fermentação é limitada. São insolúveis a lignina, celulose e algumas hemiceluloses. A maioria dos alimentos que contêm fibras é constituída de um terço de fibras solúveis e dois terços de insolúveis (WONG e JENKINS 2007).

Fibras solúveis

A fração solúvel de FA é composta por glucanos, gomas e mucilagens, pectinas e alguns tipos de hemiceluloses como arabinóxilano, polissacarídeos sintéticos e polissacarídeos de origem animal. Quando em meio aquoso estes compostos apresentam um elevado grau de hidratação, com capacidade de formar géis e soluções viscosas. Esta capacidade está intimamente dependente da forma como os monômeros estão ligados entre si, da presença de determinados grupos funcionais e do peso molecular do polímero. Quanto mais ramificada for a molécula, menor será a ocorrência de formações cristalinas, a irregularidade estrutural impede a agregação entre os polímeros favorecendo a sua dispersão e solubilidade. Polissacarídeos de menor peso molecular também são mais solúveis em meio aquoso, a presença de grupos funcionais polares (ex. COO⁻ e SO₃⁻) também favorece fortemente a sua solubilidade (SPILLER, 2001).

A viscosidade resulta da interação molecular em solução e consiste na resistência à agitação mecânica da solução. Quando o número de moléculas é baixo, estas encontram-se mais dispersas e isoladas, com o aumento da sua concentração aumenta também o contacto físico entre as moléculas, sobreposição e formação de ligações. A viscosidade traduz-se num espessamento da solução e pode ser reduzida com agitação por promover a separação das moléculas e reduzir as interações moleculares (McCLEARY *et al.*, 2011). Os géis resultam principalmente de uma reordenação estrutural molecular dos polissacarídeos, formando-se uma matriz tridimensional, devido ao estabelecimento de ligações entre as moléculas e pontes de hidrogênio com moléculas de água. A formação de géis e soluções viscosas é responsável por muitos dos benefícios fisiológicos reconhecidos à FA. A FS é mais abundante em leguminosas, vegetais, frutas e cereais (LUNN e BUTTRISS, 2007).

Fibras insolúveis

As fibras insolúveis são pouco fermentáveis, captam pouca água, formando misturas de baixa viscosidade (ABREU *et al.*, 2008). Possuem como principais efeitos a redução da constipação, aumento da massa e maciez fecal e a frequência de evacuação, uma vez que a maior parte das fibras insolúveis não se degrada no cólon e podem reter água dentro de uma matriz, proporcionando um efeito mecânico no trato gastrointestinal (HARBER, 1997).

As FI são estruturalmente lineares, ao contrário dos constituintes da FS, o que lhes permite uma maior adesão intramolecular. Apesar da sua insolubilidade, graças à exposição de grupos hidroxilos ao longo das cadeias principais, estes polissacarídeos têm a capacidade de adsorver moléculas de água que ficam retidas nos espaços vazios disponíveis entre os polímeros, levando a um aumento de volume das fibras que compõem. Esta capacidade de retenção de moléculas de água permite um amaciamento do bolo fecal e um aumento de volume, facilitando e reduzindo o tempo de trânsito intestinal (SPILLER, 2001).

A celulose, hemicelulose e lignina, correspondem à fração insolúvel das fibras. A baixa solubilidade da celulose em água se deve à sua cadeia não ramificada, com pontes de hidrogênio e conformação molecular cristalina envolvida pela matriz da parede celular. As hemiceluloses se encontram junto à celulose, à lignina e à pectina na parede celular dos vegetais e o grau de solubilidade é dado pela presença de moléculas de xilose. A lignina tem característica hidrofóbica e possui estrutura tridimensional complexa (FOOD AND NUTRITION BOARD, 2001).

Exemplos de fibras insolúveis englobam o farelo de trigo e a celulose presente nos vegetais. Eles aumentam o peso fecal úmido sendo particularmente indicados para promover melhora da função intestinal, o que pode explicar seu efeito na absorção diminuída de triacilgliceróis e colesterol (MIRA, GRAF e CANDIDO, 2009).

Benefícios para a saúde

As características físico-químicas das fibras promovem efeitos locais e sistêmicos no organismo humano. As diferenças quanto à capacidade de retenção de água, viscosidade, fermentação, adsorção, entre outras, são responsáveis por implicações metabólicas (efeitos sistêmicos), bem como no trato gastrointestinal (efeitos locais). Os principais grupos de fibras que chegam ao intestino grosso são os polissacarídeos não amido, substâncias associadas a

esses polissacarídeos, os amidos resistentes e oligossacarídeos. Esses componentes são parcial ou totalmente fermentados e utilizados como fonte energética pela microflora no cólon, convertidos em gases (hidrogênio, metano e dióxido de carbono) e ácidos graxos de cadeia curta (AGCCs), principalmente acetato, propionato e butirato. A disponibilidade de substrato no cólon resulta no aumento do número de bactérias e conseqüentemente no aumento do bolo fecal (CUMMINGS, 2001).

O incremento na produção de AGCCs, como resultado da fermentação, resulta na diminuição do pH intracelular e colônico. O meio mais ácido inibe a proliferação de organismos patogênicos bem como a formação de produtos de degradação tóxicos, além de reduzir a solubilidade dos ácidos biliares e facilitar a absorção de cálcio, interferindo no metabolismo ósseo (SOUZA e SILVA, 2010).

O maior consumo de fibras na dieta foi associado com menores prevalências de DAC, AVC e doença vascular periférica. Os fatores de risco ligados a DCV, como hipertensão, diabetes, obesidade e dislipidemia, são também menos frequentes em indivíduos com maior consumo de fibras (LAIRON *et al.*, 2005).

Estudos observacionais sugerem uma relação inversa entre a ingestão de fibras e níveis de pressão arterial. Alguns ensaios clínicos randomizados identificaram uma redução nos níveis de pressão arterial decorrente da ingestão de fibras na dieta (SALTZMAN *et al.*, 2001).

A relação entre o tipo de fibra ingerida e apetite subjetivo, a ingestão energética aguda e em longo prazo com o peso corporal foi recentemente avaliada. As fibras caracterizadas como mais viscosas (pectinas, β -glucanas e goma-guar) reduziram mais o apetite e a ingestão energética quando comparadas às fibras com menor viscosidade (WANDERS *et al.*, 2011).

De forma geral, os estudos relacionados às fibras abordam a utilização de fibras solúveis como aveia, *psyllium*, pectina, goma-guar, sugerindo que esse tipo de fibra reduz os níveis séricos de colesterol total e LDL colesterol (TRUSWELL, 1995).

A redução de risco de câncer provavelmente está envolvida com o consumo de frutas e hortaliças, ricos em fibra alimentar. Resultados do estudo European Prospective Investigation on Cancer que envolveu indivíduos, com idade entre 25-70 anos, reportaram uma redução do risco de neoplasia colorretal ao redor de 40% quando sujeitos com uma ingestão elevada de fibra alimentar [maior quintil de ingestão de fibras (35 g/dia)] foram comparados àqueles com menor ingestão (15 g/dia). Nesse estudo, o efeito protetor foi referido para todo tipo de fibra ingerida, sugerindo que o tipo e a escolha da fibra talvez sejam irrelevantes em relação aos benefícios observados (BINGHAM *et al.*, 2003).

O aumento no consumo de fibra alimentar é comumente utilizado na prevenção e no tratamento da constipação. O farelo de trigo, os cereais integrais e suplementos de fibras são amplamente utilizados pelos consumidores, o que sinaliza um conhecimento comum dos efeitos benéficos das fibras (ANDERSON, 2009).

Estudos prospectivos revelaram não ser a fibra solúvel a responsável, mas principalmente o consumo de fibra insolúvel de cereais e grãos integrais que está consistentemente associado ao risco reduzido de Diabetes M tipo 2 (SHULZE *et al.*, 2007).

Portanto a ingestão de fibras da dieta parece estar associada a uma redução significativa dos níveis de glicose, pressão arterial e de lipídeos séricos. Adicionalmente, há dados sobre redução de doenças crônicas, incluindo DCV, DM e neoplasia de cólon em indivíduos com maior ingestão de fibras. Em pacientes com DM, a ingestão de fibras está associada à redução dos níveis de pressão arterial, glicose e presença de SM e/ou seus componentes. Em relação à inflamação de baixo grau, a ingestão parece estar associada a menores valores dos marcadores inflamatórios e poderia ser uma ferramenta no seu tratamento (BERNAUD e RODRIGUES, 2013).

Uma ingestão de fibras de pelo menos 30 g/dia, bem como a variedade de alimentos fonte de fibras (frutas, verduras, grãos integrais e farelos), são fatores relevantes para que os benefícios descritos sejam alcançados (BERNAUD e RODRIGUES, 2013).

Apesar de notáveis evidências de estudos epidemiológicos e experimentais sobre os benefícios da fibra alimentar, ainda é limitada a indicação mais precisa da quantidade e o tipo de fibra a ser ingerido.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi subdividido em três etapas, primeiramente realizou-se uma revisão bibliográfica sistemática, a qual é uma metodologia que tem o objetivo de fornecer um resumo equilibrado do que é relevante para atender uma necessidade específica de informação, no caso, entender quais trabalhos relacionados direta e indiretamente com extração de fibras de farelo de trigo existem atualmente publicados.

Em um segundo momento, realizou-se a caracterização físico-química de diferentes farelos obtidos no beneficiamento de trigo, uma vez que as moageiras conseguem obter farelos com granulometrias distintas e conseqüentemente com características e aplicações também distintas, a fim de conhecer as diferenças entre eles e definir aquele perfil centesimal que melhor se enquadre ao processo de extração de fibras insolúveis.

Já em terceiro plano, o trabalho consistiu na experimentação de diferentes metodologias de extração de fibras insolúveis, com o objetivo de determinar aquela cujo custo benefício entre processo e rendimento extrativo fosse o mais viável e aplicável no sistema industrial.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

A pesquisa foi realizada por meio de consulta a bases de dados relevantes dentro do segmento patentes, tais quais: INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial (Patentes Brasileiras); Espacenet – European Patent Office (Escritório Europeu de Patentes/EPO); USPTO- United States Patent and Trademark (Escritório Norte-Americano de Patentes e

Marcas Registradas); Google Patents; Patenscope - Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI) e Free Patents Online - Serviço gratuito que contém patentes norte-americanas e patentes europeias.

As palavras-chave utilizadas nas buscas foram: extração, fibras, farelo, trigo, processo, enzimática, não-enzimática, componentes fibrosos, *extraction, fiber, bran, wheat, process, enzymatic, nonenzymatic, fibrous components*. Algumas das palavras citadas foram agrupadas com o intuito de reduzir o universo da pesquisa.

Concluída a busca, as patentes encontradas foram analisadas e filtradas primariamente pelos seus títulos, onde aqueles que apresentaram similaridade com o objeto em estudo justificou a seleção da patente para o filtro secundário, que foi a leitura do resumo (*abstract*),

posteriormente, encontrando-se compatibilidade direta com a extração de fibras ou componentes fibrosos a patente foi selecionada e lida na íntegra.

As patentes selecionadas foram então classificadas em diretas, quando se tratava de extração de fibras de trigo ou farelo de trigo, e em indiretas quando se referia a outros componentes fibrosos.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Amostras de três diferentes farelos e do trigo originário foram obtidas em uma indústria moageira de trigo na região metropolitana de Belo Horizonte/MG em Junho de 2016.

As amostras foram coletadas, armazenadas em sacos de polietileno e devidamente identificadas (Tabela 9), sendo posteriormente direcionadas ao Laboratório de Análises Físico-Químicas (LABM) em Belo Horizonte/MG, para determinação da composição centesimal: umidade, proteínas totais, gorduras totais (saturadas e insaturadas: monoinsaturadas, poliinsaturadas e trans), carboidratos totais, fibras totais (solúveis e insolúveis), cinzas e sódio.

Tabela 9 – Caracterização das amostras de farelo e grão de trigo

AMOSTRA	DESCRIÇÃO	UTILIZAÇÃO
M1	Farelo de trigo	Misturas, bolos etc
M2	Farelo de trigo	Panificação
M3	Farelo de trigo	Alimentação animal
M4	Grão de trigo	Matéria-prima

Fonte: Autora

A umidade foi determinada pela perda por dessecação através da secagem direta em estufa a 105°C, de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolf Lutz (2008) na seção 013 do Capítulo IV.

As proteínas totais foram determinadas pelo método de Kjeldahl modificado proposto na seção 037 do Capítulo IV do Instituto Adolf Lutz (2008).

A determinação das gorduras totais (lipídeos ou extrato etéreo) foi realizada por extração contínua em aparelho do tipo Soxhlet conforme estabelece a seção 032 do Capítulo IV do Instituto Adolf Lutz (2008). Já as gorduras saturadas e insaturadas foram determinadas

por cromatografia gasosa em coluna capilar precedida de preparação dos ésteres metílicos, utilizando uma coluna DB-23 60m, com diâmetro interno de 0,25 e espessura do filme de 0,25 μm .

Os carboidratos totais foram obtidos por diferença dos valores encontrados para umidade, extrato etéreo, proteínas, fibras e cinzas em 100g do produto, conforme estabelece a RDC nº 360 de 23 de dezembro de 2003.

As fibras totais, solúveis e insolúveis foram determinadas pelo método enzimático-gravimétrico proposto pelo Official Methods of Analysis da AOAC (2000).

As cinzas foram determinadas através do resíduo obtido por incineração e o teor de sódio por espectrometria de absorção atômica de chama, de acordo com a seção 018 e 210, respectivamente, do Capítulo IV do Instituto Adolf Lutz (2008).

PROCESSOS DE EXTRAÇÃO DE FIBRAS INSOLÚVEIS

Baseado nas pesquisas existentes e nas composições físico-químicas realizadas determinou-se as características e variáveis dos experimentos. Devido à complexidade da pesquisa, o experimento extrativo foi precedido de experimentos preliminares a fim de avaliar o comportamento de cada variável estudada, sendo elas: solução aquosa, binômio tempo/temperatura e método de purificação.

Os experimentos preliminares foram realizados a partir de um mix dos três tipos de farelos de trigo (M1, M2 e M3), sendo denominada como amostra mix. Assim como, as análises de fibras totais, solúveis e insolúveis foram determinadas pelo método enzimático-gravimétrico proposto pelo Official Methods of Analysis da AOAC (2000), em laboratório terceirizado (LABM) no município de Belo Horizonte/MG.

O primeiro experimento preliminar (EP-I) utilizou o delineamento inteiramente casualizado, esse delineamento teve quatro tratamentos que variou o conteúdo da solução aquosa de extração entre ácidos e bases, com o objetivo de determinar qual solução apresenta melhor resultado extrativo. A Tabela 10 apresenta os tratamentos realizados.

Tabela 10 – Tratamentos com diferentes soluções aquosas para extração de fibras

CODIFICAÇÃO	ÁGUA	ÁCIDO	BASE
SA1	500 ml	-	-
SA2	450 ml	25 ml	25 ml
SA3	450 ml	50 ml	-
SA4	450 ml	-	50 ml

Fonte: Autora

O EP-I tratou-se de um processo extrativo simplificado, sendo as soluções aquosas preparadas em erlenmeyers de 2 L, com a utilização de água destilada, ácidos e bases puras, assim como a adição de 20 g de farelo de trigo. Os erlenmeyers foram tampados com papel alumínio e submetidos à extração em autoclave com temperatura de 134 °C por 20 minutos. Após extração, retirou-se alíquotas de 15 ml, as quais foram acondicionadas em falcons, congeladas e posteriormente realizada a análise de quantificação de fibras insolúveis.

Determinada a solução aquosa ideal, o experimento preliminar II (EP-II), caracterizado por um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2 com 3 diferentes temperaturas e com os tempos de 20 e 30 minutos, avaliou o binômio tempo/temperatura de extração, submetendo a amostra de farelo de trigo a diferentes binômios, como mostra a Tabela 11. O processo extrativo do EP-II também foi simplificado, similar ao EP-I, alterando apenas o binômio tempo/temperatura, o qual variou de 134 a 174 °C e de 20 a 30 minutos.

Tabela 11 – Tratamentos com diferentes binômios tempo/temperatura para extração de fibras

CODIFICAÇÃO	TEMPERATURA	TEMPO
	(°C)	(min)
TT1	134	20
TT2	134	30
TT3	154	20
TT4	154	30
TT5	174	20
TT6	174	30

Fonte: Autora

Com solução aquosa e binômio tempo/temperatura determinados realizou-se o experimento preliminar III (EP-III), o qual trabalhou a etapa de purificação da solução extraída, variando entre o sistema de ultrafiltração e de carvão ativado (Tabela 12).

Tabela 12 – Tratamentos com diferentes métodos de purificação para extração de fibras

Codificação	Carvão ativado	Ultrafiltração
P1	Sim	Não
P2	Não	Sim
P3	Sim	Sim

Fonte: Autora

Com três experimentos preliminares efetivados, o experimento extrativo se baseou na etapa principal do processo, que é propriamente a fase de extração, onde se variou entre tratamentos enzimáticos, físicos e mistos.

Foram realizados quatro tratamentos (Tabela 13), sendo o primeiro caracterizado pela extração física (tratamento térmico), o segundo pela extração enzimática (alfa-amilase e amiloglucosidase), o terceiro e quarto por tratamentos mistos (alfa-amilase + tratamento térmico) e (alfa-amilase e amiloglucosidase + tratamento térmico), respectivamente.

Tabela 13 – Tratamentos com diferentes processos de extração de fibras

Codificação	Tratamento térmico	Alfa-amilase + Amiloglucosidase	Alfa-amilase
E1	x		
E2		x	
E3	x		x
E4		x	x

Fonte: Autora

As etapas do processo de extração de fibras insolúveis consistiu na remoção das impurezas, tratamento térmico e/ou hidrólise enzimática de amido, centrifugação, purificação, e armazenamento. A seguir descrição mais detalhada de cada etapa é apresentada.

Remoção das impurezas

O processo para a extração da fibra insolúvel envolve a retirada de componentes presentes no farelo de trigo que possam interferir na extração da fibra insolúvel. A limpeza do farelo foi realizada com álcool etílico na proporção de 1:8 (farelo de trigo/ álcool etílico), por um período de 80 min. Em seguida, realizou-se a lavagem com água à temperatura de 55 °C. Neste experimento, portanto, utilizou-se 20 g de farelo de trigo para 160 ml de álcool etílico e 150 ml de água de lavagem.

Tratamento térmico

Após remoção das impurezas, o farelo de trigo tratado foi transferido para erlenmeyer de 2 L, onde se adicionou a solução aquosa determinada no experimento preliminar I e submeteu-se ao tratamento térmico em autoclave industrial Phoenix Lufenco, por determinado tempo e temperatura, os quais foram obtidos em decorrência do resultado do experimento preliminar II.

A autoclavagem é um tratamento térmico bastante utilizado no ambiente laboratorial, hospitalar e alimentar, que consiste em manter o material a uma temperatura elevada, através do contato com vapor de água, durante um período de tempo suficiente para destruir todos os agentes patogênicos. O processo inclui ciclos de compressão e de decompressão de forma a facilitar o contato entre o vapor e os materiais contaminados. A temperatura usual em autoclaves é de 135 °C, a depender da função e característica do equipamento pode-se chegar até 200 °C.

Hidrólise enzimática de amido

A etapa de hidrólise do amido deve ser realizada em meio aproximadamente neutro, com pH na faixa de 6,0 a 8,0, desta forma, verifica-se o pH da solução e caso seja necessário adiciona-se ácido acético até enquadramento na faixa exigida.

Após ajuste de pH, adicionou-se de 0,4 g de alfa-amilase (TE3) e 0,5 g do mix de enzimas contendo alfa-amilase e amiloglicosidase (T2 e T4), adquiridas pela Granolab Brasil. As amostras foram acondicionadas na autoclave, onde manteve-se temperatura de 60 a 110 °C

por um período de 15 a 45 min, alcançados por configuração de rampa de temperatura no equipamento.

Centrifugação

Após extração (física, enzimática ou mista), o líquido sobrenadante de cor âmbar fora separado do precipitado sólido de farelo de trigo, uma vez que a parcela de fibras insolúveis e de interesse deste estudo se encontrara na fase líquida da solução extraída, a qual foi acondicionada em falcons e centrifugada a uma razão de 3500 rpm por 5 min.

O processo de centrifugação se repetiu por duas vezes, onde as amostras foram transferidas de recipientes (falcons) entre uma centrifugação e outra, a fim de se obter uma solução com baixo teor de particulados.

Purificação e armazenamento

A purificação da solução centrifugada consiste em remover substâncias de baixo peso molecular com pelo menos um método do grupo: diálise, ultrafiltração, osmose inversa, filtração em carvão ativado, filtração em gel e precipitação com solvente orgânico. O método adotado no experimento fora, portanto determinado a partir do resultado obtido no experimento preliminar III.

O peso molecular das substâncias de baixo peso molecular a serem removidas varia de acordo com o tipo de farelo utilizado, as condições de extração, o tipo de solvente aquoso e a qualidade necessária do produto, pelo que não pode ser determinado de forma simples.

A solução obtida após a purificação trata-se do produto final, em outras palavras, trata-se das fibras insolúveis dispersas em meio aquoso. Esta solução fora, portanto armazenada em frascos de vidros, os quais foram acondicionados sobre refrigeração (10°C).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram conduzidas em triplicata, calculando-se média e desvio padrão para cada resultado obtido. Os resultados obtidos foram analisados por ANOVA e o Teste de Tukey, com intervalo de confiança de 95%, foi utilizado para comparação da diferença entre as médias obtidas em cada grupo amostral.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

A busca nas seis bases de dados resultou em um total de vinte e duas patentes relacionadas ao processo de extração de fibras ou compostos fibrosos, conforme demonstra a Tabela 14. Sendo as bases de dados da USPTO (GPSN) e Espacenet responsáveis por retornar um maior número de patentes.

Tabela 14 – Patentes obtidas pela busca em base de dados

Base de dados	Total de patentes filtradas
INPI	4
USPTO (GPSN)	5
Espacenet	5
Google patents	4
Patentscope	2
Free patents online (FPO)	2
Total	22

Fonte: Autora

No entanto, após a leitura e análise dos títulos, verificou-se que das vinte e duas patentes filtradas, três delas se referiam a patentes iguais e que todas as demais se relacionavam com a busca primária, o que resultou, portanto em uma seleção secundária de dezenove patentes.

As patentes selecionadas foram, portanto classificadas em patentes diretas quando se tratava de extração de fibras de trigo ou farelo de trigo, e em patentes indiretas quando se referia a outros componentes fibrosos. Resultando em um total de dez patentes diretas e nove patentes indiretas, as quais serão discutidas a seguir.

Patentes diretas

A Tabela 15 discrimina as patentes diretas, relacionando sua contribuição, bases de dados em que foram retiradas, código e ano de publicação.

Tabela 15 – Patentes diretas relacionadas com a extração de fibras de trigo ou farelo de trigo

Título/Contribuição	Bases de dados	Código de publicação	Ano de publicação
Method for preparing wheat bran xylooligosaccharide by superpressureenzyme combination process	Espacenet	CN104278066(A)	2015
Continuous preparation method of Black wheat dietary fiber	Espacenet	CN102805351(A)	2014
Method for transforming pentosan and dietary fiber by wheat bran enzyme engineering method	Espacenet Patentscope	CN101607998(A)	2011
Technology for continuous producing buckwheat protein, flavone and food fibre	Espacenet Patentscope	CN1502256(A)	2004
A multifunctional extracting dietary fibers from wheat bran	USPTO	CN100353867C	2007
A method of enzyme alkali combined wet ultramicro disintegration preparation dietary fiber	USPTO	CN101828668A	2010
Dietary fiber extracted from wheat bran pharmaceutical and dietary compositions containing same	Google patents FPO	US5308618A	1994
Method for separating and preparing pentosan from wheat bran and use thereof	Google patents	CN1253475C	2006
Concentration and isolation of pentosans from wheat bran	FPO	US3879373	1975
Processo para a obtenção de fibras insolúveis, produto derivado e usos	Google patents	WO2011072352A1	2011

Fonte: Autora

Avaliando as dez patentes diretamente relacionadas à extração de fibras em farelo de trigo, observa-se que sete delas são patentes chinesas e recentes, o que demonstra extremo interesse por parte da China em tratar e agregar valor ao resíduo de trigo, fracionando, extraíndo, beneficiando e comercializando suas fibras. Aliado ao seu considerável crescimento econômico e conseqüentemente a sua potência mundial (principalmente na produção de trigo), a China têm sobressaído em pesquisas acadêmicas e profissionais, com eficiência e foco nos campos mais estratégicos. Ainda, no final do século 20, devido a mudanças na dieta e na nutrição, o país é levado ao estado de atenção sobre a saúde e consumo de fibras alimentares, fazendo com que a preparação de fibra dietética de farelo de trigo e a aplicação da tecnologia tenham cada vez mais prioridade.

Dentre as patentes selecionadas e seus métodos de extração de fibras é possível observar que a grande maioria trata de processos enzimáticos, exceto a patente US5308618A, a seguir um breve resumo das principais patentes analisadas é apresentado.

A patente CN104278066(A) compreende a invenção que descreve um método de preparação de xilooligossacarídeos do farelo de trigo por um processo de combinação de super-pressão enzimática. O método melhora a taxa de extração do oligossacarídeo do farelo de trigo, tem as vantagens do consumo de tempo curto e redução de custos, e tem um grande benefício econômico.

A invenção CN102805351(A) descreve um método de preparação contínua de fibra dietética de trigo preto, refere-se a um produto de transformação agrícola com utilização abrangente e pertence ao campo dos produtos alimentares. Mais especificamente, o invento refere-se ao farelo de trigo preto como matéria-prima, seguido por menção enzimática, extração alcalina e métodos de extração por água, tais como extração contínua, precipitação por pontos isoelétricos, precipitação com etanol, reconstituição com água e em seguida, processos de diálise, liofilização e embalagem.

Um método para a produção simultânea de pentosana e fibra alimentar via engenharia enzimática a partir do farelo de trigo, que pertence ao campo de processamento de alimentos é a invenção caracterizada pela CN101607998(A). As pentosanas e fibras dietéticas obtidas podem servir como agentes de adição e fatores funcionais, e são aplicados aos alimentos, indústrias farmacêuticas e de cosméticos, realizando assim a transformação efetiva e utilização do farelo de trigo; invenção esta complementar à CN101828668A.

A patente US5308618A refere-se às fibras dietéticas que podem ser obtidas através da extração do farelo com um solvente aquoso a uma temperatura elevada e difere-se da extração convencional na composição química e atividade fisiológica do solvente aquoso. Os presentes inventores, Konno, Asano e Hosoi, obtiveram fibras dietéticas praticamente não digeríveis, que é um assunto recente e conhecido como produto alimentar funcional, com um rendimento elevado. Como resultado, eles descobriram que uma fibra dietética é obtida com um rendimento elevado, se o farelo é extraído por um solvente aquoso a uma temperatura tão alta como 170° a 220°C, ao contrário do conhecimento comum dos especialistas na técnica.

Já a patente WO 2011072352A1 descreve um processo para extração enzimática e clareamento de fibras insolúveis do farelo de trigo, o qual representa um subproduto do processo de moagem do trigo, e possui pouco valor comercial. Desta forma, a invenção emprega formas inovadoras de aproveitamento dos resíduos industriais, resultando em novos

produtos com maior valor agregado e menor impacto ao meio ambiente. Ademais, as fibras obtidas apresentam elevada capacidade de absorção de água e podem ser utilizadas para a produção de formulações e misturas de produtos alimentícios, com baixo valor calórico ou como fontes de fibras.

Patentes indiretas

A Tabela 16 apresenta as nove patentes indiretas, relacionando sua contribuição, bases de dados em que foram retiradas, código e ano de publicação.

Tabela 16 – Patentes indiretas relacionadas com a extração de outros componentes fibrosos

Título/Contribuição	Bases de dados	Código de publicação	Ano de publicação
Processo de extração e beneficiamento de fibras de bananeiras	INPI	PI-0404745-1	2004
Processo de extração de amido de mandioca e de suas fibras a partir de resíduos da industrialização da mandioca	INPI	PI 0704358-9	2007
Processo de extração de amido, fibras, farinhas e derivados a partir dos resíduos da industrialização da batata inglesa, batata doce, mandioca e amido de sagu	INPI	PI 0903214-2	2009
Método de extração de fibra e obtenção de fio têxtil confeccionado a partir de fibras de banana	INPI	PI-1015637-2	2010
Extraction and utilization method of fine fibers during corn starch processing	Espacenet	CN102174759 (A)	2013
Noodle and method for making containing bran dietary fiber	USPTO	CN101116485A	2008
Preparation of dietary fiber food using the preparation method and use of barley wheat bran or oat bran	USPTO	CN101095482A	2008
Extraction from plant hemicellulose fiber method	USPTO	CN1923855A	2007
Processo de extração de compostos celulósicos	Google patents	WO 2012003561A1	2012

Fonte: Autora

Diante da busca e seleção é possível analisar que processos de outros componentes fibrosos, como fibras de bananeiras, mandioca, batata, assim como hemicelulose vegetal e compostos celulósicos, estão em pleno desenvolvimento, o que enaltece a importância das

fibras no cenário atual, devido principalmente a gama de benefícios oferecidos à saúde, bem como pelo seu reaproveitamento a partir resíduos sem valor agregado e originários de problemas ambientais.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA

Os resultados obtidos das análises físico-químicas para composição centesimal das amostras estudadas são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Composição centesimal das amostras de farelo e grão de trigo

Parâmetros	Unidade	Amostras			
		M1 Farelo de trigo	M2 Farelo de trigo	M3 Farelo de trigo	M4 Grão de trigo
Umidade	g/100g	10,1	10,6	10,4	8,0
Proteínas totais	g/100g	13,8	14,7	14,3	11,8
Gorduras totais	g/100g	3,2	3,2	3,7	1,7
Gorduras saturadas	g/100g	0,9	0,8	0,8	0,4
Gorduras insaturadas totais	g/100g	2,3	2,4	2,9	1,3
Gorduras moinsaturadas	g/100g	0,7	0,6	0,6	0,4
Gorduras poliinsaturadas	g/100g	1,6	1,8	2,3	0,9
Gorduras trans	g/100g	ND	ND	ND	ND
Carboidratos totais	g/100g	28,6	24,8	23,0	63,2
Fibras totais	g/100g	40,4	42,2	44,1	13,5
Fibras insolúveis	g/100g	39,9	42,2	44,1	13,5
Fibras solúveis	g/100g	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Cinzas	g/100g	3,9	4,5	4,5	1,8
Sódio	mg/100g	116,45	78,49	105,25	92,92

Fonte: Autora

O teor de umidade encontrado para as amostras de farelo de trigo (M1, M2 e M3) variaram 0,5%, compreendendo uma faixa de 10,1-10,6%, sendo similar aos resultados de análise de umidade encontrado por Leão (2013) e pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), 10,4% e 9,9%, respectivamente.

O menor teor de proteína (13,8%) foi encontrado na amostra de menor umidade (M1) e vice-versa, o maior teor de proteína (14,7%) faz referência a amostra com maior teor de umidade (M2). No entanto, os valores obtidos (13,8-14,7%) foram inferiores aos encontrados pelo National Food Institute (2009), o qual relata uma faixa de 15,1-17,9%. Zambom *et al.* (2001) também realizou a análise bromatológica do farelo de trigo e encontrou 17,93% de

proteína bruta, valor este superior a média obtida nas amostras analisadas. Esta diferença de valores pode-se justificar pelo método de análise aplicado nos diferentes trabalhos.

Já em relação ao componente objeto de estudo deste trabalho, o teor de fibras totais nas amostras de farelo de trigo variou entre 40,4-44,1%, corroborando com os resultados obtidos pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) – 42,8%, por Vitaglione, Napolitano e Fogliano (2008) – 36,5-52,4%, pelo National Food Institute (2009) – 38,2-42,3% e aproximando do valor encontrado por Fardet (2010) – 44,6%.

Analisando o resultado fracionado, e então do principal componente, as fibras insolúveis, os resultados obtidos também foram similares aos da literatura, sendo 39,9-44,1% comparado a 35-48,4% encontrado por Vitaglione, Napolitano e Fogliano (2008). Entretanto, o teor de fibras solúveis divergiu, quando comparado a faixa obtida de 0,1-0,5% com a faixa de 1,5-4,0% de Vitaglione, Napolitano e Fogliano (2008). Mas, segundo Wood (1997), a concentração de fibra solúvel em trigo é significativamente menor do que em outros cereais, como cevada e aveia, 3 a 11% e 3 a 7%, respectivamente, se comparado com menos de 1% em trigo (peso seco).

Os valores encontrados neste estudo são importantes, uma vez que demonstra que o resíduo farelo de trigo apresenta uma proporcionalidade de 99,5 a 99,9% de fibras insolúveis em relação ao teor de fibras totais, sendo quase metade do seu peso/constituição fibras insolúveis. De acordo com Maes e Delcour (2002), o farelo de trigo é uma das fontes mais ricas de fibra, sendo 46% de polissacarídeo não-amido (NSP). Os principais NSP presentes são arabinosilano, celulose e beta-glucano que são respectivamente 70%, 24% e 6% do NSP do farelo.

Entre as amostras, o farelo de trigo utilizado para alimentação animal (M3) foi o que apresentou maior teor de fibras insolúveis (44,1%), entretanto, as amostras M1 e M2 também demonstraram teores de fibras insolúveis muito satisfatórios, o que resultou na determinação de seguir com as três amostras de farelo de trigo (M1, M2 e M3), descartando apenas a amostra M4 (grão de trigo) que foi analisada somente como base comparatória, para a etapa posterior, experimentos de processos de extração.

PROCESSOS DE EXTRAÇÃO

Experimento preliminar I: solução aquosa

Os resultados extrativos obtidos em razão da variação do conteúdo da solução aquosa estão apresentados na Tabela 18. O ácido utilizado foi o acético e a base o hidróxido de sódio.

Tabela 18 – Teores de fibras de diferentes tratamentos com soluções aquosas

Teor de fibras (g/100g)	SA1 Água	SA2 Ácido + Base	SA3 Ácido	SA4 Base
Fibras totais	6,50 ± 0,24 a	6,11 ± 0,24 b	6,21 ± 0,24 b	6,54 ± 0,24 a
Fibras insolúveis	6,50 ± 0,25 a	6,10 ± 0,25 b	6,20 ± 0,25 b	6,54 ± 0,25 a
Fibras solúveis	< 0,1 ± 0,0 a	< 0,1 ± 0,0 a	< 0,1 ± 0,0 a	< 0,1 ± 0,0 a

Valores médios ± desvio padrão. Médias seguidas de mesma letra, numa mesma linha, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Os teores de fibras insolúveis encontrados nos diferentes tratamentos variaram de 6,1 a 6,54%, sendo os processos tratados com solução aquosa pura (SA1) e com solução alcalina (SA4) aqueles que apresentaram os melhores resultados extrativos, não apresentando diferença significativa entre eles.

O teor de fibras obtido através da solução aquosa pura (6,50% de fibras insolúveis) pode ser justificado pelo apresentado por Konno, Asano e Hosoi (1994) na patente US5308618A, o qual retrata que entre os solventes aquosos, a água é preferível, uma vez que além do rendimento extrativo, o efeito do solvente sobre a qualidade da substância extraída e a dificuldade envolvida na purificação do extrato são levados em consideração.

No entanto, segundo Yuanlin (2014), inventor da patente CN102805351B, a extração de fibras insolúveis é otimizada quando realizada tanto com água como com solução alcalina, o que de fato justifica os resultados obtidos neste trabalho.

Já em se tratando do menor teor extrativo, apresentado pelo processo SA2, caracterizado pela solução aquosa contendo ácido e base, este resultado pode ser explicado pela possibilidade de ocorrência de reação de neutralização e geração de subprodutos secundários, os quais podem ter influenciado na hidrólise dos componentes fibrosos, diminuindo o poder de extração.

Experimento preliminar II: binômio tempo/temperatura

Os resultados obtidos em função da variação do binômio tempo/temperatura estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Teores de fibras de diferentes tratamentos de binômios tempo/temperatura

Teor de fibras (g/100g)	20 minutos		
	134°C	154 °C	174 °C
Fibras totais	6,47 ± 0,15 cA ± 0,13	7,07 ± 0,15 bB ± 0,13	9,84 ± 0,15 aA ± 0,13
Fibras insolúveis	6,46 ± 0,16 cA ± 0,13	7,07 ± 0,16 bB ± 0,13	9,83 ± 0,16 aA ± 0,13
Fibras solúveis	<0,1	<0,1	<0,1
Teor de fibras (g/100g)	30 minutos		
	134°C	154 °C	174 °C
Fibras totais	6,37 ± 0,15 cA ± 0,13	7,26 ± 0,15 bA ± 0,13	9,87 ± 0,15 aA ± 0,13
Fibras insolúveis	6,37 ± 0,16 cA ± 0,13	7,25 ± 0,16 bA ± 0,13	9,87 ± 0,16 aA ± 0,13
Fibras solúveis	<0,1	<0,1	<0,1

Valores médios ± desvio padrão. Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, numa mesma coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Analisando os resultados, observa-se que o aumento do teor de fibras acompanhou o aumento da temperatura de extração, diferença esta significativa entre os tempos de 20 e 30 minutos. No entanto, a diferença de tempo de 10 minutos não apresentou diferença significativa aos 134°C. Ainda, entre os tratamentos TT1 e TT2, houve queda de rendimento extrativo a medida que aumentou-se o tempo de extração e manteve-se a temperatura, resultado este contrário ao apresentado pelos tratamentos TT3 e TT4.

Konno, Asano e Hosoi (1994), inventores da patente US5308618A, a única oriunda de tratamento físico/térmico, apresentaram rendimento seco de 26,2% para extração realizada a 180 °C durante 20 minutos e 27,5% para extração a 170 °C durante 20 minutos. Portanto, para se comparar estes resultados com os obtidos na Tabela 19, é necessário transformar o teor de fibras em percentual de rendimento. Considerando o teor médio de fibras insolúveis em farelo de trigo de 42%, tem-se que a extração de 9,8% de fibras insolúveis equivale a um rendimento líquido, uma vez que não efetuou-se a etapa de secagem, de 23,33%.

Considerando que quanto maior o teor de fibras insolúveis extraídas, teoricamente melhor é o processo, tem-se como resultado deste experimento que os melhores tratamentos foram os tratamentos utilizando a temperatura de 174 °C nos tempos de 20 e 30 minutos, os quais não apresentaram diferença significativa entre eles e obtiveram 9,8% de fibras extraídas.

Por não apresentar diferença pode-se considerar o tempo de 20 minutos suficiente. Segundo Konno, Asano e Hosoi (1994), o tempo de extração pode ser ajustado adequadamente de acordo com a condição térmica, mas geralmente é de preferência de 5 a 60 minutos e mais preferencialmente de 10 a 30 minutos.

Poucos são os trabalhos que estudaram o uso de altas temperaturas na extração de fibras, para confrontar e entender os resultados obtidos com os publicados, tem-se o pedido da patente japonesa 64-62,303 (1989), a qual descreve um método para extrair cascas de grãos ou feijões ou uma celulose obtida a partir das cascas com água quente a uma temperatura de 130 a 160 °C. Esta referência também revelou que quando uma casca de grão como o farelo é extraída a uma temperatura superior a 160 °C, a decomposição do extrato aumenta acompanhada do escurecimento e induzida a baixa produção de substância útil. Além disso, uma substância extraída a uma temperatura até 160 °C dá uma certa deposição de hemicelulose durante o passo de purificação.

Konno, Asano e Hosoi (1994) descobriram que uma fibra dietética é obtida com um alto rendimento se o farelo for extraído por um solvente aquoso a uma temperatura tão alta como 170 a 220 °C, contrariamente ao conhecimento comum para os especialistas na técnica. No entanto, o uso de temperaturas elevadas se restringe quando da necessidade de equipamentos específicos e onerosos para este fim.

Experimento preliminar III: método de purificação

Os resultados obtidos em função do método de purificação aplicado no processo extrativo estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Teores de fibras de diferentes tratamentos de purificação

Teor de fibras (g/100g)	P1 Carvão ativado (CA)	P2 Ultrafiltração	P3 CA + Ultrafiltração
Fibras totais	10,26 ± 0,18 b	10,63 ± 0,18 a	10,50 ± 0,18 a
Fibras insolúveis	10,25 ± 0,19 b	10,63 ± 0,19 a	10,50 ± 0,19 a
Fibras solúveis	< 0,1 ± 0,0 a	< 0,1 ± 0,0 a	< 0,1 ± 0,0 a

Valores médios ± desvio padrão. Médias seguidas de mesma letra, numa mesma linha, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

O fato do tratamento P1 ter apresentado diferença significativa entre os tratamentos P2 e P3 pode se justificar pela ultrafiltração (UF) tratar de um processo de separação utilizando membranas com tamanhos de poro na faixa de 0,01 a 0,001 micra e o carvão ativado de 4

micra, onde as partículas que não foram retidas no filtro de 4 micra conseqüentemente foram retidas pela membrana de ultrafiltração, resultando em um extrato de fibras insolúveis mais puro e portanto com um maior rendimento extrativo. Sendo assim a escolha pela opção de ultrafiltração resulta em uma solução com teor de fibras insolúveis superior.

Segundo Konno, Asano e Hosoi (1994), o processo de purificação pode ser realizado com pelo menos um dos métodos escolhido do grupo que consiste em diálise, ultrafiltração, osmose reversa, filtração em gel e precipitação por um solvente orgânico. Yuanlin (2014), inventor da patente CN102805351B, trabalhou apenas com a diálise. Silvestre *et al.* (2011), não purificou o extrato. Haiqing *et al.* (2004) e Jie (2011) utilizaram precipitação com solvente orgânico.

Experimento extrativo

Na Tabela 21 estão apresentados os resultados extrativos dos quatro processos de extração utilizados. Sendo o E1 caracterizado pela extração física (tratamento térmico), o E2 pela extração enzimática (alfa-amilase e amiloglicosidase), o E3 e E4 por tratamentos mistos (alfa-amilase + tratamento térmico) e (alfa-amilase e amiloglicosidase + tratamento térmico), respectivamente.

Tabela 21 - Teores de fibras de diferentes processos de extração

Teor de fibras (%)	M1			
	E1	E2	E3	E4
Fibras totais	12,31±0,26 aA ± 0,23	10,52 ± 0,26 bB ± 0,23	8,54 ± 0,26 dA ± 0,23	9,00 ± 0,26 cB ± 0,23
Fibras insolúveis	12,30±0,26 aA ± 0,24	10,51 ± 0,26 bB ± 0,24	8,54 ± 0,26 dA ± 0,24	9,00 ± 0,26 cB ± 0,24
Fibras solúveis	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Teor de fibras (%)	M2			
	E1	E2	E3	E4
Fibras totais	12,29±0,26 aA ± 0,23	7,70 ± 0,26 dC ± 0,23	8,06 ± 0,26 cB ± 0,23	9,93 ± 0,26 bA ± 0,23
Fibras insolúveis	12,28±0,26 aA ± 0,24	7,70 ± 0,26 dC ± 0,24	8,05 ± 0,26 cB ± 0,24	9,93 ± 0,26 bA ± 0,24
Fibras solúveis	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Teor de fibras (%)	M3			
	E1	E2	E3	E4
Fibras totais	9,03±0,26 bB ± 0,23	12,78 ± 0,26 aA ± 0,23	7,57 ± 0,26 cC ± 0,23	7,77 ± 0,26 cC ± 0,23
Fibras insolúveis	9,03±0,26 bB ± 0,24	12,77 ± 0,26 aA ± 0,24	7,57 ± 0,26 cC ± 0,24	7,77 ± 0,26 cC ± 0,24
Fibras solúveis	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Valores médios ± desvio padrão. Médias seguidas de mesma letra minúscula, numa mesma linha, e médias seguidas da mesma letra maiúscula, numa mesma coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de significância.

Observa-se que pelos resultados obtidos houve diferença significativa e maiores rendimentos extrativos no processo realizado com tratamento térmico (E1), apresentando 12,3% de fibras insolúveis em duas das três amostras de farelo de trigo analisadas (M1 e M2), as quais não se diferenciaram entre si. Exceto, em se tratando do farelo de trigo M3, cujo melhor desempenho de extração se deu com o tratamento enzimático (E2), que resultou no maior rendimento extrativo do experimento, 12,8% de fibras insolúveis. O comportamento da amostra M3 pode se justificar pela maior granulometria das partículas apresentada por este tipo de farelo, o que pode ter dificultado a ação térmica de hidrólise e facilitado a ação enzimática.

Os tratamentos mistos (E3 e E4), apresentaram diferença significativa entre si nas amostras M1 e M2, com rendimentos extrativos menores do que os tratamentos físicos e enzimáticos isolados (E1 e E2) nas três amostras analisadas, podendo a alta temperatura, aplicada diretamente após o tratamento enzimático, ter desnaturado parcela das enzimas e assim consequentemente interrompido o processo de hidrólise do amido; bem como, pela possibilidade de decomposição dos constituintes fibrosos, devido à fragilidade da cadeia rompida seguida da aplicação imediata de temperaturas elevadas. Nenhum trabalho com extração mista foi encontrado a fim de ser estudado e comparado com os resultados deste experimento, não havendo, portanto dados para discussão.

Em se tratando de rendimentos, tem-se que a patente CN101828668A, oriunda de tratamento enzimático, apresentou taxa de extração de fibra dietética seca de 43% e capacidade de retenção de água 630%. Assim como a patente CN100353867C, que também obteve rendimento do produto seco entre 40-43%. Já a patente WO2011072352A1 não fala sobre rendimento, apenas da capacidade de retenção de água que foi de 8g de água/g produto, em outras palavras, 800%. No entanto, a patente US5308618A, a única oriunda de tratamento físico/térmico, obteve rendimento seco de 26,2% a 27,5%.

Convertendo-se os tores de fibras obtidos em taxa de extração, tem-se, por exemplo, que os 12,3% de fibras do tratamento E1 equivale a 29,3% de rendimento, valor este muito próximo ao encontrado por Konno, Asano e Hosoi (1994), inventores da patente US5308618A. Mesmo considerando que o processo de secagem apresenta perda de rendimento, e que neste experimento a mesma não foi realizada, acredita-se que o rendimento de 29,3% não diminuiria significativamente a ponto de distanciar dos resultados encontrados pelos inventores citados acima.

Entretanto, os resultados obtidos nos tratamentos enzimáticos, com valor médio de 10,3% de fibras insolúveis, representam 24,5 % de rendimento de extração final, resultado este distante dos apresentados (40-43%) pelas patentes citadas anteriormente, podendo se justificar pelo fato de não ter sido realizado a hidrólise das proteínas.

O tratamento enzimático quando comparado com o tratamento térmico exige uma série de etapas extras e portanto de tempo, além de um controle rigoroso e custos onerosos de aquisição de enzimas. Diante deste contexto, o processo de extração estabelecido para a metodologia proposta por este trabalho foi o tratamento térmico e não enzimático.

A metodologia de extração de fibras proposta por este trabalho se resume em: remoção das impurezas com álcool etílico; extração em solução aquosa com água pura; extração em autoclave com temperatura e tempo mínimos de 174°C e 20 minutos, respectivamente; centrifugação, purificação com membrana de ultrafiltração ou osmose reversa; clareamento e secagem.

Esta metodologia proposta vislumbrou não somente o rendimento extrativo, mas principalmente os impactos ambientais, minimizando a quantidade de recursos gastos, assim como a disponibilidade e agressividade desses, e conseqüentemente reduzindo o custo de produção para tornar o processo funcional e viabiliza-lo para as indústrias moageiras, bem como gerando a possibilidade de oferecer um produto nacional com baixo valor de mercado para as indústrias alimentícias, que em contrapartida investiriam em alimentos enriquecidos com fibras e incentivariam a população a consumir produtos mais saudáveis/funcionais.

Considerando os valores de comercialização do quilograma de fibras insolúveis importadas e do farelo de trigo para alimentação animal, de \$4,73 (aproximadamente R\$15,61/kg) e R\$0,57, respectivamente, assim como o rendimento extrativo obtido neste experimento (29%), seria necessário cerca de 3,5kg de farelo de trigo para obter 1 kg de fibras, em outras palavras, 1 kg de fibras insolúveis desidratadas teria o custo de R\$2,00 de matéria-prima (farelo) mais o custo de extração (incluindo a secagem), estimado em 200% do custo da matéria-prima (R\$4,00), ou seja, o custo total do quilograma de fibras insolúveis seria de R\$6,00, valor este que representa menos da metade do praticado pela importação de fibras por parte das indústrias de alimentos;

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Diante do objetivo determinado e do trabalho realizado, conclui-se:

- O farelo de trigo é um resíduo extremamente volumoso, representando um problema ambiental e econômico para as moageiras;
- O meio ambiente além de gastar recursos na produção do trigo, tem que gastar recursos para absorver o resíduo oriundo do seu beneficiamento, seja por compostagem ou destinação direta no solo;
- O farelo de trigo é desvalorizado, quando seus destinos são indústrias de ração animal, compostagem e aplicação direta no solo, com baixo valor agregado;
- O farelo de trigo é uma fonte promissora de compostos funcionais: fibras alimentares;
- As fibras insolúveis representam em torno de 40-45% do conteúdo/peso total do farelo de trigo;
- Existem diferentes tipos de farelos de trigo, a depender da proximidade de extração com a casca do grão, os quais possuem aplicações distintas, principalmente em razão da diferença de granulometria;
- Foram encontrados apenas dez patentes relacionadas com o processo de extração de fibras de farelo de trigo, das quais sete são chinesas;
- A China é o maior produtor mundial de trigo, o qual reconhece o potencial do resíduo gerado e têm demonstrado grande interesse em tratar e reaproveitar o farelo de trigo;
- 90% dos trabalhos publicados se referem ao método de extração enzimática das fibras insolúveis;
- Apenas um trabalho trata da extração por meio físico, utilizando altas temperaturas;
- As fibras podem ser obtidas de forma sólida (seca) ou líquida (em solução);
- Considerando que as moageiras possuem aplicabilidade diferenciada para os distintos tipos de farelos, como panificação, pré-misturas, bolos, alimentação animal, apenas uma pequena parcela é realmente destinada para estes fins, sendo o grande excedente misturado, dando origem a um farelo único;
- Os diferentes tipos de farelo de trigo apresentam composição centesimal distintas, porém similares, sendo o farelo mais externo e grosso (destinado para alimentação animal), e neste estudo denominado como a amostra M3, aquele que apresentou maior teor de fibras insolúveis (44,1%);

- As principais variáveis do processo de extração de fibras insolúveis são: solução aquosa, binômio tempo/temperatura, purificação e método de extração. As soluções aquosas pura e alcalina foram as que apresentaram maior teor de fibras extraídas, no entanto, admitiu-se, como parte da metodologia desenvolvida por este trabalho, a utilização da solução aquosa pura, devido ao menor impacto ambiental gerado, assim como por a qualidade da substância extraída ser superior e o processo de purificação menos complexo;
- O binômio tempo/temperatura que demonstrou melhor comportamento extrativo foi o representado pela temperatura de 174 °C e o tempo de 20 minutos;
- Tempos de extração superiores a 20 min não apresentam ganhos significativos no teor de fibras insolúveis;
- Temperaturas superiores a 174 °C devem ser testadas em estudos posteriores, mas exigem investimentos operacionais onerosos, os quais limitaram este trabalho;
- Para purificação da solução extraída, o método com melhor resultado extrativo foi a ultrafiltração, não exigindo tratamento preliminar e portanto, custos extras no processo;
- Sugere-se a purificação com osmose reversa em estudos posteriores, no entanto, necessita-se de um grande volume de solução para executar o experimento, o que de fato inviabilizou a sua utilização neste trabalho;
- Entre os processos de extração os que apresentaram melhores resultados foram o E1 – tratamento físico e o E2 – tratamento enzimático, com duas (M1 e M2) e uma (M3) amostra, respectivamente;
- Considerando que as moageiras formam um mix de farelo, e que proporcionalmente este mix se aproxima da composição centesimal da amostra M2, admitiu-se que o tratamento cujo resultado foi melhor com esta amostra possui vantagem/prioridade entre os demais;
- O processo de extração por tratamento térmico apresentou rendimento de aproximadamente 29%;
- O produto obtido foi uma solução aquosa de fibras, podendo a mesma ser submetida ou não ao processo de secagem, o que de fato facilita a disposição, comercialização, armazenamento e utilização do produto nas indústrias de alimentos;
- Sugere-se para trabalhos futuros, a secagem por spray-dryer, uma vez que as características do produto obtido favorece e que o benefício custo/tempo, se comparado com a liofilização, é superior;

- Sugere-se também a etapa de clareamento com hidróxido de sódio (NaOH), o que lhe confere tonalidade mais clara, melhorando, assim, a sua aceitabilidade pelas indústrias de alimentos e pelos consumidores;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. História do trigo. **O papel do trigo na evolução da humanidade**. A triticultura brasileira. Disponível em: http://www.abitrigo.com.br/historia_do_trigo2a.asp. Acesso em: 18 de março de 2017.
- ABRELPE, 2005. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2005**. Disponível em: <HTTP://www.abelpre.org.br>. Acesso em 20 de fevereiro de 2017.
- ABREU, A.S.D.; SOUZA, G.C.; SILVA, J.M.A.; TUDELS, A.; FREIRE, A. K.F.; PEREIRA, M.B.; GAZOLA, R.M.B. **Estudo Comparativo do Consumo Semanal de Alimentos Fontes de Fibras em Dois Bairros de Porto Velho – RO**. SABER CIENTÍFICO, Porto Velho, v.1, n.2, p. 189 - 200, 2008.
- ACEVEDO E.; BRESSANI R. Ingestión de fibra dietética en los países del istmo centroamericano: implicaciones nutricionales. **Arch Latinoam Nutr** 1989;3:392-404.
- ANDERSON J.W.; BAIRD P.; DAVIS R.H.; FERRERI S.; KNUDTSON M.; KORAYM A. **Health benefits of dietary fiber**. *Nutr Rev.* 2009;67(4):188-205.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the Association of the Analytical Chemists**. 17th ed. Virginia, 2000.
- ARAÚJO, M, J. **Fundamentos de agronegócios**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.
- ASP N.G.; SCHWEIZER T.F.; SOUTHGATE D.A.T.; THEANDER O. Dietary fibre analysis. In: Schweizer TF, Edwards CA. **Dietary fibre: a component of food nutritional function in health and disease**. London: Springer Verlag; 1992. p. 57-99.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 71p, 2004.
- ATWELL, W. A. **Wheat Flour**. Eagen Press Handbook Series. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, 2001.
- BEAUGRAND, J.; CRÔNIER, D.; DEBEIRE, P., CHABBERT, B. **Arabinoxylan and hydroxycinnamate content of wheat bran in relation to endoxylanase susceptibility**. *Journal of Cereal Science*, v.40, p.223-230, 2004.
- BERNAUD, F. S. R.; RODRIGUES, T. C. **Fibra alimentar – Ingestão adequada e efeitos sobre a saúde do metabolismo**. *Arq. Bras. Endocrinol Metab.* 2013; 57/6: 397-405p.
- BINGHAM S.A.; DAY N.E.; LUBEN R.; FERRARI P.; SLIMANI N.; NORAT T. **Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): an observational study**. *Lancet.* 361(9366):1496-501, 2003

BLAS, C.; MATEOS, G.G.; REBOLLAR, P.G. **Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos**. 2.ed. Madrid: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2003. 423p.

BNDES. **Panorama das importações de trigo no Brasil - 2011**. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Galerias/Convivencia/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/BNDES_Setorial/201109_11.html. Acesso em junho de 2017.

BRASIL, 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010)**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

BRASIL, 2002. **Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA)**. Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, edição de 22 de novembro de 2002.

CARCEA, M.; SALVARORELLI, S.; TURFANI, V.; MELLARA, F. Influence of growing conditions on the technological performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **International Journal of Food Sciences and Technology**. v.41, n.2, p.102-107, 2006.

CHENGZHONG, W.; HONGYAN, R.; XIAOHONG, Z.; XIAOHUA, W. **Method for preparing wheat bran xylooligosaccharide by superpressure-enzyme combination process**. CN Pat. 104278066A, 14 de janeiro de 2015.

CUMMINGS JH. **The effect of dietary fiber on fecal weight and composition**. In: Spiller G, ed. *Dietary Fiber in Human Nutrition*. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 183-252; 2001.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS (USDA). **Tabela nutricional – farelo de trigo cru**. Disponível em: <http://tabnut.dis.epm.br/alimento/20077/farelo-de-trigo-cru>. Acesso em 02 de junho de 2017.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS (USDA). **Commodities – Wheat**. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/commodities/wheat>. Acesso em 02 de junho de 2017.

DEVRIES J.W. **On defining dietary fiber**. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62: 37– 43, 2003.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids (Macronutrients)**. Washington, D.C: National Academy Press, 2005.

FALASCONI L. **La catena degli sprechi**. Bologna: 5/6, pp. 14 – 17, 2013.

FARDET A. New hypotheses for the health protective mechanisms of whole-grain cereals: **what is beyond fibre?** *Nutr Res Rev* 23:65 – 134, 2010.

FILISSETTI-COZZI T.M.C.C.; LAJOLO F.M. Fibra alimentar insolúvel, solúvel, e total em alimentos brasileiros. **Rev Farm Bioquím Univ S Paulo**: 1991; 27:83-99.

FOOD AND NUTRITION BOARD. **Dietary reference intakes: proposed definition of dietary fiber**. Washington: National Academy Pres. p.1-64, 2001.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. Dôssie: **fibras alimentares**. Revista Food Ingredients Brasil, n.3, 2008.

GEORGET, D. M. R. *et al.* Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. **Trends in Food Science & Technology**. v.16, n.1, p.12-30, 2005.

GONGMING, Y.; ZHIGUO, Z.; YUQIAN, Z.; CHENGZHONG, W.; NAIFENG, Z. **Method for preparing dietary fiber by combining enzymatic alkaline method and wet ultra-micro pulverization**. CN Pat. 101828668 A, 15 de setembro de 2010.

GUARIENTI, E. M. *et al.* Classificação comercial indicativa das cultivares de trigo da Embrapa - Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, safra 2017. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 10., 2016, Londrina. Anais... Londrina: **Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale**, 2016. 1 CD-ROM. 2016.

GWIRTZ, J. A.; WILLYARD, M. R.; MCFALL, K. L. W. Wheat: **more than just a plant**. In: MÜHLENCHÉMIE. Future of flour: a compendium of flour improvement. 2014. Disponível em: <<http://muehlenchemie.de/english/know-how/future-of-flour.html>>. Acesso em: 10 de março de 2017.

HAIQING, W.; ZHAO, C.; CHUAN, H.; ZHENG, Z.; WEIXIA, C. **Technology for continuous producing duck wheat protein, flavone and food fibre**. CN Pat. 1502256A, 9 de junho 2004.

HARBER, G.B. **Depletion and disruption of dietary fiber**. Effects on satiety, plasma glucose and serum insulin. *Lancet*, v.12, p.682-697, 1997.

HEMERY, Y., ROUAU, X., LULLIEN-PELLERIN, V., BARRON, C., ABECASSIS, J. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. **Journal of Cereal Science**, v. 46, p. 327-347, 2007.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo, IMESP, 4ª ed., v. 1, p. 533, 2008.

JAEKEL, L. Z. Influência da adição de diferentes fontes de fibras (farinha de trigo de grão inteiro e amido resistente) e de transglutaminase nas características tecnológicas, estruturais e sensoriais de massas alimentícias. 2013. 193 f. **Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos** - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

KONNO, T.; ASANO, K.; HOSOI, T. **Dietary fiber extracted from wheat bran pharmaceutical and dietary compositions containing same**. US Pat 5308618A, 3 de maio de 1994.

LAIRON D.; ARNAULT N.; BERTRAIS S.; PLANELLS R.; CLERO E.; HERCBERG S.; BOUTRON-RUAULT M.C. **Dietary fiber intake and risk factors for cardiovascular disease in french adults**. *Am J Clin Nutr* 82: 1185-1194, 2005.

LAUFENBERG, G. **Transformation of vegetable waste into added products**. Bioresource Technology, 87, pp.167-198, 2003.

LEÃO, D. P. Avaliação comparativa do potencial de farelo de trigo comercial e pericarpo de pequi como substratos na produção de fibras com capacidade antioxidante. **Dissertação em Ciência dos Alimentos**. Faculdade de Farmácia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2013.

LE GOFF, G.; VAN MILGEN, J.; NOBLET, J. **Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows**. Animal Science, v.74, p.503-515, 2002.

LEON, A. E. De tales harinas, tales panes: **granos, harinas y productos de panificación em Iberoamérica**. Córdoba: Hugo Báez, 480p, 2007.

LEON, A. E.; ROSELL, C. M. De tales harinas, tales panes: **granos, harinas e productos de panificação em Iberoamerica**. Córdoba: Hugo Baez, 2007. 480 p. Disponível em: https://www/iseki-food.net/webfm_send/1729>. Acesso em: 10 de março de 2017.

LIU, L.; DESEO, M. A.; MORRIS, C.; WINTER, K. M.; LEACH, D. N. **Investigation of a-glucosidase inhibitory activity of wheat bran and germ**. Food Chemistry, v. 126 p. 553–561, 2011.

LORA, E. L. **Prevenção e controle da poluição nos setores energéticos, industrial e de transporte**. Brasília/DF: ANEEL, 503p, 2000.

LUNN J.; BUTTRISS J. L. **Review Carbohydrates and dietary fibre**. British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin, 32: 21–64, 2007.

MAES, C.; DELCOUR, J.A. **Structural characterisation of water extractable and water unextractable arabinoxylans in wheat bran**. J Cereal Sci 35:315 – 326, 2002.

MATOS, A. T. **Práticas de Poluição Ambiental. Revista Engenharia na Agricultura**. Série Caderno didático. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2004.

MATOS, A. T. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**. Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental / UFV. Fundação Estadual do Meio Ambiente. 2005.

MATOS, A.T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: Imprensa Universitária, UFV, 2014. 176p.

MCCLEARY B.V., DEVRIES J.W., RADER J.I., COHEN G., PROSKY L., MUGFORD D.C., CHAMP M., OKUMA K. Collaborative Study Report: **Determination of Insoluble, Soluble, and Total Dietary Fiber (Codex Definition) by Enzymatic-Gravimetric Method and Liquid Chromatography**. AACC International Report, 56(6): 238-247, 2011.

MENEZES, E.C.O.; VIEIRA, P.H.F. Aglomeração industrial, governança e meio ambiente: **conceitos e premissas da abordagem do desenvolvimento territorial sustentável**. Editora UFRP, n.24, p.101-118, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Agricultura Sustentável**. Brasília: MMA, 2000, 57p.

MIRA, G.S.; GRAF, H.; CÂNDIDO L. M. B. Visão retrospectiva em fibras alimentares com ênfase em beta-glucanas no tratamento do diabetes. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, n. 1, jan./mar., 2009.

MOUSIA, Z.; EDHERLY, S.; PANDIELLA, S. S.; WEBB, C. **Effect of wheat pearling on flour quality**. Food Research International. v.37, p.449- 459, 2004.

NATIONAL FOOD INSTITUTE. 2009. **Wheat bran – Nutrition Information and Facts**. Disponível em: http://www.foodcomp.dk/v7/fcdb_details.asp?FoodId=0086. Acessado em 01 de junho de 2017.

ONYENEHO S.N.; HETTIARACHCHY N.S. **Antioxidant activity of durum-wheat bran**. J Agric Food Chem. 40:1496–1500, 1992.

ORGANIZAÇÃO NÃO GOVERNAMENTAL BANCO DE ALIMENTOS. 2004. Disponível em: http://www.bancodealimentos.org.br/porque/dados_fome.htm. Acesso em: 7 de março de 2017.

PAIXÃO, J. F; ROMA, J. C.; MOURA, A. M. M. Cadernos de diagnóstico: **resíduos sólidos industriais**. Brasília: MMA, 2011. Disponível em: http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/05_CADDIAG_Res_Sol_Indust . Acesso em: 24 mar. 2017.

PELIZER, L.H.; PONTIERI, M.H.; MORAES, I.O. **Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental**. J. Technol. Manag. Innov. 2007, Volume 2, Issue 1, 2007.

PHILIPPI JR., A. Saneamento, saúde e ambiente: **fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. 842 p.

PINTO G.A.S.; BRITO, E. S.; ANDRADE, A.M.R.; FRAGA, S.L.P.; TEIXEIRA, R.B. Fermentação em estado sólido: **uma alternativa para o aproveitamento e valorização de resíduos agroindustriais tropicais**. Embrapa: Fortaleza-Ceará, 2005.

POMERANZ, Y. Chemical composition of kernel structures. In: Pomeranz, Y, editor. **Wheat: chemistry and technology**. 3rd ed, Berlin: Springer. pp 99, 1988.

POPPER, L; SCHÄFER, W. & FREUND, W. Future of flour: **a compendium of flour improvement**. Kansas City: Agrimedia, 2006. 325p.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T.; EUCLIDES, R.F. **Tabelas brasileiras**

para aves e suínos: composição dos alimentos e exigências nutricionais. 3.ed. Viçosa: UFV, 2011. 252p.

SACHS, I. Desenvolvimento: **inclusivo, sustentável, sustentado**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SALTZMAN E.; DAS S.K.; LICHTENSTEIN A.H.; DALLAL G.E.; CORRALES A.; SCHAEFER E.J. **An oat-containing hypocaloric diet reduces systolic blood pressure and improves lipid profile beyond effects of weight loss in men and women**. J Nutr. 131(5):1465-70, 2001.

SANTOS, M. S.; YAMANAKA, H. T.; PACHECO, C. E. M. **Produção Mais Limpa (P+L) nas Indústrias de Bijuterias do Município de Limeira**. São Paulo: Cetesb, 2005. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 3 fev. 2017.

SCHEUER P.M.; FRANCISCO A.; MIRANDA M.Z.; LIMBERG V.M. Trigo: características e utilização na panificação. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.2, p.211-222, 2011.

SHEWRY, P. R.; GILBERT, S.; TATHAM, A. S.; BELTON, P. S. The high molecular weight subunits of wheat glutenin and their role in determining the functional properties of wheat gluten and dough. **Biopolymer Science: Food and Non Food Applications**. p.13-18, 1998.

SCHULZE M.B.; SCHULZ M.; HEIDEMANN C.; SCHIENKIEWITZ A.; HOFFMANN K.; BOEING H. **Fiber and magnesium intake and incidence of type 2 diabetes: a prospective study and meta-analysis**. Arch Intern Med. 2007;167(9):956-65.

SILVESTRE, M.P.C.; SILVA, V.D.M.; AFONSO, W.O.; LOPES JÚNIOR C.O.; LOURENÇO, M. **Processo para a obtenção de fibras insolúveis, produto derivado e usos**. WO Pat. 2011072352A1, 23 de junho de 2011.

SIMIÃO, J. Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da Produção mais Limpa. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

SOUZA, C. E.; SILVA, A. B. G. **Consumo alimentar habitual dos trabalhadores de uma empresa do vale do Taquari - RS**. Rio Grande do Sul. Revista destaques acadêmicos. Lajeados, v. 2, n. 3, p. 19-25, nov. 2010

SPILLER G. A. **CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition**. 3rd Edition. CRC Press LLC: 3 ed, pág.3-5, 391p, 2001.

SWENNEN, K.; COURTIN, C. M.; LINDEMANS, G. CJE; DELCOUR, J. A. Large-scale production and characterisation of wheat bran arabinoxyloligosaccharides. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86 p.1722–1731.2006.

TRUSWELL A.S. **Dietary fibre and plasma lipids**. Eur J Clin Nutr. 49(Suppl 3):S105-9, 1995.

TUNGLAND B.C.; MAYER D. Nondigestible oligo- and polysaccharides (dietary fiber): **their physiology and role in human health and food.** *Comp Rev Food Sci Food Saf.* 2002.

VITAGLIONE, P.; NAPOLITANO, A.; FOGLIANO, V. Cereal dietary fibre: **a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the gut.** *Trends Food Sci Technol:* v.19, p451 – 463, 2008.

WANDERS A.J.; VAN DEN BORNE J.J.G.C.; DE GRAAF C.; HULSHOF T.; JONATHAN M.C.; KRISTENSEN M. **Effects of dietary fibre on subjective appetite, energy intake and body weight: a systematic review of randomized controlled trials.** *Obes Rev.* 12(9):724-39, 2011.

WONG J.M.; JENKINS D.J. **Carbohydrate digestibility and metabolic effects.** *J Nutr.;*137(Suppl 11):2539S-46S, 2007.

WOOD, P. Functional foods for health: **opportunities for novel cereal processes and products.** In: Campbell GM, Webb C, McKee SL, editors. *Cereals novel uses and processes.* New York: Plenum Press. pp 233 – 239, 1997.

YUAN, X., WANG, J., YAO, H. Antioxidant activity of feruloylated oligosaccharides from wheat bran, **Food Chemistry**, v. 90, p. 759-764, 2005.

YUANLIN, S. **Continuous preparation method of black wheat dietary fiber.** CN Pat. 102805351A, 5 de dezembro de 2012.

ZAMBOM, M.A.; SANTOS, G.T.; MODESTO, E.C. et al. Valor nutricional da casca do grão de soja, farelo de soja, milho moído e farelo de trigo para bovinos. **Acta Scientiarum**, v.23, n.4, p.937-943, 2001.

ZHANG, J.; LIMIN, L.; XUELING, Z.. **Method for transforming pentosan and dietary fiber by wheat bran enzyme engineering method.** CN Pat. 101607998A, 23 de dezembro de 2009.