



Soraia Andreia Lírio Mineiro

Licenciatura em Ciências de Engenharia
Química e Bioquímica

Fibra Alimentar: composição, métodos e implicações alimentares

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Tecnologia e Segurança Alimentar

Orientador: Doutora Ana Lúcia Leitão, Professora Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Benilde Mendes
Arguente: Prof. Doutora Ana Luísa Fernando
Vogal: Prof. Doutora Ana Lúcia Leitão



julho, 2014

Fibra Alimentar: composição, métodos e implicações alimentares

Copyright © Soraia Andreia Lírio Mineiro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Sendo a tese a etapa final da jornada de dois anos de Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar, é imperativo expressar a gratidão para com todos os que de forma directa ou indirecta contribuíram para a realização deste trabalho.

A realização deste trabalho foi possível graças à Prof. Dr. Ana Lúcia Leitão. Um apoio constante desde início, principalmente nos momentos de maior dificuldade onde não faltou uma palavra amiga e de motivação para continuar e nunca desistir. Assertiva e sincera, sempre disponível para esclarecer, ajudar, ensinar e inalcançável como orientadora. Estou extremamente grata pelo esforço e dedicação prestados, pela paciência e compreensão. Muito obrigada.

Quero agradecer às minhas colegas e amigas, Joana Martins e Andreia Ferreira. Pela amizade, pelo convívio e também o apoio e alento ao longo do último de ano de estudos que foi fundamental dia após dia enquanto este trabalho era desenvolvido.

Os meus agradecimentos à Professora Benilde Mendes cujo auxílio foi crucial na realização quer do mestrado quer do trabalho aqui exposto, e os meus agradecimentos a todos os docentes com quem contactei pelo conhecimento transmitido, pelo profissionalismo e excelência de ensino.

Os meus agradecimentos a todos os colaboradores da SGS Inc., à minha orientadora de estágio Sandra Silva pelos desafios apresentados e a experiência proporcionada. Às técnicas do laboratório de Química e de Microbiologia pela simpatia, pelo carinho e os bons momentos passados.

Por último os meus agradecimentos à minha família mais próxima e amigos, por todo o apoio e por terem partilhado desta experiência comigo.

Resumo

A fibra alimentar é uma entidade complexa e um conceito ainda pouco claro para a maioria das pessoas. O termo foi primeiramente introduzido por Hisplay em 1953 e desde então a definição de fibra alimentar têm vindo a evoluir até aos dias de hoje. Atualmente é definida como um conjunto de substâncias que resiste à digestão, e cujo consumo surte efeitos benéficos na saúde humana. O presente trabalho dá a conhecer a história evolutiva da fibra alimentar, natureza dos seus constituintes, as metodologias desenvolvidas para a sua quantificação, as principais fontes de fibra alimentar e por fim os efeitos fisiológicos inerentes ao seu consumo, tais como os efeitos laxativos, atenuação dos níveis de colesterol e glicose, entre outros. O consumo de fibra alimentar contribui para o combate a doenças não comutáveis.

Palavras-chave: fibra alimentar, fibra solúvel, fibra insolúvel, alimentos, métodos, saúde.

Abstract

Dietary fiber is a concept resulting from a complex chemical entity which is not yet fully understood by the majority of people. The term was first coined in 1953 by Hipsley, and since then its definition has continued to evolve. Nowadays dietary fiber stands for a complex group of non-digestible substances from natural origin with beneficial physiological effects for the human health, when ingested. In this report is presented the evolving history of dietary fiber since it was first introduced until now, the nature of its components, the different analytical methods available for its quantification, the main dietary sources of fiber and finally the reported physiological benefits inherent to dietary fibre, such as laxative effects, lowering of cholesterol and glucose in the blood stream, among others. The consumption of dietary fiber helps to prevent non commutative diseases.

Keywords: dietary fiber, soluble fiber, insoluble fiber, foods, methods, health.

Índice de Matérias

1 Introdução: História da Fibra Alimentar	1
1.1 Definição de fibra alimentar ao longo dos tempos.....	2
2 Componentes da Fibra Alimentar	11
2.1 Fibra Alimentar.....	11
2.2 Fibra Insolúvel.....	11
2.3 Fibra Solúvel.....	12
2.4 Polissacáridos vegetais não digeríveis.....	13
2.4.1 Celulose.....	13
2.4.2 Hemiceluloses.....	14
2.4.3 Pectinas.....	15
2.4.4 Gomas.....	17
2.4.5 Inulina.....	20
2.4.6 Amido Resistente.....	21
2.5 Polissacáridos animais não digeríveis.....	23
2.5.1 Goma xantana.....	23
2.5.2 Quitina e Quitosana.....	24
2.6 Polissacáridos sintéticos.....	26
2.7 Lenhina.....	28
3 Métodos	29
3.1 Métodos químico-gravimétrico.....	29
3.1.1 Método da Fibra Bruta (Método Weende).....	29
3.1.2 Fibra por Detergente Ácido (ADF).....	29
3.1.3 Fibra por Detergente Neutro (NDF).....	29
3.2 Métodos de fibra alimentar enzimático-gravimétricos.....	30
3.2.1 Método DNF modificado.....	30
3.2.2 Métodos AOAC.....	30
3.3 Métodos enzimático-químicos.....	36
3.3.1 Método Uppsala.....	36
3.3.2 Método de Englyst.....	36
4 Principais fontes de Fibra Alimentar	38
4.1 Cereais.....	38
4.2 Leguminosas.....	43
4.3 Frutas e Vegetais.....	46
4.3 Possíveis fontes de fibra alimentar.....	48

5 Consumo de Fibra Alimentar	51
5.1 <i>Comportamento fisiológico e benefícios para a saúde</i>	54
5.1.1 Obesidade	54
5.2 <i>Diabetes</i>	56
5.2.1 Diabetes e fibra alimentar.....	56
5.2.2 Fibra solúvel	57
5.2.3 Fibra Insolúvel.....	59
5.3 <i>Benefícios cardiovasculares</i>	59
5.4 <i>Cancro do colorretal</i>	60
6 Prespetivas Futuras	63
7 Bibliografia.....	65

Lista de Abreviaturas

- AACC- *American Association of Cereal Chemists*
- ADF- Fibra por detergente ácido
- AND- Ácido desoxirribonucleico
- AGCC- Ácidos gordos de cadeia curta
- AOAC- *Association of Official Analytical Chemists*
- AR- Amido resistente
- CCA- Comissão do *Codex Alimentarius*
- CCNFSDU- Comitê do *Codex* sobre nutrição e alimentos para usos dietéticos especiais
- CG- Carga glicêmica
- DM- Diabetes Mellitus
- EDTA- Ácido etilenodiamino tetra-acético
- EtOH- Etanol
- FA- Fibra alimentar total
- FAO- *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- FDA- *US Food and Drug Administration*
- FI- Fibra alimentar insolúvel
- FS- Fibra alimentar solúvel
- GLC- Cromatografia líquida-gasosa
- HDL-Lipoproteínas de alta densidade
- HG-Homogalacturano
- HM- Elevado grau de metoxilação (*High-Methoxyl*)
- HMWSDF- Fibra alimentar solúvel de alto peso molecular
- HPLC- Cromatografia líquida de alta precisão
- IG- Índice glicêmico
- IMC- Índice de massa corporal
- IOM- *Institute of Medicine*
- LDL- Lipoproteínas de baixa densidade
- LM- Baixo grau de metoxilação (*Low-Methoxyl*)
- LMWSDF- Fibra alimentar solúvel de baixo peso molecular
- ms- Massa seca
- NCDs- Doenças não comutáveis
- NDF- Fibra por detergente neutro
- NSP- Polissacáridos não-amido
- PRIG- Potencial de redução do índice glicêmico

RG- Ramnogalacturanos

SDFP- Fibra alimentar solúvel que precipita com EtOH 78%

SDFS- Fibra alimentar solúvel que não precipita com EtOH 78%

UE- União Europeia

WHO- *World Health Organization*

Índice de Figuras

- Figura 2.1-** Estrutura simplificada do polímero de celulose, formado por unidades consecutivas de glicose com ligações β -1,4, que lhe conferem uma estrutura linear. Modificado de: Xavier, 2005..... 13
- Figura 2.2-** Representação parcial da cadeia principal de arabinoxilano formada por unidades de xilose unidas por ligações do tipo β -1,4 com ligações do tipo α -1,3 e α -1,2 alternadas, a unidades de arabinose. Modificado de: <http://www.intechopen.com/books/food-industry/enzymes-in-bakery-current-and-future-trends>..... 14
- Figura 2.3-** Ilustração de uma fração da estrutura de β -glucano com ligações β -1,3 e uma ligação β -1,4 entre os monómeros de glicose que o compõem. Modificado de: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>. 15
- Figura 2.4-** Estrutura geral de uma pectina do tipo homogalacturano com dois grupos metoxilo por cada três grupos substituintes de hidroxilo, esta pectina tem assim um grau de esterificação baixo de apenas 40%, para poder gelificar é necessária a adição de iões divalentes como Ca^{2+} . Modificado de: <http://www.gate2biotech.com/dictionary.php?word=177>. 16
- Figura 2.5-** Ilustração simplificada da estrutura molecular do galactomanano que compõe a goma guar, consistindo em duas unidades de manose unidas por ligação do tipo β -1,4, e a com ligação α -1,6 a uma unidade de galactose (cadeia lateral). Modificado de: <http://cnx.org>..... 17
- Figura 2.6-** Estrutura molecular dos epímeros β -D-ácido manurónico e α -L-ácido gulurónico que constituem a cadeia principal de compostos alginatos extraídos de algas vermelhas (Phaeophyceae). Modificado: <http://www.monografias.com/trabajos12/alginato/alginato.shtml> ..19
- Figure 2.7-** Composição química das carrageninas kapa, iota e lambda. Estes polímeros diferem na quantidade de grupos substituintes sulfato, estes estão presentes em maior número em lambda, seguindo-se o tipo iota e por fim as carrageninas do tipo kapa que apresentam o menor número de substituintes sulfato. Lambda também é o único tipo que não apresenta unidades de 3,6-anidra-D-glicose. Modificado de: Falshaw *et al.*, 2001..... 19
- Figure 2.8 -** Representação simplificada da estrutura molecular da inulina. Modificado de: <http://www.sigmaaldrich.com/life-science/metabolomics/enzyme-explorer/learning-center/carbohydrate-analysis/carbohydrate-analysis-iii.html#Inulinase>..... 20
- Figure 2.9-** Representação da estrutura molecular da amilose, polímero de unidades de glicose unidos por ligações glicosídicas do tipo α -1,4. Modificado de: Campbell-Platt, 2009 21
- Figura 2.10-** Representação esquemática da molécula de amilopectina. A amilopectina é uma molécula de grande dimensão, com zonas de estrutura cristalina e zonas de estrutura amorfa. Nas zonas de estrutura cristalina verificam-se grupos de cadeia tipo A, estas apresentam uma estrutura curta, sem ramificações e em hélice, e ligações glicosídicas do tipo α -1,4. Nas zonas amorfas encontram-se as cadeias tipo B, estas são mais lineares, com ramificações e ligações glicosídicas do tipo α -1,6. A cadeia C é semelhante ao tipo de cadeia B mas apresenta uma terminação redutora. Modificado de: Sinnott, 2007. 27

Figura 2.11- Representação esquemática da estrutura da goma de xantana, apresentando a cadeia lateral ligada a uma glicose da cadeia principal, a cadeia lateral é formada por duas unidades de manose intercaladas por um ácido galacturónico. A manose ligada à cadeia principal tem um éster de ácido acético no sexto carbono. A manose no extremo da cadeia lateral está ligada a uma molécula de ácido pirúvico. Modificado de: http://openwetware.org/wiki/IGEM:IMPERIAL/2009/Encapsulation/Phase2/Xanthan_Gum. 28

Figura 2.12- Estrutura química da quitina, as unidades sucessivas de amiloglucosamidas apresentam ligações do tipo β -1,4 responsáveis pela sua estrutura linear. Modificado de: Borgognoni *et al.*, 2006. 28

Figure 2.13- Estrutura química da quitosana, por comparação à estrutura da quitina, mantém-se a estrutura linear, mas tem um menor número de grupos acetil e apresenta grupos amina resultantes da deacetilação. Modificado de: Borgognoni *et al.*, 2006. 25

Figure 2.14- Unidades fundamentais do polímero de carboximetilcelulose. Os monómeros apresentam ligações do tipo β -1,4. Modificado de: <http://www.holidymaterial.com/Carboxymethyl-Cellulose.html>. 26

Figure 2.15- Representação da estrutura fundamental da polidextrose, onde o grupo R pode ser ou um átomo de hidrogénio, uma unidade de sorbitol ou outra polidextrose. Modificado de: McCleary *et al.*, 2001. 27

Figure 2.16- Ilustração da estrutura molecular dos principais monómeros que compõem a lenhina. O p-cumálico não tem grupos metilo, p-coniferílico apresenta uma metoxilação e o p-sinapílico tem duas metaxolições. Modificado de: Xavier, 2005. 28

Figure 2.17- Representação de parte a estrutura molecular da lenhina. Modificado de: <http://www.sigmaaldrich.com/life-science/metabolomics/enzyme-explorer/analytical-enzymes/enzymes-for-aer.html>. 28

Figura 3.1- Representação esquemática do método desenvolvido por Prosky et al. (1985) para determinação de fibra alimentar (método AOAC 985.29/ AACC 32-05.01). 31

Figura 3.2- Representação esquemática do método AOAC 2009.01 para determinação de fibra alimentar. Legenda: EtOH-etanol; HMWDF-fibra alimentar de alto peso molecular; FA-fibra alimentar; AR-amido resistente; LMWDF- fibra alimentar de baixo peso molecular; NDO-oligossacáridos não digeríveis. Adaptado de McCleary 2007. 34

Figura 3.3- Representação esquemática do método AOAC 2011.25 para determinação de fibra alimentar. Legenda: EtOH-etanol; HMWDF-fibra alimentar de alto peso molecular; FA-fibra alimentar; AR-amido resistente; LMWDF- fibra alimentar de baixo peso molecular; NDO-oligossacáridos não digeríveis. Adaptado de McCleary 2012, Megazyme (<http://www.megazyme.com/>). 35

Figura 4.1- A) Imagem de um grão de trigo integral, B) Imagem de um grão de trigo integral aberto com exposição dos tecidos interiores, C) Representação esquemática do grão de trigo integral e estrutura interna. 1) pêlos do grão; 2) farelo; 3) camadas constituintes do farelo-pericarpo, testa e tecido nuclear; 4) aleurona; 5) endosperma, 6) escutelo e 7) embrião. Modificado de: <http://grain-gallery.de/en/wheat/images>; <http://athleanx.com/for-women/processed-food-health-claims-whole-grain>. 39

Índice de Tabelas

Tabela 3.1- Métodos AOAC, componentes que permitem quantificar e tipo de método analítico usado.	33
Tabela 4.1- Valores obtidos para cinco variedades de centeio cultivadas na Europa (Haute Loire, Nikita, Rekrut, Dankowskie Zlote, Amilo) quanto ao teor de FA, FS e FI determinados pelo método AOAC 994.13.Uppsala, para o grão de centeio integral e farinha de centeio refinada de cada variedade.	40
Tabela 4.2- Valores de FA, FS e FI de cinco variedades de trigo, três variedades de aveia, três variedades de cevada, uma variedade de centeio e duas de milho, cultivadas no Brasil. Determinadas pelo método AACC 35.05.....	42
Tabela 4.3- Valores de FA, FS e FI para feijão, grão, lentilhas e ervilha (lisa) cruas e sem processamento	45
Tabela 4.4- Composição de castanha de caju, amendoim, avelã, pistáchio, amêndoa, noz e semente de linhaça quanto ao teor de lípidos, glúcidos disponíveis e FA.	45
Tabela 4.5- Teor de FA, FI e FS em g/100 g massa seca de goiaba, anona, figo, pera, maçã, ameixa, ananás, romã, morango, banana, pêsego, uvas, laranja e melancia; pelo método enzimático-gravimétrico de Prosky.....	48
Tabela 4.6- Teores de FA, FS e FI para 7 tipos de algas –Nori, Hijiki, Wakame, <i>Ulva lactuta</i> , <i>Enteromorpha</i> spp., <i>Himantalia elongata</i> , <i>Eisenia Byciclis</i> (método enzimático-gravimétrico)..	50
Tabela 5.1- Valores de contribuição calórica (kcal) de consumo diário <i>per capita</i> de carnes, açúcar, leguminosas, raízes e tubérculos, trigo, arroz e gorduras vegetais, e variação registrada desde 1963 até 2003 em países em desenvolvimento e países industrializados.....	51

1 Introdução: História da Fibra Alimentar

Fibra é por definição “*Nome de filamentos delgados que, dispostos em feixes, constituem certas substâncias animais, vegetais ou minerais*”. Em meados do século dezassete o termo fibra começou a ser aplicado a substâncias de origem vegetal, mais concretamente constituintes da parede celular de células vegetais, caracterizadas por uma elevada resistência física e insolubilidade em meio aquoso, nomeadamente celulose e lenhina (Heller *et al.*, 1939; Trowell, 1977).

No século dezanove foi introduzido o termo de fibra bruta associado ao que seriam os primórdios de certificação da qualidade alimentar. Visto ser comum a adulteração de rações animais por incorporação de outros materiais não-alimentares, desenvolveram-se métodos relativamente empíricos e simples para avaliar a qualidade das rações. O método de eleição foi desenvolvido em 1859 por Henneberg e Stohmann, vindo mais tarde em 1864 a ser conhecido como o “método Weende”, consistia em três extrações consecutivas, na primeira era removida a fracção gorda da amostra usando dietil-éter como solvente, a segunda extração era efetuada com uma solução ácida diluída e por último uma extração com uma solução alcalina diluída. O resíduo final era seco, pesado e por fim determinado o teor da fibra bruta da amostra gravimetricamente (Trowell, 1977; Eliasson, 2006; Knudsen, 2001). O método Weende foi prontamente criticado por outros cientistas da época após uma análise detalhada dos resíduos resultantes, por apresentarem teores de lenhina e celulose bastante inferiores aos das amostras originais (Heller *et al.*, 1939).

Segundo Trowell, durante as duas últimas etapas ocorre uma perda de cerca de 80% do teor original de hemiceluloses, 50% a 90% de lenhina e entre 20% e 50% de celulose. O reconhecimento das fragilidades do método e inadequação para quantificar estes compostos, mais tarde transpostas para alimentação humana como sendo compostos não digeríveis, desencadeou um estudo mais focado nas questões biológicas e funcionais associadas à fibra e à alimentação de forma geral (Trowell, 1976; Zentner, 1965).

No início do século vinte começaram a ser publicados estudos referentes aos benefícios associados ao consumo de cereais integrais tendo por base o acompanhamento e avaliação de hábitos alimentares de populações do continente Asiático, como no Norte da Índia por McCarrison em 1920, e Africano, mais concretamente na África do Sul por Walker nos anos 40. Também nos Estados Unidos e Reino Unido entre os anos 20 e 50, eram levados a cabo estudos que estabeleciam uma correlação sólida entre o consumo de fibra e tratamento de obstipação devido aos efeitos laxativos observados com o aumento da ingestão de farelo de trigo, cereais e determinados exsudados de plantas como gomas. Estes estudos reconheciam claramente a não degradação destes constituintes durante a passagem pelo trato gastrointestinal humano, a sua contribuição para a formação de bolo fecal e a sua influência nos movimentos peristálticos intestinais, favorecendo o bom funcionamento geral do sistema digestivo (Oelgoetz *et al.*, 1936; Spiller, 2001).

Em 1953 Hipsley empregou pela primeira vez o termo “Fibra Alimentar” num artigo sobre a relação inversa entre a ocorrência de toxemia durante a gravidez e os níveis de ingestão de fibra alimentar. Neste artigo o termo fazia referência aos teores de lenhina, celulose e hemiceluloses presentes nos alimentos, ou seja, apenas incluía compostos de origem vegetal vistos como glúcidos não disponíveis (exceto a lenhina que não é classificada como glúcido devido à sua composição química). Esta primeira definição era de carácter físico (Hipsley, 1953).

Enquanto os estudos sobre os efeitos fisiológicos e possíveis fontes de fibra alimentar progrediam, o mesmo se verificava com o desenvolvimento de melhores metodologias analíticas dos referidos compostos. Por esta altura nos EUA a organização americana AOAC (*Association of Official Agricultural Chemists*, a atual *Association of Official Analytical Chemists*) tinha oficializado o método Weende para a determinação de fibra bruta em rações, apesar das limitações do método, e em 1963 adotou um novo método conhecido como o Método de Detergente Ácido para determinação de fibra e lenhina desenvolvido por Van Soest. O novo método permitia uma maior recuperação de celulose e lenhina apresentando assim resultados mais satisfatórios. Quatro anos mais tarde, em 1967, Van Soeste & Wine deram a conhecer o método do Detergente Neutro cujos valores finais de fibra eram muito superiores aos obtidos até então, por permitir um maior isolamento de celulose, hemiceluloses e lenhina. Este último foi aceite e oficializado pela AACC (*American Association of Cereal Chemists*). Apesar dos progressos analíticos as novas metodologias ainda apresentavam imperfeições, como a dificuldade na filtração e na remoção de amido e fracção proteica pelo método de detergente neutro, levando a uma nova alteração ao incluir uma digestão enzimática com recurso a α -amilase. Além disso estavam focadas apenas na quantificação de fibra segundo a definição mais arcaica e não contemplavam muitas das propriedades fisiológicas documentadas recentemente (McCleary *et al.*, 2001; Baker, 1977).

1.1 Definição de fibra alimentar ao longo dos tempos

Após introdução do termo “Fibra Alimentar” (FA) por Hiplsey em 1953, entre 1972 e 1976 surgia a “Hipótese da Fibra Alimentar” desenvolvida por Trowell, Burkitt, Walker e Painter entre outros colaboradores. Esta englobava várias hipóteses sobre os possíveis benefícios da ingestão de alimentos com elevados teores de celulose, lenhina e hemiceluloses, sobre muitas das doenças cardíacas, desordens metabólicas e doenças do sistema digestivo que predominavam no Ocidente, nomeadamente obstipação, doença diverticular, diabetes, cálculos biliares, colite ulcerosa, apendicites, cancro no intestino grosso e hemorróidas. A relação inversa entre a incidência de doenças “Ocidentais” e a ingestão de fibra alimentar passou a ser o postulado estabelecido pela Hipótese da Fibra Alimentar (Cho *et al.*, 2001; Tunland *et al.*, 2002; Spiller, 2001; DeVries *et al.*, 1999; DeVries, 2003; Trowell, 1976).

Trowell foi um dos pioneiros nos avanços sobre a FA, e, juntamente com o seu colaborador Burkitt publicou em 1975 o livro intitulado “*Refined Carbohydrate Foods and Disease*” (Alimentos de Glúcidos Refinados e Doença), esta obra era uma compilação das três décadas passadas na África Oriental onde constatou que as doenças intestinais tão comuns no Ocidente eram raras ou mesmo inexistentes entre os povos africanos, cuja alimentação era contrastante com a dos europeus e americanos relativamente às quantidades de fibra ingerida. Em 1976 o termo fibra alimentar havia sido redefinido para “polissacáridos de origem vegetal e lenhina, resistentes à hidrólise por enzimas alimentares humanas” passando assim a incluir uma maior variedade de compostos não constituintes da parede celular de células vegetais e que apresentavam uma maior solubilidade como gomas, mucilagens, celuloses modificadas, oligossacáridos, pectinas, e outros micro compostos como ceras, cutinas e suberinas. Muitas foram as obras e artigos publicados por estes e outros autores nos anos subsequentes, numa procura incessante de respostas que validassem as hipóteses apresentadas (DeVries *et al.*, 1999; Trowell, 1976; Lunn *et al.*, 2007).

Entre 1976 e 1981 alguns nomes destacaram-se no que diz respeito ao desenvolvimento de técnicas adequadas para determinar a porção de fibra alimentar nos alimentos, e identificar os respetivos constituintes segundo a definição de Trwoell, nomeadamente os suecos Asp & Johanson (1981), Aman & Theander (1978, 1979, 1982), Asp e colaboradores (1983), os suíços Schweizer & Wursch (1979), Southgate (1969, 1977, 1978) do Reino Unido e os americanos Van Soest & McQueen (1973), Van Soest (1978), Baker e colaboradores (1979), Furda e colaboradores (1979), Baker (1981), Furda (1981) e Heckman & Lane (1981), pois embora fossem reconhecidas as propriedades funcionais de muitos destes compostos, a sua determinação permanecia um desafio (DeVries *et al.*, 1999; DeVries, 2003; Tunland *et al.*, 2001). As novas metodologias consistiam na remoção dos componentes possíveis de serem hidrolisados enzimaticamente e absorvidos pelo corpo humano, contudo o facto das enzimas disponíveis comercialmente não corresponderem às existentes no sistema digestivo humano só por si já constituía uma limitação (DeVries, 2003).

Os métodos usados ainda não eram satisfatórios, era necessário chegar-se a um consenso tanto no que respeita às metodologias como à definição de FA, e foi nesse sentido que em 1979 Prosky e Harland iniciaram os seus estudos para desenvolver um método capaz de quantificar os valores totais de FA para posteriormente levarem a cabo um estudo de cooperação a nível mundial com o apoio da AOAC. O pretendido era conseguir compatibilidade entre o método, a definição e o desempenho fisiológico e químico dos compostos designados como FA, o novo método deveria ser capaz de mimigar o processo digestivo humano, ser possível de reproduzir em laboratórios externos com um nível de precisão aceitável, ser apropriado para procedimentos rotineiros de análise alimentar e aplicável a todos os tipos de matrizes alimentares (McCleary *et al.*, 2001; Tunland *et al.*, 2002; DeVries, 2003).

Neste sentido os vários congressos internacionais sobre nutrição começaram a incluir debates e *workshops* sobre FA, resultando em importantes avanços neste campo de investigação como o Congresso Internacional de Nutrição decorrido no Brasil em 1978, ou o *workshop* de 1981 organizado pela AOAC canadiana na cidade de Ottawa, Canadá, onde se havia estabelecido o primeiro consenso sobre o tema. Neste evento o método desenvolvido por Asp, Furda e Schweizer foi considerado o mais viável e, juntamente com Prosky, DeVries e Harland, o método foi adaptado e proposto a um estudo internacional que envolveu 43 laboratórios num total de 29 países e mais de 100 cientistas que decorreu entre 1981 e 1985 (DeVries *et al.*, 1999; DeVries, 2003). Finalmente em 1985 o método foi reconhecido como sendo o primeiro método para determinação de Fibra Alimentar Total em alimentos, denominado de Método Enzimático-Gravimétrico, tornando-se o método oficial da AOAC 985.29 e o método oficial da AACC 32-05. A palavra “endógeno” passou a fazer parte da definição de FA atualizada, em simultâneo com a adoção do novo método, para “componentes endógenos de matéria vegetal alimentar que são resistentes à digestão por enzimas produzidas por humanos” predominantemente polissacáridos não amidos com a inclusão de lenhina e possíveis substâncias associadas (Tunland *et al.*, 2002; DeVries, 2003).

Uma vez alcançado o objetivo inicial, as atenções voltavam-se agora para as frações solúvel e insolúvel da FA dada a sua importância fisiológica. O grau de solubilidade não era uma característica intrínseca aos compostos por depender das condições do meio como o pH e a concentração enzimática à semelhança do sistema digestivo humano, condições únicas e pouco viáveis de reproduzir em laboratório. O recurso a Etanol 78% (EtOH) para promover a separação de moléculas complexas de moléculas mais simples, era uma prática comum entre os analistas, visto que o método oficial não fazia referência a precipitação em EtOH nem à questão da insolubilidade. Entre 1985 e 1988 realizou-se outro estudo envolvendo vários cientistas que

culminou em 1991 com a oficialização de um novo método AOAC 991.42 Enzimático-Gravimétrico para determinação da Fibra Alimentar Insolúvel (FAI) em alimentos e produtos alimentares com tampão fosfato, equivalente ao método AACC 32-07 (DeVries, 2003; Tungland *et al.*, 2002).

A definição de FA segundo Trowell começou a ser posta em causa, pois o método deveria incluir todos os compostos da definição e a definição deveria estar concordante com as metodologias desenvolvidas, como a questão da solubilidade referida anteriormente. Para tal começaram a ser organizados mais encontros científicos de forma a manter o consenso internacional e, à luz dos resultados obtidos até então, manter a definição atualizada. O primeiro encontro teve lugar na Bélgica em 1992, do inquérito realizado aos 147 cientistas presentes, cerca de 95% concordara que a definição também deveria incluir oligossacáridos por apresentarem benefícios característicos de FA (principalmente o favorecimento da microflora bacteriana intestinal) e por passarem intactos até ao intestino grosso, neste encontro foi ainda levantada a questão se os polissacáridos de origem animal (como quitosana dos crustáceos e quitina presente em fungos e insetos) deveriam ser classificados como FA. Nesse mesmo ano a definição foi novamente alterada substituindo-se “componentes endógenos de matéria vegetal” por “componentes alimentares” - sem especificar a natureza dos mesmos, mas mantendo “normalmente não decompostos pelas enzimas produzidas pelo corpo humano”. No ano seguinte foi promovido um novo encontro decorrido em Itália. No inquérito realizado a questão de oligossacáridos como FA perdera apoiantes e muitos dos cientistas defendiam agora a inclusão de amido resistente (AR), uma vez que até à data o amido era visto com um polissacárido hidrolisado na totalidade pelas enzimas digestivas humanas, ignorando-se as alterações estruturais a que era sujeito durante o preparo de alimentos, dificultando a digestibilidade do mesmo (McCleary, 2003; NAC, 2001; Tungland *et al.*, 2002; DeVries, 2003).

Pouco depois, ainda em 1993, foi oficializado o método para determinar a fracção solúvel da FA, AOAC 993.16, resultando da alteração do método AOAC 991.42 onde o resíduo da filtração em vez de desperdiçado era recuperado e promovida a precipitação da Fibra Alimentar Solúvel (FAS) com EtOH 96%, seguida de uma filtração e quantificação gravimétrica (Tungland *et al.*, 2002; DeVries, 2003).

Os estudos laboratoriais continuaram com o objetivo de aperfeiçoar e simplificar os métodos existentes ou apenas para propor formas alternativas de obter os mesmos resultados. O trabalho conjunto dos cientistas Lee, Mongeau, Li e Theander foi validado através dos resultados obtidos num ensaio colaborativo e teve aprovação oficial, dando origem ao método AOAC/AACC 991.43 para Fibra Total, Solúvel e Insolúvel em tudo semelhante aos métodos anteriores à exceção do tampão usado, MES-TRIS em vez de tampão fosfato (DeVries, 2003; AACC, 2001). Estes não foram os únicos métodos oficializados, a AOAC aprovou ainda o método AOAC 992.16-Método Enzimático-Gravimétrico para Fibra Alimentar Total; AOAC 993.21-Método Não Enzimático-Gravimétrico para Fibra Alimentar Total em alimentos e produtos alimentares com menos de 2% de Amido; AOAC 994.13-Método de Cromatografia Gasosa-Colorimétrico-Gravimétrico (ou método Uppsala) para determinação de Fibra Total (resíduos de açúcares neutros, ácidos urónicos e lenhina de Klason) (DeVries, 2003).

Progressivamente as entidades internacionais foram adotando diferentes versões da definição de FA juntamente com os métodos previamente oficializados pela AOAC/AACC. Em 1995 a Comissão do Codex Alimentarius (CCA) estabeleceu a definição de FA como sendo “a parte edível de plantas ou animais, não hidrolisável por enzimas endógenas ao sistema digestivo humano, possível de quantificar segundo os métodos aprovados AOAC 985.29 & 991.43”. Na Dinamarca a definição resumia-se exclusivamente à fracção isolada pelos métodos AOAC

985.29&997.08, a China por sua vez adotou a definição “ a soma de componentes alimentares não digeridos por enzimas entéricas e absorvidos pelo organismo” sem referir o método aplicado. Também no Japão em 1996 o Ministério de Saúde e Bem-Estar oficializou a versão de FA com base no método AOAC 985.29 com a adição dos glúcidos não digeríveis de baixo peso molecular identificados por Cromatografia Líquida de Alta Precisão (HPLC) (Tungland *et al.*, 2002; AACC, 2001; NAC, 2001).

Mantendo a corrente de encontros, num *workshop* organizado pela AOAC em 1995 em Memphis, Tennessee, EUA, com o intuito de discutir e definir a análise de FA e glúcidos complexos, chegou-se por fim a acordo quanto à inclusão de oligossacáridos como FA, sendo necessária nova metodologia pois a atual não quantificava oligossacáridos importantes como fruto-oligossacáridos e polidextroses. O método para determinação de fruto-oligossacáridos foi desenvolvido em 1997 por Hoebergs num ensaio interlaboratorial organizado e oficializado pela AOAC, AOAC 997.08, o método foi incluído em várias definições de FA adotadas em 1998 por vários países europeus, nomeadamente Finlândia, cuja definição tinha como único critério o material resultante da aplicação dos métodos AOAC 8985.29&997.08; Noruega, que apresentou uma definição semelhante contudo sem fazer referência ao segundo método embora incluísse a especificação “e inulina e fruto-oligossacáridos” e a Suécia, cuja definição além de incluir os dois métodos salientava a não digestibilidade enzimática dos compostos no corpo humano (Tungland *et al.*, 2002; AACC, 2001; Hoebergs, 1997). A AOAC atualmente tem dois métodos para a determinação de fruto-oligossacáridos, AOAC 997.08 e AOAC 999.03, este último foi desenvolvido por Hoebergs&Prosky e aprovado através de um ensaio interlaboratorial em 1999, por esta altura estes compostos já haviam sido reconhecidos como FA por mais de 12 países da EU (Van der Kamp *et al.*, 2004; Niness, 1999).

No Reino Unido, em 1998, o Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentos optou pelo método Englyst como método oficial de classificação de FA, quantificando unicamente polissacáridos não amidos (NPS-*None Starch Polysaccharides*), ou seja, polissacáridos não α -glucanos como celulose, pectinas, glucanas, arabinogalactanos, arabinosilanos, gomas, mucilagens, inulina e quitina. A Fundação Britânica de Nutrição defendia que o termo de FA não era um conceito acessível aos consumidores, era pouco explícito quanto ao porquê da sua integração nos hábitos alimentares britânicos e quanto aos benefícios adjacentes, de facto a escolha do método Englyst prendia-se principalmente com questões de rotulagem e possibilidade de informar corretamente os consumidores, algo que parecia ter sido negligenciado por outras organizações até à data (McCleary, 2003; Tungland *et al.*, 2002; Phillips *et al.*, 2011). Contudo esta definição apenas contemplava características químicas e a não digestibilidade de determinados compostos, além disso a não concordância com os termos usados pelos restantes países europeus afetava a capacidade do consumidor de efetuar uma escolha informada por falta de coerência entre rótulos de produtos dentro da própria comunidade europeia, assim sendo em 1999 foi reconhecido o termo de FA e a sua definição como “material isolado pelos métodos AOAC985.29&997.08” (Phillips *et al.*, 2011; McCleary, 2003).

Dados os avanços nas metodologias e a diversidade de definições de FA existentes, em 1998 foi eleito um comité científico pela AACC, responsável por reavaliar e redefinir o conceito de FA. Foram organizados três *workshops* no decorrer de 1999. Uma primeira definição foi apresentada em junho de 1999 no primeiro *workshop* decorrido na cidade de Washington, EUA, que viria a ser revista e discutida em maior pormenor no segundo *workshop* realizado um mês mais tarde em Chicago, EUA. O terceiro e último *workshop* decorreu em novembro do mesmo ano, na cidade de Seattle, EUA, com o propósito de reunir mais informação sobre aspetos nutricionais, analíticos, regulatórios e fisiológicos da FA permitindo que em 2000 a AACC

atualiza-se a definição de FA para “parte edível de partes de plantas ou glúcidos análogos, que são resistentes à digestão e absorção no intestino delgado humano, sendo parcial ou completamente fermentados no intestino grosso humano” na definição foram incluídos quais os compostos considerados como FA e efeitos fisiológicos característicos da mesma, “Fibra Alimentar inclui polissacáridos, oligossacáridos, lenhina e substâncias vegetais associadas. A Fibra Alimentar promove benefícios fisiológicos incluindo efeitos laxativos, e/ou atenuação de colesterol sanguíneo, e/ou atenuação dos níveis de glicose no sangue”. Esta definição foi também adotada pela Autoridade Alimentar da Austrália e Nova Zelândia em 2001, juntamente com os métodos AOAC985.29&997.08. A AACC estabeleceu um marco em 2000 com a inclusão dos efeitos fisiológicos na definição de FA, que passaram a ser critério indispensável nas redefinições desenvolvidas em anos seguintes por diversas organizações. A definição englobava assim as características químicas, comportamento e benefícios fisiológicos da FA (DeVries, 2003; McCleary, 2003; Tunland *et al.*, 2002; Phillips *et al.*, 2011).

Entre as várias organizações do setor alimentar mundial a Comissão do *Codex Alimentarius* (CCA) tornou-se das mais notórias nos últimos anos da história da FA. Esta comissão fundada em 1963 pela FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) e WHO (*World Health Organization*) é uma referência de peso para os consumidores relativamente a questões de segurança alimentar, bem como para produtores e autoridades do setor alimentar no que diz respeito a normas internacionais de qualidade alimentar, boas práticas de produção no setor alimentar entre outras (Zielinski *et al.*, 2013).

O tema de FA passou a ser incorporado, a partir de 2002, nas sessões do Comité do Codex sobre Nutrição e Alimentos para Usos Dietéticos Especiais (do inglês *Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses*- CCFNSDU) organizadas anualmente pela CCA. Na 27ª sessão decorrida em 2005, foi elaborado um primeiro esboço da definição de FA, esta definição foi proposta em 2006 pela CCA, e contemplava todos os polímeros de carbono com mais de 3 monómeros (de forma a excluir intencionalmente mono e dissacáridos) não hidrolisáveis nem possíveis de absorver no intestino delgado humano, a definição reconhecia como FA glúcidos comestíveis que ocorrem naturalmente nos alimentos, bem como todos os polímeros de carbono possíveis de isolar física, enzimática ou quimicamente de matérias-primas alimentares, e incluía polímeros de carbono sintéticos que pudessem ser adicionados aos alimentos, e, tal como a AACC, esta proposta também mencionava as propriedades características da FA como a redução do tempo de trânsito intestinal, aumento do volume e maciez do bolo fecal, a ocorrência de fermentação pela microflora intestinal e os efeitos benéficos sobre os níveis de colesterol e glicose no sangue. Na definição apresentada pelo CCA o método para quantificação de FA era deixado ao critério das autoridades de cada país (Mehta, 2009; Lunn *et al.*, 2007; Phillips *et al.*, 2011).

Após a 28ª e 29ª sessões da CCFNSDU, decorridas respetivamente em 2006 e 2007, ainda não havia sido oficializada a definição de FA, pois na 28ª sessão as alterações propostas pelos países participantes, além de numerosas chegavam mesmo a ser contraditórias, e na 29ª sessão ficou acordado que a definição permaneceria sobre consulta internacional pois eram necessários mais dados científicos para se chegar a um consenso (Betteridge, 2009).

Finalmente na 30ª sessão da CCFNSDU em 2008 foi apresentada a primeira definição de FA pelo CCA, sendo oficializada no ano seguinte, esta definição era em tudo semelhante à versão anterior mas contava com algumas alterações. Segundo a definição oficial os polissacáridos considerados deveriam apresentar no mínimo dez monómeros e não somente 3, e tanto os polímeros possíveis de isolar física, enzimática ou quimicamente, como os polímeros sintéticos, tinham de apresentar benefícios fisiológicos para a saúde, comprovados e reconhecidos pelas

autoridades competentes para poderem ser considerados como FA (Bokone-Bophirima, 2011; Betteridge, 2009; Westenbrink *et al.*, 2013). A definição era acompanhada por duas notas complementares, a primeira referente a outros constituintes das plantas como a lenhina, compostos proteicos, compostos fenólicos, ceras, suberinas, cutinas, fito esteróis, entre outros, que por estarem quimicamente ligados a polissacáridos das paredes celulares vegetais, eram consequentemente isolados pelo método AOAC 991.43, e desta forma considerados como FA, mas se estes mesmos compostos fossem ou extraídos ou readicionados a alimentos que por natureza já apresentassem polissacáridos não digeríveis, deixariam de ser contabilizados na quantificação de FA apesar dos efeitos benéficos que lhes eram reconhecidos ao serem ingeridos juntamente com os polissacáridos; e a segunda nota complementar deixava a cargo das autoridades de cada país incluir ou não oligossacáridos na definição de FA (Mehta, 2009; Betteridge, 2009; Bokone-Bophirima, 2011; Westenbrink, 2013).

No ano de 2009 a definição foi reconhecida e adotada pela União Europeia, à qual se seguiram o Canadá, China, Austrália, Nova Zelândia e Coreia. Todos estes países incluíam oligossacáridos na definição de FA, já a África do Sul adotou esta mesma definição excluindo, contudo, os polímeros com menos de 10 monómeros, o caso do Chile era mais inusitado pois em termos de rotulagem considerava oligossacáridos como FA mas não lhes reconhecia qualquer benefício fisiológico para a saúde, e nesse sentido eram excluídos da definição (Westenbrink, 2013; DeVries, 2011).

Em 2010 a primeira nota complementar foi alterada para “certos métodos analíticos de Fibra Alimentar” deixando de referenciar especificamente o método AOAC 991.43, delegando também esta escolha às autoridades de cada país apesar da CCA já ter optado pelo método AOAC 2009.01-Método Enzimático Gravimétrico & Cromatografia Líquida de Alta Precisão, como método oficial a 7 de outubro de 2009 (DeVries, 2011).

O método AOAC 2009.01 foi desenvolvido propositadamente para ir ao encontro da definição da CCA. A sua oficialização resultou de um estudo interlaboratorial a nível internacional que contou com a participação de 18 laboratórios independentes, onde 8 matrizes diferentes foram analisadas quanto ao teor de fibra alimentar insolúvel (FI), solúvel (FS) e total (FA). O método AOAC 2009.01 separa os componentes da FA com base no seu peso molecular e solubilidade, isolando primeiro os compostos de elevado peso molecular gravimetricamente, de FI e FS, e identificando os constituintes da fração solúvel de baixo peso molecular por HPLC. Os resultados obtidos verificaram que o método era capaz de quantificar todos os constituintes referidos na definição da CCA e era concordante com os valores obtidos por outros métodos oficiais previamente aprovados pela AOAC&AACC. O método AOAC 2011.25 foi aprovado pouco tempo depois e é quase que uma extensão do método AOAC 2009.01. No método AOAC 2011.25 primeiramente é isolada a fração insolúvel (quantificada gravimetricamente) e depois a fração solúvel, os constituintes de FS são separados com base na capacidade de precipitar em etanol a 78%. A identificação dos constituintes de FS que precipita é feita gravimetricamente e a fração que não precipita é analisada por HPLC (DeVries, 2011; McCleary *et al.*, 2011).

A definição do CCA é em muito semelhante à definição desenvolvida uns anos antes pelo Instituto de Medicina Norte-Americano (*Institute of Medicine-IOM*) a pedido da Administração americana de Alimentos e Drogas (*US Food and Drug Administration – FDA*) em 2001, segundo a qual a fibra ocorria sob três formas, a fibra presente naturalmente nos alimentos, a fibra possível de isolar ou extrair de alimentos e a fibra sintética que podia ser incorporada nos alimentos. O primeiro tipo de fibra foi classificado pelo IOM como Fibra Alimentar propriamente dita, as restantes duas forma eram definidas como Fibra Adicionada, e a junção de ambas constituía a Fibra Total (FT) dos alimentos (Turner *et al.*, 2011; Jones *et al.*, 2006). A definição do IOM

destinava-se à aplicação nos EUA e Canadá permitindo uma uniformização do termo nestes países vizinhos, apesar de mais tarde o Canadá ter optado antes pela definição do CCA, e a principal diferença entre a definição do IOM e do CCA prende-se com a aplicação do termo “Alimentar”, pois segundo o CCA desde que os benefícios para a saúde decorrentes do consumo dos constituintes de fibra adicionada fossem comprovados cientificamente estes seriam classificados como FA, contudo de acordo com a definição apresentada pelo IOM toda a fibra que não é constituinte natural do alimento é referida como sendo “Adicionada” independentemente dos seus efeitos fisiológicos (Turner *et al.*, 2011; Codex Committee on Nutrition and Food for Special Dietary Uses, 26th session, 2004). Em 2002 o IOM atualizou a definição, completando-a, a FA passou a incluir lenhina além dos restantes glúcidos indigeríveis, e o termo “Adicionada” foi substituído por “Funcional”, na nova definição a Fibra Funcional (FF) referia-se aos glúcidos não digeríveis e possíveis de isolar, e incluía os benefícios fisiológicos decorrentes do seu consumo, a definição de FT permaneceu inalterada e até à data a definição do IOM mantém-se a mesma e com aplicação exclusiva nos EUA (Turner *et al.*, 2011; Health Canada, 2010).

Apesar de já terem sido oficializadas definições para a FA e métodos respetivos de quantificação, existem ainda questões geradoras de discordâncias em termos de rotulagem e teores de FA em alimentos bem como os benefícios a estes associadas referente ao teor, tipo e qualidade de FA. Questões como a inclusão ou não de oligossacáridos da definição de FA e o reconhecimento de outros compostos como fontes de FA nomeadamente polímeros de origem animal e outros polímeros sintéticos comestíveis. A história da FA iniciada em 1953 por Hiplsey será continuada acompanhando o desenvolvimento tecnológico da indústria alimentar. Os quadros seguintes contêm as principais definições de FA.

União Europeia (UE, 2008):

Fibra Alimentar: consiste em glúcidos não digeríveis e lenhina.

São considerados como fibra alimentar:

- Polissacáridos não-amidos - celulose, hemiceluloses, pectinas e hidrocolóides (ex.: gomas, mucilagens, β -glucanos)
- Oligossacáridos resistentes- fruto-oligossacáridos, galaco-oligossacáridos e restantes
- Amido resistente - contido em estruturas vegetais intactas, grânulos de amido cru, amilose retrogradada e amido físico /quimicamente modificado.
- Lenhina associada a compostos de fibra alimentar

Institute of Medicine (IoM, 2005):

Fibra Alimentar: glúcidos não digeríveis e lenhina (celulose, hemiceluloses, β -glucano, pectinas, gomas, mucilagens, amido resistente, inulina e oligossacáridos).

Fibra Funcional: glúcidos não digeríveis possíveis de isolar por meios químicos ou enzimáticos ou através da solubilidade dos compostos, com benefícios para a saúde humana. Estão incluídos oligossacáridos sintéticos ou oligossacáridos naturais extraídos de alimentos e amido resistente. Polissacáridos naturais ou oligossacáridos naturais obtidos de alimentos e que foram modificados (ex.: reduzir a cadeia do polímero ou diferente arranjo molecular). Estão excluídos mono e dissacáridos não digeríveis e polióis, alguns amidos resistentes, glúcidos de origem animal não-digeríveis

Fibra Alimentar Total: soma de fibra alimentar e fibra funcional

Canadá (2012):

Fibra Alimentar: consiste em glúcidos com grau de polimerização superior ou igual a 3, que ocorrem naturalmente em alimentos de origem vegetal, e não são digeríveis nem absorvidos no intestino delgado, incluindo fibras sintéticas alimentares.

Fibras sintéticas alimentares: ingredientes produzidos para serem uma fonte de fibra alimentar e consistem em glúcidos com grau de polimerização igual ou superior a 3, que não são digeríveis nem absorvidos no intestino. São compostos sintéticos ou obtidos de fontes naturais sem registo prévio de uso como fibra alimentar ou processados de forma a modificar o conteúdo de fibra do alimento. Fibras sintéticas devem ter pelo menos um efeito fisiológico comprovado cientificamente.

Reino Unido (UK, 1991):

Polissacáridos não-amido: Polissacáridos sem ligações do tipo α -glucanos. Inclui celulose, polissacáridos como pectinas, β -glucanos, arabinogalactanos, arabinosilanos, gomas, mucilagens, inulina, goma guar, quitina. Quantificáveis pelo método Englyst.

Codex Alimentarius (2009):

Fibra alimentar consiste em glúcidos¹ com 10 ou mais monómeros², que não são hidrolisados por enzimas endógenas ao intestino delgado de humanos e pertencem às seguintes categorias:

- Polímero de monossacáridos comestíveis que ocorram naturalmente em alimentos prontos para consumo;
- Polímeros de monossacáridos que foram obtidos de alimentos no seu estado bruto por meios físicos, enzimáticos ou químicos, e que tenham demonstrado efeitos fisiológicos benéficos para a saúde segundo provas científicas aceites pelas autoridades competentes;
- Polímeros de monossacáridos sintéticos que tenham demonstrado efeitos fisiológicos benéficos para a saúde segundo provas científicas aceites pelas autoridades competentes.

Notas de rodapé:

¹ Quando de origem vegetal, a fibra alimentar inclui frações de lenhina e/ou outros componentes associados aos polissacáridos da parede celular das células vegetais, e se estes compostos foram quantificados pelo método gravimétrico AOAC para análise de fibra alimentar: Frações de lenhina e outros compostos (frações proteicas, compostos fenólicos, ceras, fitatos, cutinas, fito-esteróis, etc.) intimamente “associados” com polissacáridos vegetais são usualmente extraídos com os polissacáridos no método AOAC 991.43. Estas substâncias estão incluídas na definição de fibra alimentar quando efetivamente associadas à fração de poli e oligossacáridos da fibra. Contudo, quando extraídas ou até reintroduzidas no alimento que contenha polissacáridos não digeríveis, não são definidas como fibra alimentar. Quando combinadas com polissacáridos, estas substâncias associadas podem fornecer efeitos benéficos adicionais (adoção pendente da Secção de Métodos de Análise e Amostragem).

² Decisão de incluir glúcidos de 3 a 9 monómeros deve ser deixada às autoridades nacionais.

2 Componentes da Fibra Alimentar

2.1 Fibra Alimentar

A Fibra Alimentar consiste num grupo extremamente heterogéneo de compostos. Todos os constituintes, à exceção da lenhina, são polissacáridos pertencentes ao grupo dos glúcidos como pectinas, mucilagens, hemiceluloses, gomas, celulose e em alguns casos também os oligossacáridos, amido resistente e polissacáridos não vegetais são contemplados na definição de FA (Belitz *et al.*, 2009; Lunn *et al.*, 2007; Gibney *et al.*, 2009; Coultate, 2002).

Os oligossacáridos resultam da formação de ligações glicosídicas entre 2 (dissacáridos) a 10 monómeros. Enquanto os dissacáridos representam uma fonte de energia para o Homem, os oligossacáridos com mais de três monómeros, inclusive, não são hidrolisáveis pelas enzimas endógenas do sistema digestivo. Na sua composição podem ser agrupados em fruto-oligossacáridos, cujo monómero predominante é frutose; galacto-oligossacáridos constituídos maioritariamente por unidades de galactose; e mano-oligossacáridos por serem polímeros de manose, entre outros dependendo de qual o monómero predominante. Estes compostos são abundantes em leguminosas e sementes (Lunn *et al.*, 2007; Cui, 2005).

A razão da polémica em volta da aceitação de polímeros entre 3 e 10 monómeros de origem vegetal como FA, não advem da sua reconhecida indigestibilidade, mas por não se verificarem os efeitos característicos de FA. Ao passarem intactos para o intestino grosso são fermentados na totalidade pela microflora intestinal, desta decomposição resulta hidrogénio, dióxido de carbono, metano, lactato e ácidos gordos de cadeia curta como o ácido etanoico e ácido butanóico. Devido a esta decomposição os oligossacáridos não contribuem para a formação do bolo fecal e os ácidos gordos de cadeia curta resultantes são produzidos em quantidades insuficientes para surtirem efeitos significativos (Wenzel de Menezes *et al.*, 2013; Mann *et al.*, 2002; Belitz *et al.*, 2009; Cui, 2005; Gibney *et al.*, 2009).

Os polissacáridos são polímeros de alto peso molecular constituídos por centenas ou mesmo milhares de monómeros, não apresentam sabor doce como os glúcidos mais simples, mas são determinantes na texturização de alimentos e responsáveis por características como a viscosidade e consistência, e, tal como os oligossacáridos, podem ser ou não uma fonte de energia para o Homem. Podem ser homopolissacáridos, se forem constituídos por um único tipo de monómero, ou heteropolissacáridos, caso tenham mais de um tipo de monómero na sua composição. A diversidade de compostos deste grupo resulta do tipo de ligações glicosídicas que se podem formar além das infinitas combinações e sequências de monómeros possíveis de serem estabelecidas, podem apresentar uma estrutura linear ou ramificada e podem ainda ser compostos neutros (apenas monossacáridos) ou aniónicos (além de monómeros apresentam ácidos urónicos na sua composição) (Cui, 2005; Lunn *et al.*, 2007; Gibney *et al.*, 2009).

Devido à diversidade de substâncias que compõem a FA esta pode ainda ser subdividida em FS e FI consoante o comportamento físico destes compostos em meio aquoso (Spiller, 2001).

2.2 Fibra Insolúvel

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 polissacáridos 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 (Cho *et al.*, 1999, McCleary *et al.*, 2001; Spiller, 2001). Fazem parte da FI a celulose, lenhina, algumas hemiceluloses e polissacáridos sintéticos (Cho *et al.*, 1999).

2.3 Fibra Solúvel

A fração solúvel de FA é composta por β -glucanos, gomas e mucilagens, pectinas e alguns tipos de hemiceluloses como arabinoxilano, polissacáridos sintéticos e polissacáridos 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 monómeros 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. Polissacáridos de menor peso molecular também são mais solúveis em meio aquoso, a presença de grupos funcionais polares (ex. COO^- e SO_3^-) também favorece fortemente a sua solubilidade (Cho *et al.*, 1999; Wursch *et al.*, 1997; 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 (Cho *et al.*, 1999; McCleary *et al.*, 2001). Os géis resultam principalmente de uma reordenação estrutural molecular dos polissacáridos, formando-se uma matriz tridimensional, devido ao estabelecimento de ligações entre as moléculas e pontes de hidrogénio com moléculas de água (Cho *et al.*, 1999). 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 *et al.*, 2007).

2.4 Polissacáridos vegetais não digeríveis

2.4.1 Celulose

A celulose é o principal componente estrutural de plantas, algas verdes e fungos, é um dos compostos orgânicos mais abundantes do planeta com inúmeras aplicações a nível industrial, quer para a produção de papel, madeiras ou como fonte de bioenergia. Este homopolissacárido de glicose apresenta ligações β -1,4 entre os monómeros (Fig. 2.1), e pontes de hidrogénio entre os grupos hidróxilo das unidades consecutivas de glicose. Estruturalmente a molécula é linear sem ramificações com uma conformação rígida e inflexível. As cadeias justapostas de celulose encontram-se ligadas entre si por pontes de hidrogénio e forças de Van der Waals que se estabelecem entre os monómeros das respetivas cadeias, originando estruturas fibrosas denominadas de microfibras cujo diâmetro é cerca de 25 nm. Estas fibras encontram-se densamente compactadas e são responsáveis pela extrema resistência mecânica dos tecidos que compõem, são resistentes à degradação biológica, hidrólise ácida e alcalina e insolúveis em água, contudo apresentam uma elevada capacidade de retenção de moléculas de água graças à abundância de grupos hidróxilo presentes na sua constituição. Apesar da organização estrutural de carácter cristalino existem zonas ditas “amorfas” que representam cerca de 15% da composição grupos hidróxilo das unidades de glicose, que quando desidratadas podem cristalizar. Quando em soluções alcalinas ou ácidas diluídas, é nestas zonas amorfas que ocorre hidrólise de ligações e formam-se microcristais de celulose, estes microcristais continuam a ser insolúveis em água e apresentam um grau variável de polimerização. O organismo Humano não produz celulasas que possam hidrolisar este polímero e não há fermentação do mesmo no intestino grosso. A celulose é excretada intacta no bolo fecal (Cho *et al.*, 1999; Belitz *et al.*, 2009).

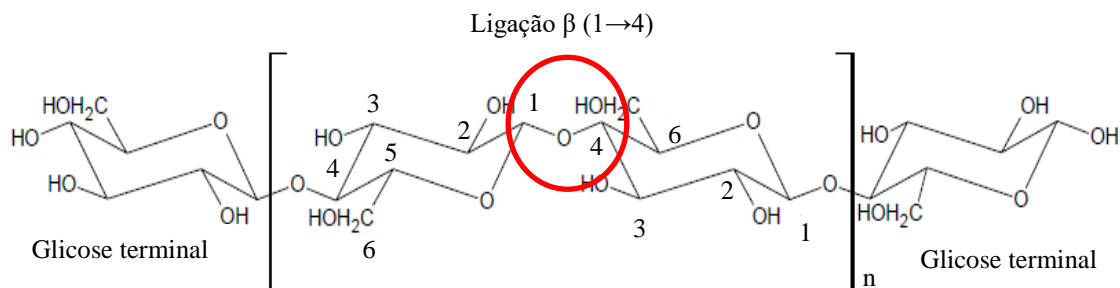


Figura 2.1- Estrutura simplificada do polímero de celulose, formado por unidades consecutivas de glicose com ligações β -1,4, que lhe conferem uma estrutura linear. Modificado de: Xavier, 2005.

Apenas alguns herbívoros conseguem ter a celulose como uma fonte nutricional de energia graças a microrganismos simbióticos no rúmen (um dos quatro estômagos do aparelho digestivo de herbívoros) capazes de a hidrolisar. Na indústria alimentar a celulose (quer na sua estrutura fibrosa, de microcristais de celulose ou sob outras formas modificada) é amplamente usada em produtos dietéticos de baixo valor calórico e devido à sua capacidade de retenção de água contribuem para a texturização dos alimentos, desde de gelados a molhos mas principalmente na indústria de panificação (Cho *et al.*, 1999; Belitz *et al.*, 2009; Stephen *et al.*, 2006).

2.4.2 Hemiceluloses

As paredes celulares são formadas por uma mistura complexa e diversificada de polissacáridos entre os quais se encontram as hemiceluloses. Presentes nos espaços intramoleculares das microfibras de celulose são como que o “cimento” da parede celular pela forma como conectam os restantes componentes estruturais ao estabelecerem ligações covalentes com a lenhina, pontes de hidrogénio com as microfibras de celulose e ligações éster com ácidos hidróxicinâmicos. A denominação não se refere a um único composto mas a um conjunto de substâncias com composições muito variadas, têm como monómeros predominantes a galactose, glucose, arabinose, xilose, ramnose e manose. São maioritariamente moléculas ramificadas, de peso molecular inferior ao da celulose, cujo nome é atribuído com base no monómero mais abundante do polímero, e são referidas como “pentosanas” por conterem principalmente pentoses. Estas são mais abundantes em cereais como trigo e centeio, ou como β -glucanas para polímeros de hexoses mais comuns na cevada e aveia. O xilano é uma das hemiceluloses mais abundantes na parede celular e, tal como o nome indica, é um polímero que tem a xilose como monómero predominante (Belitz *et al.*, 2009; Cho *et al.*, 1999; Gatenholm *et al.*, 2003).

Arabinoxilano é uma das hemiceluloses frequentemente encontradas em cereais, principalmente trigo mas também em cereais de aveia, centeio, entre outros. O arabinoxilano é um heteropolissacárido composto por uma cadeia principal de monómeros de xilose com ligações glicosídicas do tipo β -1,4, e pequenas ramificações laterais compostas por monómeros de arabinose cujas ligações à cadeia principal são do tipo α -1,2 e α -1,3 (Fig. 2.2). Este polímero pode ser mais ou menos solúvel em água dependendo do rácio de xilose-arabinose, quanto maior o número de substituintes de arabinose na cadeia principal maior será a solubilidade do arabinoxilano em meio aquoso. O arabinoxilano tem vindo a ser alvo de uma maior atenção por parte da indústria alimentar pelo facto de ser um polímero abundante nos cereais, acessível, com potenciais benefícios para a saúde e ainda como polímero integrante de biofilmes usados para formulação de embalagens comestíveis (é uma boa barreira contra oxigénio e dióxido de carbono) (Debyser *et al.*, 1997; Peroval *et al.*, 2004).

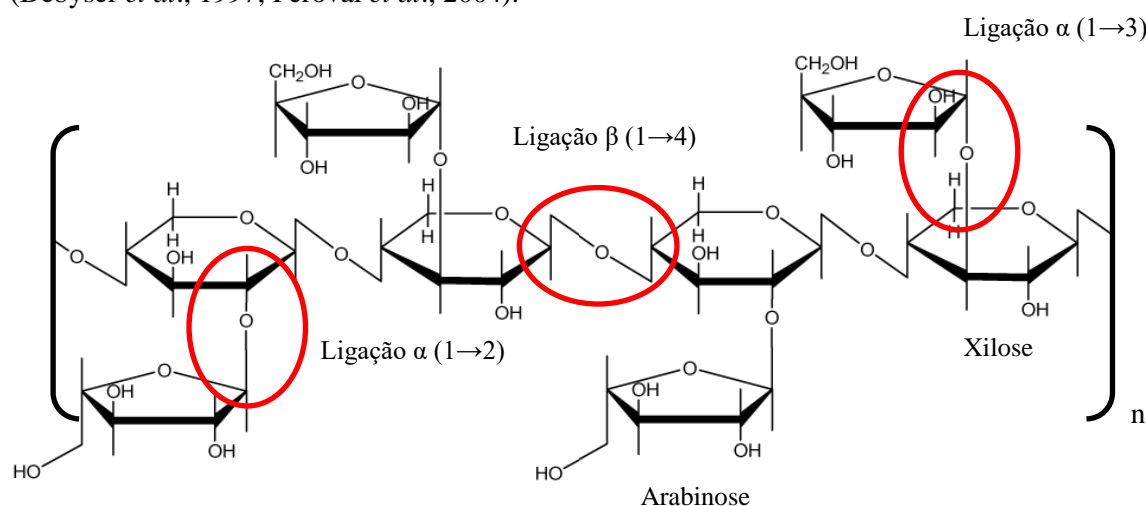


Figura 2.2- Representação parcial da cadeia principal de arabinoxilano formada por unidades de xilose unidas por ligações do tipo β -1,4 com ligações do tipo α -1,3 e α -1,2 alternadas, a unidades de arabinose. Modificado de: <http://www.intechopen.com/books/food-industry/enzymes-in-bakery-current-and-future-trends>

Os β -glucanos são outro exemplo de hemiceluloses cuja popularidade tem vindo a aumentar nos últimos anos, são constituintes estruturais de bactérias, parede celular de fungos e plantas e, consoante a sua origem, podem apresentar diferentes propriedades em termos de estrutura, atividade biológica, ramificações, e até solubilidade. O β -glucano de origem vegetal é significativamente solúvel em água formando soluções viscosas e está presente em maior quantidade em cereais de aveia e centeio comparativamente aos cereais de trigo. O β -glucano é um homopolissacárido linear de unidades de glicose, as ligações podem ser do tipo β -1,3; β -1,4 e menos frequentemente β -1,6. As ligações do tipo β -1,3 são mais comuns em β -glucanos de bactérias e algas, β -1,3 e β -1,6 em leveduras (como *Saccharomyces cerevisiae*) e cogumelos, e ligações do tipo β -1,3 e β -1,4, em cereais de aveia e cevada (Fig. 2.3). A ocorrência de ligações diferentes torna a molécula mais flexível e permite uma maior solubilidade em meio aquoso. As hemiceluloses sofrem uma fermentação mais extensa no intestino grosso, e são compostos adjuvantes quando se trata de texturização de alimentos pela sua solubilidade (Cho *et al.*, 1999; Gatenholm *et al.*, 2003; Talbott *et al.*, 2013; Theuwissen *et al.*, 2008).

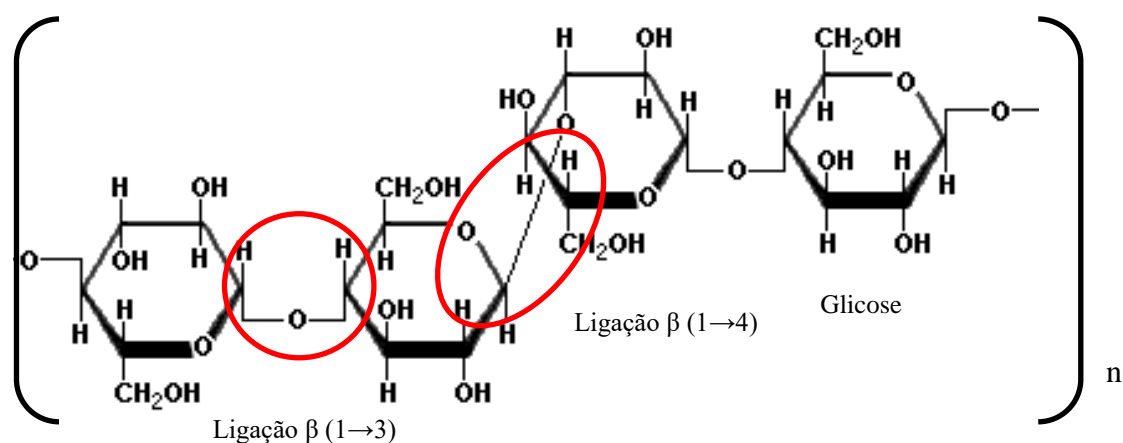


Figura 2.3- Ilustração de uma fração da estrutura de β -glucano com ligações β -1,3 e uma ligação β -1,4 entre os monómeros de glicose que o compõem. Modificado de: <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>.

2.4.3 Pectinas

Além da celulose, lenhina e hemiceluloses, também as pectinas são parte integrante da estrutura das paredes celulares. Presentes em maior quantidade em frutas e tecidos vegetais jovens apresentam-se sob a forma de protopectinas na fase inicial de desenvolvimento dos tecidos. Enquanto protopectinas contribuem para a adesão celular, rigidez estrutural de tecidos que compõem, transporte e retenção de água e determinam em parte o tamanho dos poros das paredes celulares (Seymour *et al.*, 2002; Visser *et al.*, 1996).

As protopectinas são substâncias de baixa solubilidade em água, contudo esta aumenta significativamente durante o amadurecimento das frutas ou desenvolvimento vegetal como resultado da hidrólise enzimática levada a cabo por protopectinases e pectinesterase, originando alterações físicas estruturais responsáveis pela perda de textura e amaciamento dos alimentos, como se pode observar na fruta madura (Seymour *et al.*, 2002; Campbell-Platt, 2009).

A ação enzimática sobre protopectinas leva à obtenção de um conjunto bastante diversificado de substâncias pécticas, que consistem em heteropolissacáridos compostos maioritariamente por

ácidos galacturónicos com ligações do tipo α -1,4, diferindo entre si quanto ao grau de esterificação e número de metoxilações. As substâncias pécnicas dividem-se em três tipos, ácidos pécnicos, sem metoxilações; ácidos pectínicos, apresentam metoxilações e podem ser ou não solúveis em água; e pectinas, um subgrupo de ácidos pectínicos solúveis em água e com propriedades gelificantes (Belitz *et al.*, 2009; Campbell-Platt, 2009). As pectinas têm uma grande procura por parte da indústria alimentar, são extraídas principalmente da casca de frutos cítricos e bagaço de maçã, e usadas como espessantes e gelificantes na produção de geleias, compotas, iogurtes e gelados, entre outros produtos alimentares (Belitz *et al.*, 2009).

Estruturalmente as pectinas podem ser divididas em homogalacturanos (HG), ramnogalacturanos I (RG-I) e II (RG-II), e pectinas com cadeias laterais constituídas por diferentes monossacáridos como arabinose, xilose - xilogalacturanos (XGA) e apiose - apiogalacturanos (AGA), entre outros (Belitz *et al.*, 2009; Caffall *et al.*, 2009).

HG é a pectina mais abundante e apresenta uma estrutura linear de ácidos galacturónicos com ligações do tipo α -1,4 e um reduzido número de metoxilações, sendo por isso também a menos solúvel, e consoante a espécie vegetal pode ter grupos acetoxi no C2 e C3 (Ridley *et al.*, 2001; Caffall *et al.*, 2009; Visser *et al.*, 1996). RG-I é o segundo tipo de pectina mais abundante, a cadeia principal é constituída por uma sequência alternada de unidades de ramnose e de ácidos galacturónicos com ligações do tipo α -1,4 e α -1,2 respetivamente, as unidades de ramnose podem apresentar cadeias laterais compostas por unidades de galactose, arabinose ou galatose, e também podem ter grupos acetoxi no C2 e C3. RG-II não tem a mesma estrutura que RG-I, é bastante distinta apresentando uma cadeia principal de α -1,4 ácidos galacturónicos, com duas cadeias de açúcares ligadas ao C2 e outras duas cadeias ligadas ao C3 (Visser *et al.*, 1996; Seymour *et al.*, 2002; Ridley *et al.*, 2001).

A capacidade de formar géis está dependente do grau de esterificação das pectinas, quanto maior o número de grupos metoxilo maior a sua capacidade de formar géis estáveis. São classificadas como pectinas de elevada esterificação se apresentarem $\geq 50\%$, das unidades de ácidos galacturónicos com grupos metóxilo (High-Methoxyl, HM), caso apresentem uma quantidade inferior são classificadas como de baixa esterificação (Low-Methoxyl, LM) (Fu *et al.*, 2001). Para pectinas HM é necessário um meio com pH ácido entre 2,5 e 3,0, e elevada concentração de açúcar variando entre 58% e 75%, para pectinas LM apenas é necessária a adição de iões divalente como Ca^{2+} , tendo por isso uma maior aplicação em produtos dietéticos e de baixo teor calórico. A figura 2.4 ilustra a estrutura molecular de uma pectina LM (Belitz *et al.*, 2009; El-Nawawi *et al.*, 1995).

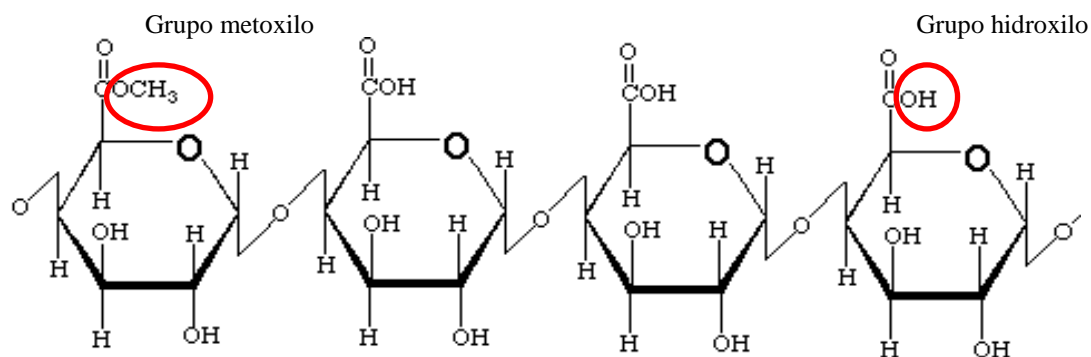


Figura 2.4- Estrutura geral de uma pectina do tipo homogalacturano com dois grupos metoxilo por cada três grupos substituintes de hidroxilo, esta pectina tem assim um grau de esterificação baixo de apenas 40%, para poder gelificar é necessária a adição de iões divalentes como Ca^{2+} . Modificado de: <http://www.gate2biotech.com/dictionary.php?word=177>.

2.4.4 Gomas

As gomas podem ser sintéticas ou naturais, de origem animal ou vegetal. As gomas de origem vegetal são maioritariamente exsudados de plantas (fluido resultante da filtração da seiva ao atravessar os tecidos da planta para o exterior, quando ocorre um fissura ou dano resultante da ação de insetos ou condições do meio envolvente) mas também incluem constituintes das paredes celulares de sementes e substâncias extracelulares. Gomas de origem animal podem ser segregadas por microrganismos ou ser parte integrante do exo-esqueleto de insetos e crustáceos (Coultate, 2002; Hui, 2005).

As gomas são polissacáridos extremamente complexos e destacam-se pela capacidade única de tornar soluções aquosas em meios de elevada viscosidade, de tal forma que impedem a mobilidade das moléculas de água podendo levar à formação de géis. O grau de viscosidade das gomas varia com a concentração destas em meio aquoso (embora não de forma linear) e é igualmente afetada pela presença de outras substâncias (ex. iões), temperatura, pH do meio entre outros fatores. Devido às suas características como agentes espessantes, estabilizadores e emulsionantes apresentam inúmeras aplicações a nível industrial inclusive no setor alimentar, onde as gomas mais usadas são de origem vegetal como goma guar, *psyllium*, goma arábica (exudado), gomas extraídas de algas como agar, carrageninas e alginatos, e de origem animal como goma xantana resultante de atividade bacteriana (Coultate, 2002; Hui, 2005).

A goma guar é das gomas com maior aplicação na indústria alimentar. Pertencente ao grupo dos galactomananos destaca-se pela sua elevada viscosidade comparativamente a outras gomas deste grupo como a goma de alfarroba e fenacho. Os galactomananos são polissacáridos de manose e glicose que, tal como o amido, constituem reservas energéticas de plantas. A goma guar é um dos constituintes do endosperma das sementes (leguminosas) de *Cyamopsis tetragonoloba*, a cadeia principal é formada por unidades de manose com ligações do tipo β -1,4 e ramificações espaçadas de unidades de galactose com ligações α -1,6 (Fig. 2.5), o rácio molar de galactose: manose é cerca de 1,0:1,6 – 1,8 (Belitz *et al.*, 2009; Hui, 2005; Spiller, 2001). Na indústria alimentar é usada na produção de molhos de saladas e gelados como estabilizador e espessante, na panificação permite prolongar a validade dos produtos (Belitz *et al.*, 2009; Campbell-Platt, 2009).

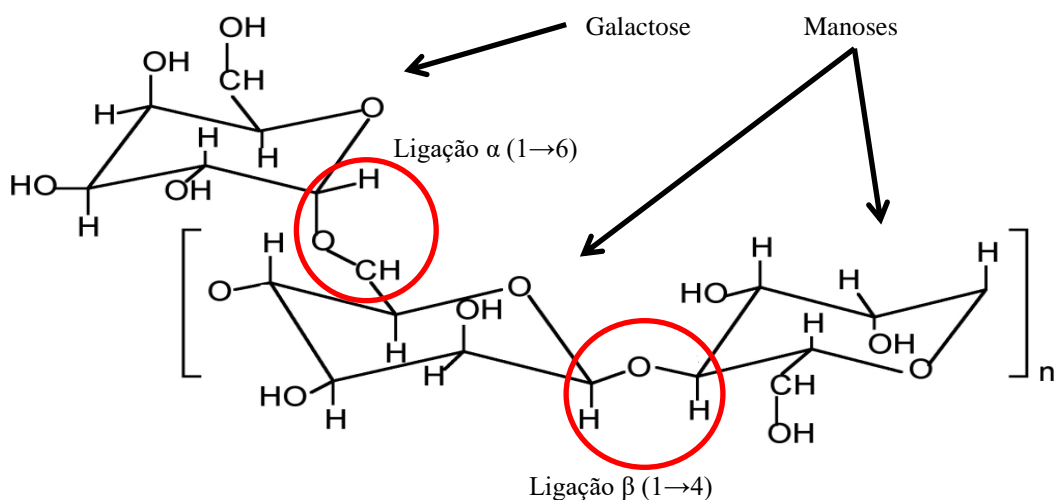


Figura 2.5- Ilustração simplificada da estrutura molecular do galactomanano que compõe a goma guar, consistindo em duas unidades de manose unidas por ligação do tipo β -1,4, e a com ligação α -1,6 a uma unidade de galactose (cadeia lateral). Modificado de: <http://cnx.org>

Psyllium é uma mucilagem extraída da casca de sementes de *Plantago* genus, *psyllium* é uma mistura de polissacáridos composta por xilanos, polímeros de xilose com ligações β -1,3 e β -1,4 com cadeias laterais constituídas por unidades de xilose e arabinose. Esta goma forma géis muito viscosos sendo usado na indústria alimentar como espessante e estabilizador em diferentes tipos de alimentos desde chocolates, bebidas, cereais e geleias (Hui, 2005; Cho *et al.*, 2001).

Goma arábica, obtida das árvores do tipo Acácia, é constituída por um polissacárido de baixo peso molecular composto maioritariamente por monómeros de galactose, arabinose, ramnose, ácidos glucurónicos e por uma glicoproteína de elevado peso molecular. O elevado número de ramificações torna esta molécula altamente solúvel em água contudo apresenta reduzida viscosidade. Na indústria alimentar é usada como estabilizante de emulsões em bebidas e refrigerantes, e encapsulamento de aromas para produtos alimentares secos, já na indústria da panificação o seu uso previne a cristalização de açúcares e auxilia à emulsificação dos componentes lipídicos. Por ser resistente a pH's ácidos é usada como aditivo alimentar de pastilhas elásticas e rebuçados, óleos alimentares aromatizados, refrigerantes, sopas em pó e sumos concentrados. A goma arábica não é assimilada pelo organismo humano (Yadav *et al.*, 2007; Hui, 2005; Cho *et al.*, 1999).

Das algas é possível obter diferentes tipos de gomas como o agar, carrageninas e alginatos, compostos já conhecidos há muito da indústria alimentar pela sua capacidade de formar coloides. Agar pode ser extraído simplesmente com água quente de algas vermelhas (*Rhodophytaceae*), consiste numa mistura de polissacáridos presente nas paredes celulares de algas cuja cadeia principal é por norma linear e composto por unidades alternadas de β -3-D- galactose e 3,6-anidra- α -4-L- galactose, este último monómero pode apresentar variações consoante os seus substituintes como ésteres de sulfato, grupos metil e até outros monossacáridos. O gel de agar forma-se por estabelecimento de pontes de hidrogénio entre as cadeias de galactose, quanto maior o número de monómeros de L-galactose ao longo da cadeia, e quanto menor o número de substituintes de ésteres de sulfato, melhor será a capacidade gelificante do agar. O agar-agar ou apenas agar, é usado na indústria alimentar como espessante e pode surtir efeitos laxativos quando ingerido em grandes quantidades (Phillips *et al.*, 2009; Mouradi-Givernaud *et al.*, 1992; Usov, 1998).

Alginatos são uma família de heteropolissacáridos produzidos por algas castanhas (*Phaeophyceae*), são compostos estruturais conferindo resistência e flexibilidade aos tecidos das algas. Os polímeros são constituídos por dois tipos de ácidos urónicos que são epímeros entre si, ácidos manurónico com ligações β -1,4 e ácidos gulurónicos de ligações α -1,4 (Fig. 2.6) são polímeros sem ramificações e a sequência dos seus monómeros é variável entre os alginatos, são usados na indústria alimentar devido à capacidade de retenção de água, de formação de géis, viscosidade e propriedades estabilizadoras, são solúveis em água fria e os géis que formam são termoestáveis. Comercialmente estão disponíveis sob a forma de alginato de sódio ou de potássio, e graças às propriedades referidas anteriormente são usados como espessantes e estabilizadores em produtos como bebidas diversas e gelados, principalmente produtos à base de leite pela capacidade de formarem redes que permitem a suspensão de outras partículas e uma textura mais aveludada do produto final (ex. leite de chocolate) e como emulsionantes em molhos (Ertesvig *et al.*, 1998; Phillips *et al.*, 2009; Bixler *et al.*, 2011).

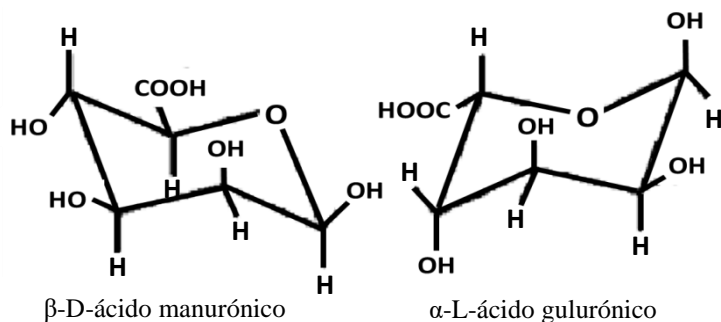


Figura 2.6- Estrutura molecular dos epímeros β -D-ácido manurónico e α -L-ácido gulurónico que constituem a cadeia principal de compostos alginatos extraídos de algas vermelhas (Phaeophyceae).

Modificado:<http://www.monografias.com/trabajos12/alginato/alginato.shtml>

Quimicamente as carrageninas são mais complexas em relação às outras gomas extraídas de algas. Estes compostos também são obtidos de algas vermelhas (*Rhodophytaeae*), as unidades que compõem a sua cadeia principal são galactoses com ligações do tipo β -1,3, alternadas com galactoses unidas por ligações do tipo β -1,4. Nos pontos de ligação β -1,4 as moléculas de galactose podem apresentar grupos sulfato como substituintes e até moléculas de 3,6-anidra-D-glicose, as propriedades e a classificação das carrageninas depende da posição e quantidade de grupos substituintes sulfato e da 3,6-anidra-D-glicose (Tojo *et al.*, 2003; Spiller, 2001). Podem ser divididas em três tipos consoante as suas propriedades gelificantes, as carrageninas kapa formam um gel rígido e quebradiço, o tipo iota origina um gel bastante elástico e por último o tipo lambda que pela ausência de 3,6-anidra-D-glicose não forma géis mas ainda assim é usada como espessantes na indústria alimentar (Fig. 2.7) (Bixler *et al.*, 2011; Tojo *et al.*, 2003).

Nenhum dos compostos extraídos das algas até agora referidos, são hidrolisados pelas enzimas endógenas do sistema digestivo humano, as gomas de algas são constituintes de FA, mais concretamente FS e não são fermentadas no intestino grosso pela flora microbiana, contribuindo para a formação do bolo fecal e benefícios associados à ocorrência de géis na passagem pelo intestino delgado (impacto positivo na diabetes, níveis de colesterol entre outros) (Spiller, 2001).

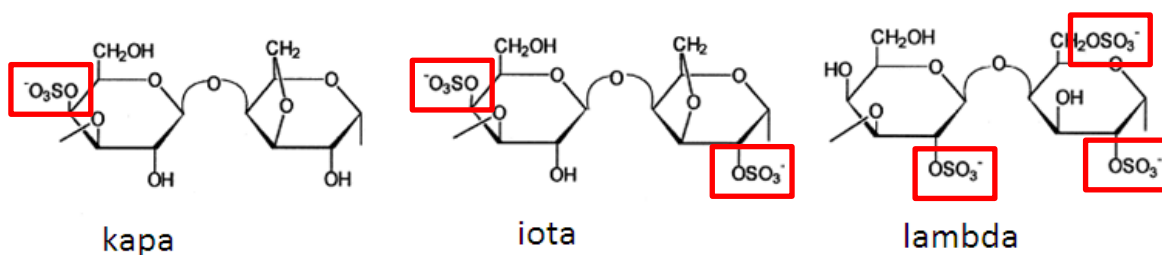
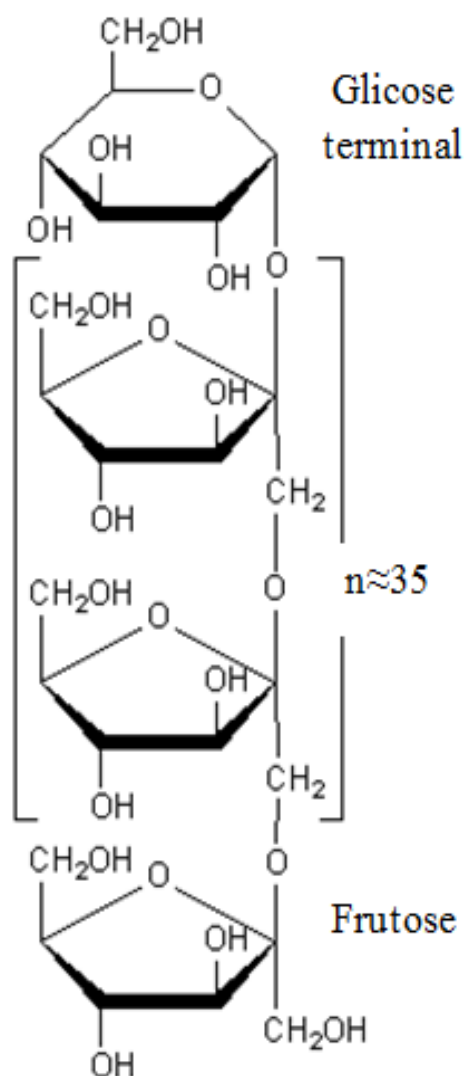


Figure 2.7- Composição química das carrageninas kapa, iota e lambda. Estes polímeros diferem na quantidade de grupos substituintes sulfato, estes estão presentes em maior número em lambda, seguindo-se o tipo iota e por fim as carrageninas do tipo kapa que apresentam o menor número de substituintes sulfato. Lambda também é o único tipo que não apresenta unidades de 3,6-anidra-D-glicose. Modificado de: Falshaw *et al.*, 2001.

2.4.5 Inulina



A inulina é um polissacárido formado por monómeros de frutose unidos por ligações do tipo β -1,2, com uma glicose terminal de ligação α -1,2 (Fig. 2.8), é desta forma incluída no grupo das frutanas (polímeros compostos maioritariamente por frutose). Apresenta uma estrutura linear e é uma forma de armazenamento de energia para muitas plantas e cereais à semelhança do amido, alguns exemplos são a chicória, a alcachofra de Jerusalém, a cebola e o alho (Kasapis *et al.*, 2009; Belitz *et al.*, 2009; Imeson, 2009). Enquanto glúcido não representa uma fonte de energia para o Homem por não ser hidrolisada pelas enzimas digestivas, passando intacta para o intestino grosso onde é fermentada na totalidade pela microflora intestinal, contribuindo assim para a fração de FA dos alimentos. É pouco solúvel em água e tende a formar microcristais, a ocorrência destes em conjunto com a sua neutralidade em termos de sabor, permite que seja usada na indústria alimentar como um substituinte de gordura em diferentes produtos como laticínios, sobremesas geladas, iogurtes, cremes de barrar entre outros (Kasapis *et al.*, 2009; Niness, 1999; Imeson, 2009). A inulina também é adicionada a alimentos como pré-biótico por estimular o crescimento de *Bifidobacterium* no intestino grosso (Korakli *et al.*, 2003).

Figura 2.8- Representação simplificada da estrutura molecular da inulina. Modificado de: <http://www.sigmaaldrich.com/life-science/metabolomics/enzyme-explorer/learning-center/carbohydrate-analysis/carbohydrate-analysis-iii.html#Inulinase>

2.4.6 Amido Resistente

O amido não está explicitamente incluído na definição de FA, este polissacárido representa uma das principais fontes energéticas para o ser Humano por ser degradado e absorvido no intestino delgado. Contudo nem todo o amido presente nos alimentos é digerido e assimilado, passando intacto para o intestino grosso onde é fermentado, esta fração é denominada de amido-resistente (*Resistant Starch-RS*). Além da composição e estrutura natural do amido afetar a ação enzimática de α -amilases, por impedir o acesso às ligações glicosídicas, a forma como as leguminosas e grãos são processados (ex. moagem) bem como a confeção final dos alimentos, também influenciam significativamente a sua digestibilidade (Campbell-Platt, 2009; Nugent, 2005; Topping *et al.*, 2001).

O amido é o segundo polissacárido mais abundante nas plantas, é constituído por duas macromoléculas, a amilose e a amilopectina, ambas são polímeros de glicose que diferem quanto ao número de monómeros e estrutura. Quanto ao número de unidades de glicose a amilose tem 10^3 unidades enquanto a amilopectina apresenta 10^6 unidades de glicose, estruturalmente em ambas há ligações glicosídicas do tipo α -1,4 (Fig. 2.9) que conferem uma estrutura linear em hélice à molécula, contudo na amilopectina também se estabelecem ligações α -1,6 resultando em ramificações (Fig. 2.10). Esta diferença é responsável pela ocorrência de amido sob a forma de grãos semi-cristalinos. Cerca de 80% do amido é constituído por amilopectina cuja estrutura ramificada conduz à formação de matrizes de hélices ordenadas, densamente compactadas, responsável pela estrutura semi-cristalina dos grãos de amido. Nas zonas mais amorfas encontram-se as amiloses de estrutura linear juntamente com amilopectinas, embora que em menor quantidade. De acordo com a proporção de amilose e de amilopectina, o amido apresenta três classificações informais, tipo A, presente em cereais tem uma maior percentagem de amilopectina; tipo B, mais frequente em tubérculos é mais rico em amilose e o tipo C encontrado principalmente em leguminosas com uma composição intermédia de A e B (Lunn *et al.*, 2007; Edner *et al.*, 2007; Grennan, 2006; Nugent, 2005).

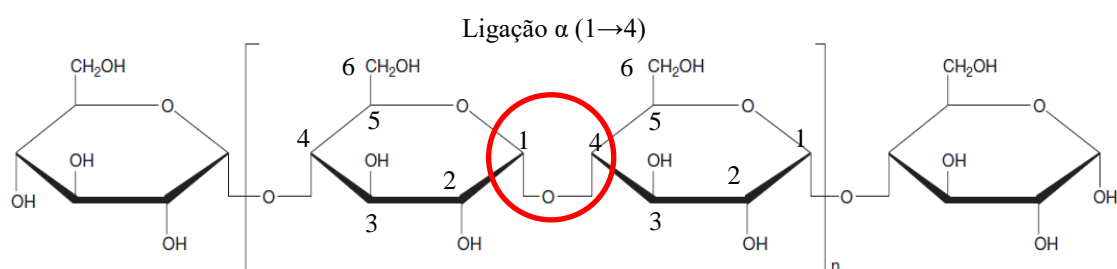


Figura 2.9 Representação da estrutura molecular da amilose, polímero de unidades de glicose unidos por ligações glicosídicas do tipo α -1,4. Modificado de: Campbell-Platt, 2009.

Quando cozinhados os alimentos são sujeitos a altas temperaturas e, usualmente, são preparados submersos em água. Estes dois ingredientes, água e calor, promovem a gelatinização dos grãos de amido que ocorre entre os 55°C e 70°C. A gelatinização inicia-se com a absorção e retenção de moléculas de água pelos grãos de amido, levando a um aumento de volume e uma destabilização da estrutura cristalina, o que os torna progressivamente mais permeáveis à água. A dissolução dos grãos de amido, com libertação de amilose, promove um aumento da viscosidade do meio aquoso. O arrefecimento subsequente promove a formação de um gel ao estabelecerem-se pontes de hidrogénio entre a amilose e a amilopectina. O gel facilita a digestão do amido e ação enzimática devido à maior dispersão e exposição das ligações glicosídicas, por outro lado o contínuo arrefecimento tem o efeito oposto. A diminuição da temperatura promove a agregação e a cristalização das moléculas de amilose, o gel sofre uma contração de volume e dá lugar a uma estrutura muito mais rígida e compacta. Este fenómeno é conhecido como retrogradação e diminui significativamente a digestibilidade do amido tornando mais uma vez as ligações glicosídicas inacessíveis às enzimas. Desta forma, a retrogradação é mais provável de ocorrer em alimentos ricos em amilose, logo, são alimentos potencialmente mais ricos em amido-resistente (Eliasson, 2006; Nugent, 2005; Topping *et al.*, 2001).

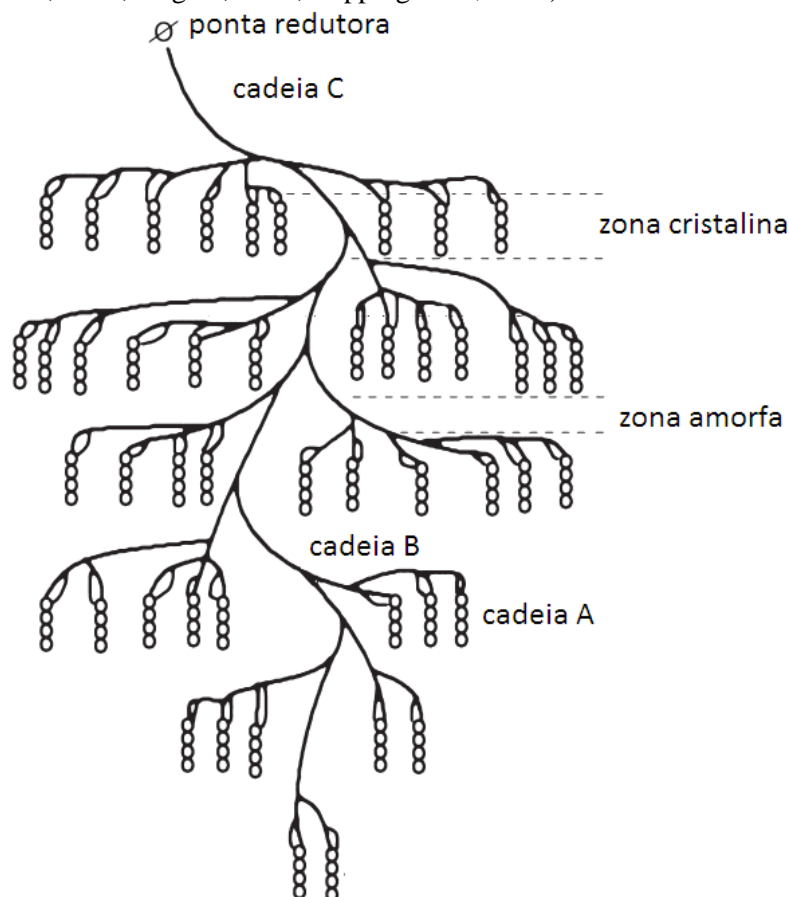


Figura 2.10- Representação esquemática da molécula de amilopectina. A amilopectina é uma molécula de grande dimensão, com zonas de estrutura cristalina e zonas de estrutura amorfa. Nas zonas de estrutura cristalina verificam-se grupos de cadeia tipo A, estas apresentam uma estrutura curta, sem ramificações e em hélice, e ligações glicosídicas do tipo α -1,4. Nas zonas amorfas encontram-se as cadeias tipo B, estas são mais lineares, com ramificações e ligações glicosídicas do tipo α -1,6. A cadeia C é semelhante ao tipo de cadeia B mas apresenta uma terminação redutora. Modificado de: Sinnott, 2007.

O amido resistente (AR) é dividido em 4 tipos distintos, AR1-presente em grãos e sementes parcialmente moídos conservando parte da estrutura da parede celular intacta; AR2-granulos de amido de alimentos no seu estado natural como batatas cruas e bananas, cuja estrutura dificulta a sua hidrólise enzimática e apresentam um elevado teor de amilose; AR3-amido sujeito a retrogradação, presente em cereais como *cornflakes*; AR4-amido alterado através de processos químicos (McCleary *et al.*, 2001).

Um vez no intestino grosso o AR é fermentado pela flora microbiana resultando em Ácidos Gordos de Cadeia Curta (AGCC) e gases, de acordo com alguns autores também contribui para a formação do bolo fecal. Fisiologicamente cumpre os requisitos necessários para ser classificado como FA (Nugent, 2005).

2.5 Polissacáridos não vegetais não digeríveis

Existem outros polissacáridos de géneros alimentares não vegetais bastante populares na indústria alimentar e especificamente como fontes de FA, principalmente Goma xantana, Quitina e Quitosana.

2.5.1 Goma xantana

Resultante da fermentação bacteriana de patogénicos de plantas, *Xanthomonas campestral*, a goma xantana é dos polissacáridos não vegetais de maior viscosidade e amplamente usada na indústria alimentar. Trata-se de um polissacárido de elevado peso molecular, a cadeia principal é constituída por unidades de glicose com ligações glicosídica do tipo β -1,4, e cadeias laterais de trissacáridos compostas por um ácido galacturónico entre duas manoses, ligadas a unidades alternadas de glicose da cadeia principal. A manose ligada à cadeia principal pode apresentar grupos acetil e a manose terminal pode estar ligada a uma molécula de ácido pirúvico (Fig. 2.11). A presença destas cadeias laterais favorece a ocorrência de ligações cruzadas e desenvolvimento de um estrutura em hélice conferindo-lhe excelentes propriedades enquanto estabilizador de emulsões e espessante, sendo também resistente à atividade enzimática, uma das razões pelas quais não é degradada no organismo humano (Rosalam *et al.*, 2006; Katzbauer, 1998).

Goma xantana é extremamente solúvel tanto em água quente quanto em água fria, apresenta uma elevada viscosidade mesmo quando em pequenas quantidades, é termoestável resistindo a variações de temperaturas entre 0°C e 100°C, e não se degrada em meios com valores extremos de pH (de 1 a 13) (Cho *et al.*, 1999). Para melhor manipular as suas propriedades físicas de acordo com o fim pretendido, a goma xantana é misturada com outros polissacáridos, mais concretamente galactomananas, como goma guar e goma de alfarroba, que aumentam significativamente a sua viscosidade. A presença de sais em elevadas quantidades também favorece o aumento de viscosidade, mas esta propriedade é atenuada quando pequenas quantidades de sal são adicionadas (Katzbauer, 1998; García-Ochoa *et al.*, 2000).

Na indústria alimentar a goma xantana é incorporada numa grande variedade de produtos desde molhos, sopas, misturas para bolos, alimentos congelados, laticínios, gelados, a título de exemplo, não apenas pelas suas características físicas mas também sensoriais por não contribuir com sabor nem aroma quando adicionada. Esta goma também é aplicada por outras indústrias como farmacêuticas, indústria petrolífera, agrícola, etc. (Song *et al.*, 2006; Katzbauer, 1998). Com já foi referido não é hidrolisada pelas enzimas endógenas humanas e não é sujeita a fermentação no intestino grosso humano, contudo contribui para a sensação de saciedade e

previne o desenvolvimento de doenças associadas a maus hábitos alimentares como obesidade e diabetes tipo2 (Osilesi *et al.*, 1985; Vuksan *et al.*, 2009).

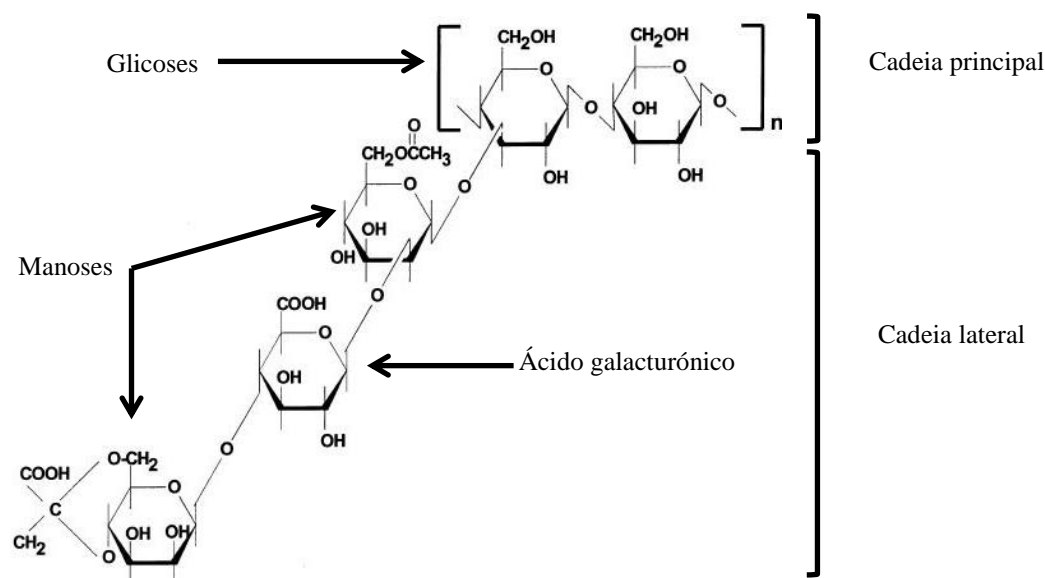


Figura 2.11- Representação esquemática da estrutura da goma de xantana, apresentando a cadeia lateral ligada a uma glicose da cadeia principal, a cadeia lateral é formada por duas unidades de manose intercaladas por um ácido galacturônico. A manose ligada à cadeia principal tem um éster de ácido acético no sexto carbono. A manose no extremo da cadeia lateral está ligada a uma molécula de ácido pirúvico.

Modificado de: http://openwetware.org/wiki/IGEM:IMPERIAL/2009/Encapsulation/Phase2/Xanthan_Gum.

2.5.2 Quitina e Quitosana

A quitina é um aminopolissacárido de origem animal, é um dos constituintes do exosqueleto de crustáceos, bivalves e insetos, também está presente na parede celular de células de fungos, leveduras e outros microrganismos. Os monómeros deste polímero são n-acetilglucosaminas unidas por ligações β -1,4, conferindo ao polímero um estrutura linear sem ramificações (Fig. 2.12). Devido à presença de grupos hidroxilo e principalmente grupos amina, é favorecida a formação de ligações inter e intramolecular resultando numa estrutura cristalina rígida compacta tornando a quitina extremamente insolúvel em água (Sugimoto *et al.*, 1998; Spiller, 2001; Prashanth *et al.*, 2007).

Quitosana é o polímero resultante da deacetilação da quitina, a substituição do grupo acetil por um grupo hidroxilo (Fig. 2.13) confere à quitosana propriedades distintas. Embora também ocorra naturalmente como constituinte da parede celular de fungos e algas, a quitosana é produzida industrialmente para aplicações na indústria alimentar e farmacêutica, estando presente em outras áreas de interesse como ciências dos materiais, biotecnologia, agricultura entre outras. Na indústria alimentar ambas são frequentemente usadas como desacidificantes, emulsionantes, prolongadores de sabor, espessantes e estabilizadores de cor (Spiller, 2001; Prashanth *et al.*, 2007; Shahidi *et al.*, 1999). A quitosana apresenta uma estrutura cristalina insolúvel em água, contudo em pH's ácidos torna-se solúvel e capaz de formar soluções viscosas (Spiller, 2001).

Tanto a quitina como a quitosana demonstram certas características de FA. Ambas não são hidrolisadas pelas enzimas do sistema digestivo humano mas são parcialmente fermentadas no intestino grosso (a quitina mais extensivamente que a quitosana), são insolúveis em meios aquosos neutros e a quitosana é solúvel em meios ácidos. A quitosana tem um grupo amina livre em cada unidade monomérica sendo assim capaz de sequestrar iões cloro (Cl^-) prevenindo o

aumento da pressão sanguínea (Shahidi *et al.*, 1999; Muzzarelli, 1996; Prashanth *et al.*, 2007). A quitosana não apresenta sabor nem aroma e é bastante eficaz enquanto barreira física contra microrganismos, humidade e oxigénio, sendo principalmente usada como biofilme pela indústria alimentar, uma vez que é comestível. Além destas propriedades a quitosana interfere com a reabsorção de sais biliares no intestino delgado onde volta a precipitar devido ao pH neutro do meio, durante a passagem pelo intestino delgado também forma micelas com colesterol proveniente dos alimentos ingeridos. Assim sendo impede a absorção tanto de colesterol endógeno como exógeno tal como outras FS (Capítulo 4.2), induzindo uma redução nos níveis de colesterol (Shahidi *et al.*, 1999; Prashanth *et al.*, 2007).

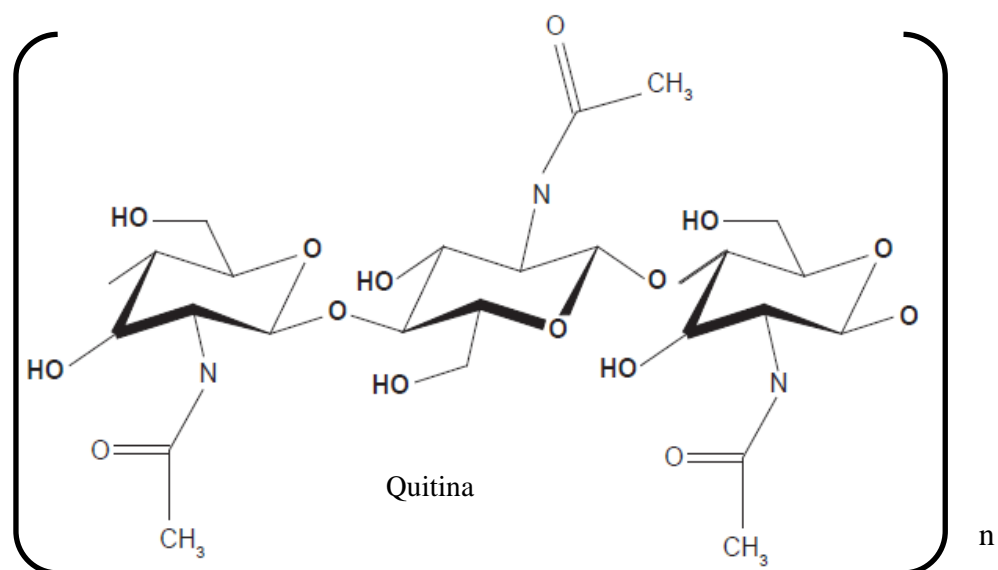


Figura 2.12-Estrutura química da quitina, as unidades sucessivas de amiloglucosamidas apresentam ligações do tipo β -1,4 responsáveis pela sua estrutura linear. Modificado de: Borgognoni *et al.*, 2006.

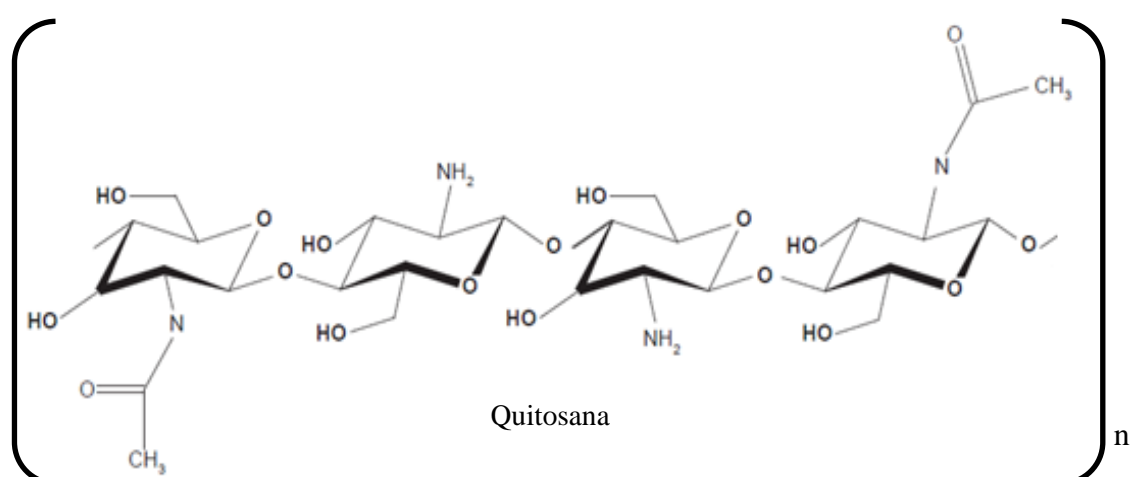


Figura 2.13- Estrutura química da quitosana, por comparação à estrutura da quitina, mantém-se a estrutura linear, mas tem um menor número de grupos acetil e apresenta grupos amina resultantes da deacetilação. Modificado de: Borgognoni *et al.*, 2006.

2.6 Polissacáridos sintéticos

A celulose não é solúvel mas alterações à sua estrutura tornam possível obter polímeros mais solúveis, com propriedades adicionais à da celulose, mantendo a sua indigestibilidade não havendo alteração no teor calórico dos alimentos aos quais são adicionados. Compostos como carboximetilcelulose, hidroximetilcelulose, hidroxipropilcelulose e metilcelulose (Cummings, 1984; Cho, 2001).

Carboximetilcelulose tem uma cadeia principal formada por monómeros de glicose com ligações glicosídicas do tipo β -1,4 características da celulose, contudo ao longo da cadeia principal, e ligados em pontos específicos, apresenta unidade de sais de glucopiranosose-2-O-carboximetil-monossódico (Fig. 2.14), solúvel em água e quando em solução apresenta uma conformação parcialmente helicoidal e a sua viscosidade varia com a concentração e a temperatura, é usado na indústria alimentar como espessante (Yasar *et al.*, 2007).

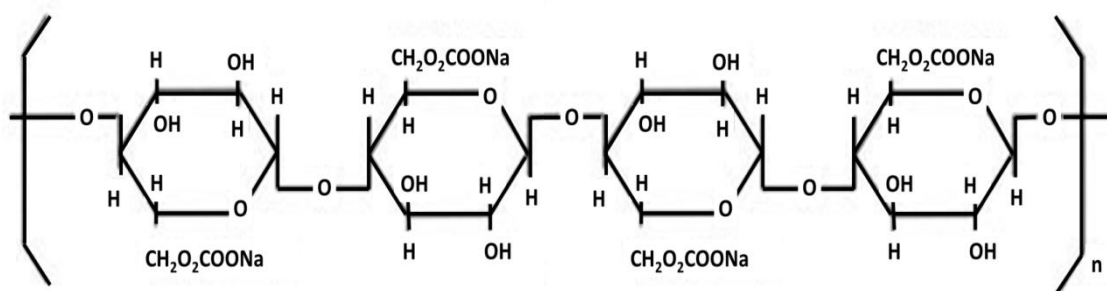


Figura 2.14- Unidades fundamentais do polímero de carboximetilcelulose. Os monómeros apresentam ligações do tipo β -1,4. Modificado de: <http://www.holidymaterial.com/Carboxymethyl-Cellulose.html>

Hidroxipropilcelulose comporta-se como FS, de estrutura semicristalina, apresenta grupos hidroxilo e propil enquanto a celulose apenas contem grupos hidroxilo, esta característica torna a sua estrutura mais irregular e o composto bastante mais solúvel em água, conferindo-lhe a capacidade de formar géis de elevada viscosidade a elevadas temperaturas. O consumo de hidroxipropilcelulose resulta numa redução dos níveis de colesterol sanguíneos, mais concretamente lipoproteína de baixa densidade (LDL), tal como se verifica com FS naturais (Maki *et al.*, 1999).

Metilcelulose é um polímero resultante da esterificação da celulose com grupos metilo o que aumenta significativamente a solubilidade embora seja insolúvel em água quente, é usada como espessante e dispersante, esta celulose modificada apresenta efeitos laxativos contribuindo para a redução do tempo de trânsito intestinal (Hamilton, 1988; Luccia *et al.*, 2002; Cho, 2001). Outros polímeros de glicose têm sido desenvolvidos ao longo dos anos, não necessariamente com o intuito de aumentar o teor de FA nos alimentos mas sim numa tentativa de reduzir o teor calórico dos mesmos. Tendo como característica fundamental a sua baixa digestibilidade acabam por ser contabilizados como FA nos alimentos a que são adicionados.

A polidextrose é um desses compostos, desenvolvida inicialmente para substituir o açúcar, reduzir o teor de gordura e quantidade de farinha e amido usado na produção de géneros alimentares é atualmente contabilizada como FA pertencente à FS. A polidextrose é um polímero sintético de glicose com uma unidade de sorbitol como grupo terminal e pode apresentar cadeias laterais (Fig. 2.15), é solúvel em água, não viscosa, não hidrolisada pelas enzimas humanas e passa intacta para o intestino grosso onde é parcial e lentamente fermentada. A este composto são reconhecidas muitas das propriedades de FA como a sua fermentabilidade, contribuição para o

volume do bolo fecal e efeito benéfico sobre os níveis de glicose/insulina e de colesterol no sangue (McCleary, 2001; Raninen *et al.*, 2011).

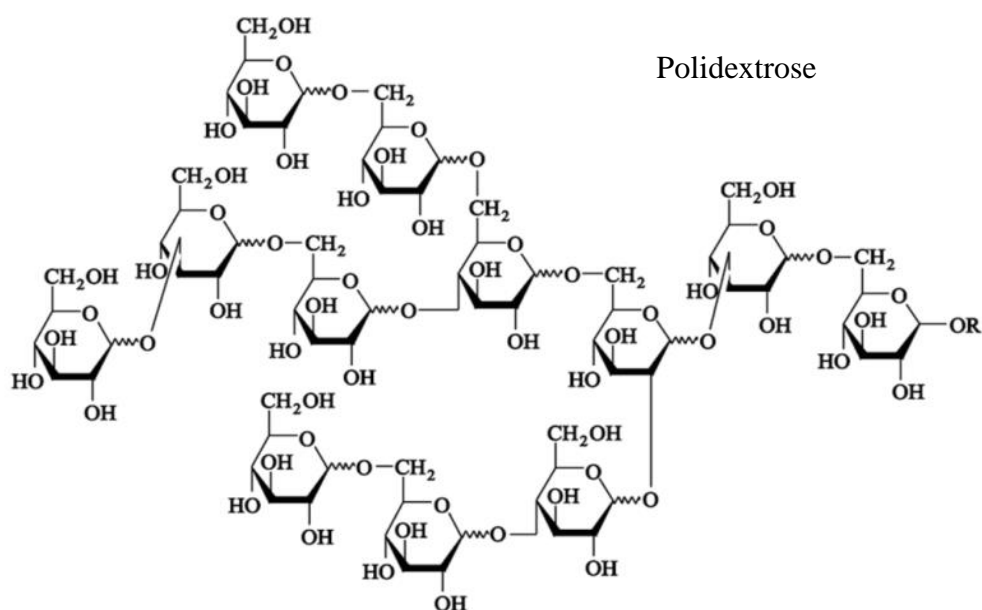


Figura 2.15- Representação da estrutura fundamental da polidextrose, onde o grupo R pode ser ou um átomo de hidrogénio, uma unidade de sorbitol ou outra polidextrose. Modificado de: McCleary *et al.*, 2001.

Fibersol é outro produto que resulta da manipulação do amido. Da hidrólise do amido resultam frações não hidrolisáveis na totalidade (fracção não digerível superior a 90%) pelas enzimas digestivas humanas denominadas de “maltodextrinas resistentes”. O Fibersol é produzido a partir de amido de milho e resulta de um tratamento térmico e enzimático, a unidade monomérica é a glicose, as ligações glicosídicas são maioritariamente do tipo α -1,4 e α -1,6 mas também apresenta ligações glicosídicas do tipo α -1,2 e α -1,3 com bastantes ramificações, é de baixa viscosidade e é parcialmente hidrolisado pelas enzimas digestivas humanas (as enzimas apenas atuam nas ligações do tipo α -1,4) (McCleary *et al.*, 2001; <http://www.fibersol.com/products/fibersol-2/faqs/>).

2.7 Lenhina

Lenhina não é um glúcido, contudo é um composto importante no que respeita a FA. A lenhina é um polímero aromático de elevado peso molecular, os seus monómeros são álcoois hidrocinamílicos que variam entre si quanto ao grau de metoxilações, nomeadamente *p*-cumáílico, *p*-coniferílico, *p*-sinapílico que estão representados na figura 2.16. Os monómeros podem estar unidos por ligações éster, éter ou ligações carbono-carbono. A proporção dos monómeros varia consoante a planta é mono ou dicotilodónia. As figuras 2.16 e 2.17 ilustram a estrutura molecular dos monómeros e do polímero, respetivamente. Este composto é extremamente resistente à degradação química, confere rigidez à parede celular de células vegetais onde estabelece ligações com os restantes componentes como a celulose, mantendo a coesão da parede celular e fortalecendo a sua estrutura física. A Lenhina pertence à fração de FI da FA (Cho, 2001; McCleary *et al.*, 2001; McDougall *et al.*, 1996).

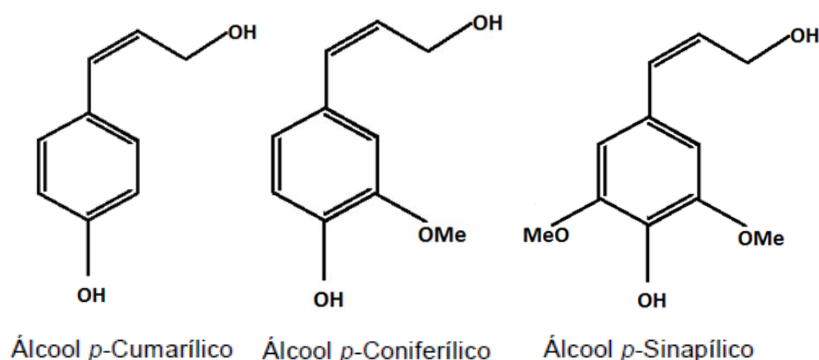


Figura 2.16-Ilustração da estrutura molecular dos principais monómeros que compõem a lenhina. O *p*-cumáílico não tem grupos metilo, *p*-coniferílico apresenta uma metoxilação e o *p*-sinapílico tem duas metoxilações. Modificado de: Xavier, 2005.

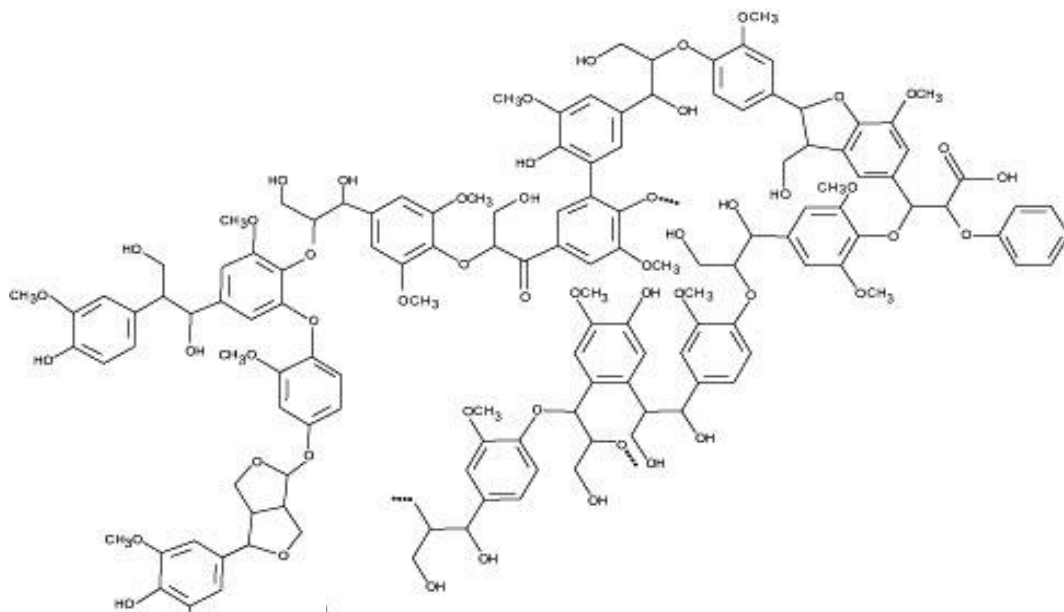


Figura 2.17- Representação de parte a estrutura molecular da lenhina. Modificado de: <http://www.sigmaaldrich.com/life-science/metabolomics/enzyme-explorer/analytical-enzymes/enzymes-for-aer.html>.

3 Métodos

3.1 Métodos químico-gravimétrico

3.1.1 Método da Fibra Bruta (Método Weende)

O método de determinação de fibra bruta é de todos o método mais antigo. Também conhecido como método Weende, este método gravimétrico consiste na digestão ácida da amostra com ácido sulfúrico (H_2SO_4), o ácido é mantido em refluxo, durante 30 min e a $100^\circ C$. Decorridos os 30 min a amostra com ácido é filtrada a vácuo e o resíduo lavado com água a ferver. Ao resíduo de filtração é adicionado hidróxido de sódio (NaOH) que é mantido em refluxo por mais 30 min e a $100^\circ C$, faz-se uma segunda filtração e o resíduo final é lavado, primeiro com ácido sulfúrico a $100^\circ C$ e depois com água a $100^\circ C$ e por fim álcool. O resíduo final é seco, pesado e por fim incinerado e determinada a cinza. A fibra bruta é determinada por subtração da massa da cinza à massa do resíduo final (Horwitz, 1980; Jung, 1997).

3.1.2 Fibra por Detergente Ácido (ADF)

O método do detergente ácido foi desenvolvido em 1963 por Van Soest, método no.973.18 da AOAC (McCleary *et al.*, 2001; Helrich, 1990), tendo como ponto de partida o método original para determinação de fibra bruta, método de Weende. O método de detergente ácido consiste na obtenção de um resíduo composto por elementos insolúveis da parede celular vegetal, celulose e lenhina, sendo também isolada a fração mineral não solúvel em ácido (Van Soeste *et al.*, 1991). Neste procedimento a extração é efetuada usando um detergente acidificado, brometo de cetiltrimetilamônia com ácido sulfúrico diluído (H_2SO_4 1 N). O detergente ácido é adicionado à amostra previamente seca e moída, a mistura é fervida por 1 h com refluxo, depois filtrada a vácuo e o resíduo obtido é lavado sequencialmente, com água quente ($90^\circ C$ a $100^\circ C$) para remover qualquer vestígio de pectinas e mucilagens, e duas vezes com acetona ou as vezes necessárias até não se verificar perda de coloração, a acetona é usada para remover a fração lipídica. O resíduo é seco a $103^\circ C$, arrefecido e pesado, como também é isolada a fração mineral resistente à ação do ácido, o resíduo é posteriormente incinerado e pesado para determinação de cinza. Para o cálculo final de determinação de fibra por detergente ácido é feita a correção da massa do resíduo com subtração do valor da cinza (Helrich, 1990). Uma das limitações do método é a perda significativa de lenhina durante a etapa de filtração (Raffrenato *et al.*, 2010).

3.1.3 Fibra por Detergente Neutro (NDF)

O método de determinação de fibra por detergente neutro, desenvolvido por Van Soest e Wine em 1967, é semelhante ao do detergente ácido, contudo este além de isolar celulose e lenhina também isola hemiceluloses (McCleary *et al.*, 2001). Neste método ao detergente neutro é adicionado à amostra e os passos seguintes são os mesmos que para o ADF, ferver a mistura por 1 h em refluxo, filtrar em vácuo, lavar o resíduo com água quente ($95^\circ C$ - $100^\circ C$) e acetona. O resíduo é seco e pesado, e depois incinerado para determinação de cinza cujo valor é subtraído ao do resíduo para o cálculo de NDF (Undersander *et al.*, 1993; Eliasson, 2006).

O detergente neutro é composto por ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), fosfato disódico, lauril sulfato de sódio, borato de sódio decahidratado e etoxietanol. O EDTA é um

quelante e liga-se a íons de cálcio e magnésio, estes por sua vez formam complexos com as pectinas e facilitam a sua extração, o borato de sódio decahidratado melhora a recuperação de hemiceluloses como o arabinoxilano (Eliasson, 2006).

Ao contrário do método ADF, o NDF não é um método oficial da AOAC, existindo algumas variações do método original. Uma das limitações do método NDF, cuja aplicação pressupõe o isolamento dos constituintes das paredes celulares das células vegetais, é a solubilização quase completa de pectinas durante o processo apesar da presença de EDTA, não sendo recuperadas durante a filtração e estando ausentes no resíduo final. Neste método a remoção de proteína e de amido é difícil, a presença de proteínas e amido no resíduo final levam a uma sobre quantificação dos teores de fibra (Eliasson, 2006; Jung, 1997).

3.2 Métodos de fibra alimentar enzimático-gravimétricos

3.2.1 Método DNF modificado

Como já foi referido a presença de proteína, mas principalmente de amido, constituem uma limitação ao método. Fannesbeck fez algumas alterações ao adicionar pepsina, antes da adição do detergente neutro, para eliminar a fração proteica. A digestão das proteínas era realizada durante 40 h a uma temperatura de 55°C e a pH 2,2. Ao ser adicionado o detergente o pH mantinha-se ácido (pH 3,5), desta forma permitia a eliminação de proteína mas falhava na quantificação de hemiceluloses devido ao pH ácido. Em 1977 Schaller usou enzimas pancreáticas para remover amido e proteína, contudo as enzimas disponíveis comercialmente também atuavam sobre outros compostos como hemiceluloses e β -glucanos interferindo mais uma vez com o isolamento dos constituintes das paredes celulares (Van Soest *et al.*, 1991; McCleary, 2003). Mais tarde o método foi oficializado pela AACC, método AACC 35-20, ao ser aperfeiçoado com a produção de amilase de origem bacteriana (*Bacillus subtilis*) e uso de amilases termoestáveis. Van Soest *et al.* (1991) compararam o desempenho de ambas as enzimas quanto à determinação de NDF em diferentes matrizes (farelo de trigo, palha de trigo, ervilhas, silagem de milho, pasto para gado-*Timothy hay*), os valores obtidos por amilase de *Bacillus subtilis* eram inferiores aos obtidos com amilase termoestável, ambas as enzimas foram eficazes na remoção do amido sendo a diferença de resultados atribuída à perda de hemiceluloses decorrente da atividade enzimática, segundo os autores essas perdas podem ser atenuadas quando o processo é realizado a temperaturas mais altas (Van Soest *et al.*, 1991).

3.2.2 Métodos AOAC

Os primeiros métodos enzimático-gravimétricos foram desenvolvidos para determinação do teor total de fibra alimentar e posteriormente adaptados para determinação individual das frações solúveis e insolúveis. O primeiro método a ser oficializado foi desenvolvido por Prosky e colaboradores, resultando no método AOAC 985.29 (Spiller, 2001; McCleary *et al.*, 2011). No método enzimático-gravimétrico AOAC 985.29, as amostras secas, moídas e desprovidas de gordura são analisadas em duplicado, para amostras com teores superiores a 10% é realizada a extração com éter de petróleo ou hexano. Às amostras é adicionado tampão fosfato e realizam-se três digestões enzimáticas seguidas, começando pela adição de α -amilase, proteases e por último amiloglucosidase. Após a digestão das amostras são adicionados 4 volumes de etanol para promover a precipitação de FS. As amostras são filtradas, os resíduos são lavados com EtOH 78%, EtOH 95% e acetona, depois secos e pesados. Um dos duplicados é incinerado, arrefecido e pesado para determinação de cinza, e o segundo usado para determinação de proteína. Ao valor

do resíduo seco da filtração é subtraído o valor de cinza e proteína. A Figura 3.1 representa esquematicamente os passos do método:

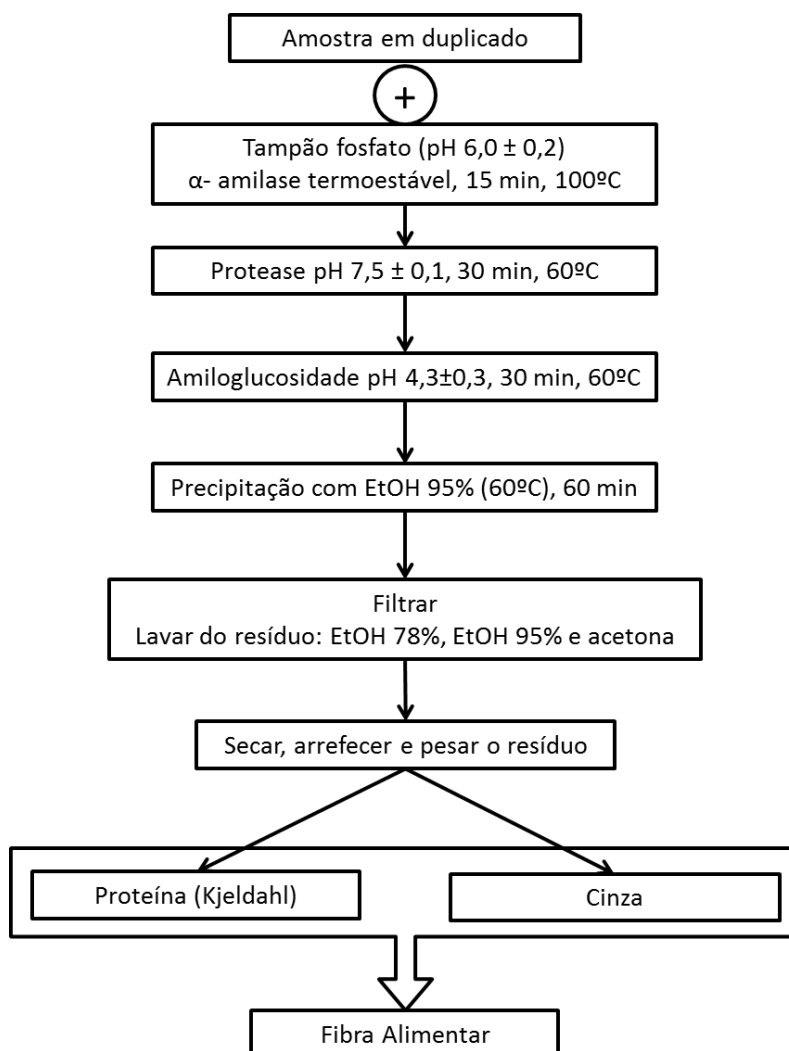


Figura 3.1- Representação esquemática do método desenvolvido por Prosky *et al.* (1985) para determinação de fibra alimentar (método AOAC 985.29/ AACC 32-05.01).

Mongeau e Brassard desenvolveram uma outra versão do método de determinação de fibra por detergente neutro, de forma a ser possível a quantificação de FS resultando num novo método enzimático-gravimétrico (McCleary, 2003). Neste procedimento um dos duplicados da amostra é processado normalmente, após seco, moído e desprovido de gordura, é digerido em autoclave com recurso a amílase termoestável, amiloglucosidade e protease, promovendo a remoção da fração proteica e amido. Depois há a adição de EtOH 95% e precipitação de fibra. Realiza-se a filtração, o resíduo é seco, pesado, incinerado e pesado uma última vez. O segundo duplicado é processado de acordo com o procedimento de NDF modificado, ou seja sujeito a refluxo com detergente neutro e a digestão enzimática para remoção de proteína e amido. O resíduo é seco, pesado, e é feita a determinação de cinza. O valor final de FA é obtido por soma dos resíduos descontando a massa da cinza. O método foi oficializado como método de fibra alimentar total enzimático-gravimétrico AOAC 992.16 (Rodríguez *et al.*, 2006).

A AOAC adaptou o método de fibra total para amostras com baixo teor de amido (2%), o método AOAC 993.21. Este não é um método enzimático pois como a quantidade de amido na amostra é muito baixa não há necessidade de recorrer a enzimas para remove-lo. O método é indicado para matrizes como fruta, vegetais ou forma isoladas de fibra onde a incubação da amostra por 90 min a 37°C permite a solubilização dos açúcares da matriz e outros componentes hidrossolúveis que são removidos durante a filtração e após ter sido promovida a precipitação da FS por adição de EtOH 95%. Os passos seguintes são os mesmos que para o método da fibra alimentar total referidos anteriormente (Rodríguez *et al.*, 2006).

Em 1994 a AOAC oficializou o método para determinação de fibra insolúvel, AOAC 991.42. Neste as amostras analisadas em duplicado são sujeitas ao mesmo processamento e digestões que no método anterior, após a digestão a mistura é filtrada, o resíduo final lavado primeiro com EtOH 95% e depois com acetona, e o líquido da filtração descartado. Os duplicados são secos e pesados, onde um é usado para determinação da cinza e outro para quantificação de proteína, a correção da massa do resíduo do filtrado para proteína e cinza permite calcular a quantidade de FI (Rodríguez *et al.*, 2006).

Após o método AOAC 985.29, Lee e Cardozo introduziram algumas modificações que permitiam num só procedimento quantificar FS, FI e FA (ou diretamente ou como soma das partes), entre essas alterações estava a substituição do tampão fosfato por tampão MES-TRIS. Desta forma deixa de ser necessário o acerto de pH antes da adição de protease, pois o pH do tampão MES-TRIS varia inversamente com a temperatura como se verifica em soluções tampão orgânicas. Partindo de um pH inicial de 8,2 a 24°C, este baixa para pH 6,0 aos 100°C, valor pretendido para a digestão com α -amílase, aumentando para pH 7,5 com o abaixamento da temperatura para 60°C para a digestão com protease. Desta forma não só é eliminado um passo do procedimento como há uma redução de 20% no volume final para filtração, pois o volume que é necessário usar deste tampão é menor e o procedimento requer um menor volume de ácido (Lee, 1992).

As restantes alterações dizem respeito à etapa de precipitação com EtOH, onde para a obtenção de FA a precipitação é efetuada por adição de EtOH 95%, os passos seguintes são os mesmos que no método AOAC 985.29. Para quantificação de FI, após as 3 digestões a mistura é filtrada diretamente e o resíduo lavado apenas com água quente ($T \geq 95^\circ\text{C}$), seco e pesado. O líquido resultante da filtração é tratado com EtOH 95% para promover a precipitação de FS, segue-se uma nova filtração, o resíduo resultante é seco e pesado. Uma vez que as amostras são analisadas em duplicado, uma é usada para determinação de cinza e a outra de proteína. Os valores de FI, FS e FA são depois corrigidos com os valores da cinza e proteína. O método foi

oficializado como método enzimático-gravimétrico MES-TRIS tampão AOAC991.43 (Rodríguez *et al.*, 2006; Redondo-Cuenca *et al.*, 2008).

O método para determinação de fibra solúvel AOAC993.19, é a fusão do método AOAC985.29 e AOAC991.43. Neste é usado o tampão fosfato e a mistura após digerida pelas três enzimas é filtrada diretamente, o resíduo é descartado e o líquido de filtração precipitado com EtOH 95%, filtrado, o resíduo obtido lavado com EtOH 78%, EtOH 95% e acetona antes de ser seco e pesado, os passos subsequentes são os mesmos que para a FS do método AOAC991.43. Este método de FS foi adotado pela AOAC em 1995, um ano após a oficializado do método AOAC991.43 (McCleary *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006; Redondo-Cuenca *et al.*, 2008).

Além dos métodos para quantificar a FS, FI e FA, a AOAC também já possui métodos para a quantificação individual de determinados componentes como β -glucanos, AR, polidextranses, maltodextrinas resistentes (resultantes da hidrólise do amido). A Tabela 3.1 apresenta os métodos da AOAC desenvolvidos para quantificação de FA, FS, FI e componentes específicos compostos (McCleary, 2007; McCleary, 2010):

Tabela 3.1- Métodos AOAC, componentes que permitem quantificar e tipo de método analítico usado.

AOAC	Componentes	Métodos
985.29	Fibra Alimentar	Enzimático-Gravimétrico
991.42	Fibra Insolúvel	
991.43	Fibra Solúvel, Fibra Insolúvel e Fibra Alimentar (tampão MES-TRIS)	
992.16	Fibra Alimentar	
993.19	Fibra Solúvel, Fibra Insolúvel e Fibra Alimentar (tampão fosfato)	
993.21	Fibra Alimentar (matrizes \leq 2% amido)	Químico-Gravimétrico
994.13	Fibra Alimentar (açúcares neutros, ácidos urônicos)	Enzimático-Químico-GLC/ HPLC
2009.01	Fibra Alimentar (HMWDF, LMWDF)	Enzimático-Gravimétrico-HPLC
2011.25	Fibra Alimentar (HMWDF, HMWSDF, LMWSDF)	
Métodos para componentes específicos		
992.28	β -glucanos	Enzimático
995.16	β -glucanos	
997.08	Oligossacáridos	Enzimático e HPAEC-PAD
999.03	Oligossacáridos	Enzimático - Colorimétrico
2000.11	Polidextrose	HPAEC-PAD
2001.02	<i>trans</i> galactossacáridos	
2001.03	Fibersol (Maltodextrinas resistentes)	Enzimático-Químico-LC
2002.02	Amido Resistente	Enzimático

Legenda: GLC- Cromatografia Líquida-Gasosa; HPLC- Cromatografia Líquida de Alta Eficiência; HPAE-PAD- Cromatografia de Troca Aniônica de Alta Eficiência e Detecção Amperimétrica Pulsada; HMWDF-fibra alimentar de alto peso molecular, LMWDF-fibra alimentar de baixo peso molecular; HMWDF-fibra insolúvel de alto peso molecular; HMWSDF- fibra solúvel de alto peso molecular; LMWSDF- fibra solúvel de baixo peso molecular.

McCleary e seus colaboradores têm contribuído notoriamente para o melhoramento das metodologias para quantificação de FA. Os métodos mais recentes foram sujeitos a estudos colaborativos internacionais e já são métodos oficiais AOAC. As novas metodologias permitem a quantificação de frações de FA que devido ao seu baixo peso molecular não eram contabilizadas através dos métodos anteriores. O método AOAC 2009.01, foi desenvolvido com o intuito de conseguir os constituintes da FA de acordo com a definição do Codex Alimentarius, é um método enzimático-gravimétrico e com cromatografia líquida, e resultado da junção de quatro métodos anteriores, nomeadamente o primeiro método para quantificação de FA total (985.29), o método desenvolvido por Lee *et al.* para quantificação de FS, FI e FA (991.43), o método desenvolvido para quantificação de maltodextrinas resistentes (2001.03) e o método usado para quantificar AR (2002.02). A Figura 3.2 representa esquematicamente os vários passos do procedimento e quais os compostos identificados em cada etapa (McCleary, 2007; McCleary, 2010; Brunt *et al.*, 2013):

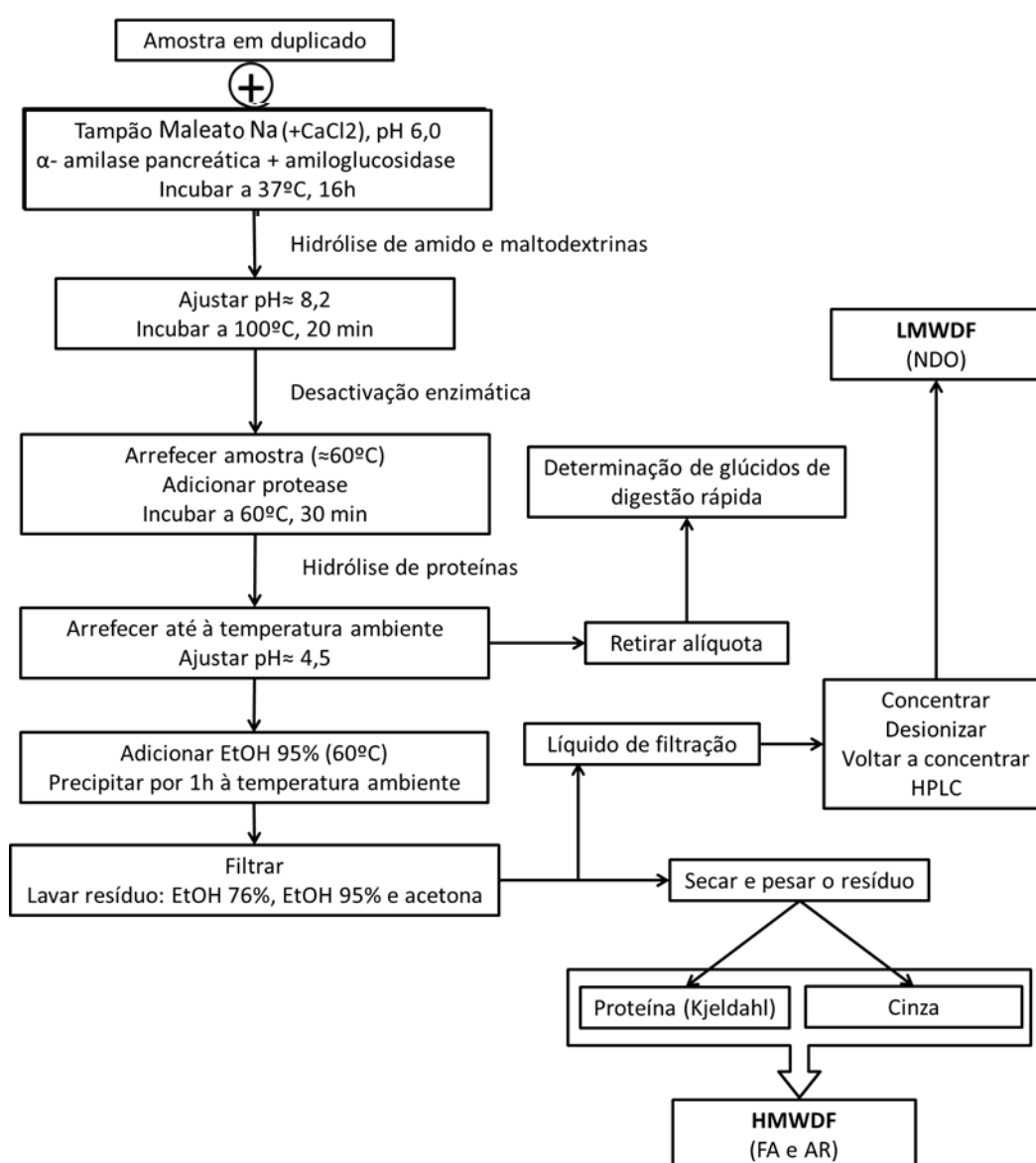


Figura 3.2- Representação esquemática do método AOAC 2009.01 para determinação de fibra alimentar. Legenda: EtOH-etanol; HMWDF-fibra alimentar de alto peso molecular; FA-fibra alimentar; AR-amido resistente; LMWDF- fibra alimentar de baixo peso molecular; NDO-oligossacáridos não digeríveis. Adaptado de McCleary 2007.

O método mais recente para quantificação da FA é o método AOAC 2011.25, sendo quase uma extensão do método anterior. Neste os termos de fibra solúvel de elevado peso molecular (HMWSDF) e de baixo peso molecular (LMWSDF) são substituídos por versões mais simples. A distinção entre os componentes da fração de fibra solúvel é feita com base na solubilidade em EtOH a 78%, dividindo assim os compostos em fibra alimentar solúvel que precipita com EtOH 78% (SDFP) onde são incluídos os oligossacáridos não digeríveis, e fibra alimentar solúvel que não precipita com EtOH 78% (SDFS). O método está representado esquematicamente na Figura 3.3 (McCleary, 2012; Westenbrink *et al.*, 2013):

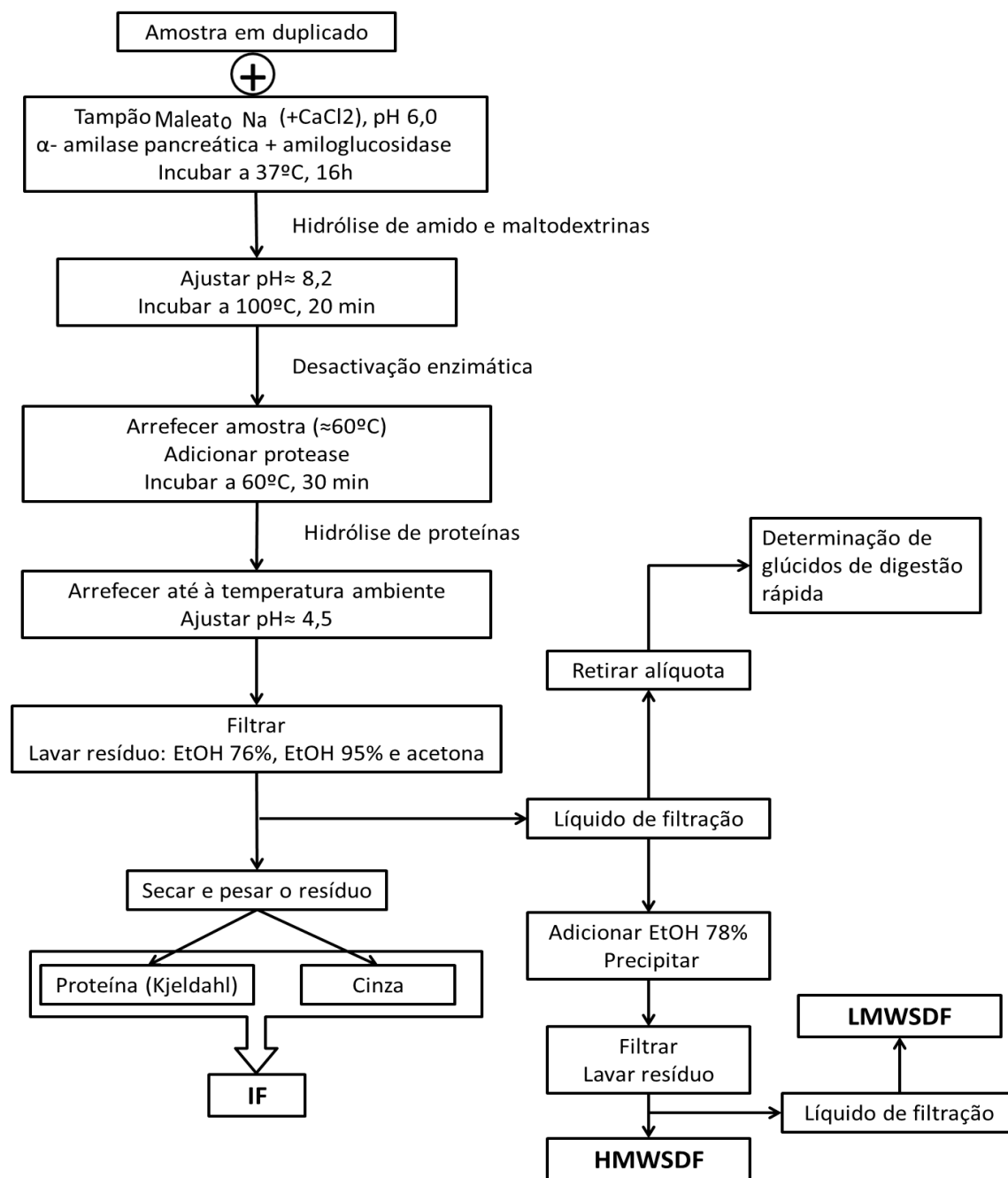


Figura 3.3- Representação esquemática do método AOAC 2011.25 para determinação de fibra alimentar. Legenda: EtOH-etanol; HMWDF-fibra alimentar de alto peso molecular; FA-fibra alimentar; AR-amido resistente; LMWDF- fibra alimentar de baixo peso molecular; NDO-oligossacáridos não digeríveis. Adaptado de McCleary 2012, Megazyme (<http://www.megazyme.com/>).

3.3 Métodos enzimático-químicos

3.3.1 Método Uppsala

O método Uppsala é um método enzimático-químico e bastante mais complexo que os métodos apresentados. Introduzido por Theander e Åman pela primeira vez em 1979, permitia a quantificação da fração solúvel e insolúvel da FA e incluía a quantificação de lenhina pelo método Klason. O método foi melhorado e atualmente é um dos vários métodos da AOAC, o método de fibra alimentar total por determinação de resíduos de açúcares neutros, resíduos de ácidos urónicos, e lenhina de Klason, AOAC 994.13. Neste método a extração de gordura das amostras é efetuada para teores a partir de 5%, quando desprovidas de gordura, secas e moídas são sujeitas a uma extração com EtOH 80% para eliminar glúcidos de baixo peso molecular. Após este tratamento prévio das amostras, são realizadas duas digestões enzimáticas para hidrolisar o amido. A primeira com amilase termoestável e a segunda com amiloglucosidade. Uma vez terminada a digestão da amostra é promovida a precipitação de FS com EtOH 80%. O resíduo final é solubilizado e hidrolisado com ácido sulfúrico, e é feita a quantificação dos açúcares neutros por cromatografia líquida-gasosa (GLC) sob a forma de acetatos de alditol. Os ácidos urónicos são determinados por colorimetria com 3,5-dimetilfenol, e a lenhina é determinada gravimetricamente como lenhina de Klason (fração sólida resistente ao tratamento com ácido sulfúrico). O valor final de fibra resulta da soma dos polissacáridos não hidrolisados enzimaticamente com a lenhina de Klason (Kasapis *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2006; Furda *et al.*, 1990; McCleary, 2003).

3.3.2 Método de Englyst

O método de Englyst quantifica os polissacáridos presentes nas paredes celulares vegetais que não apresentam ligações α -glicosídicas, ou seja, que não são amido. Estes compostos são vistos como indicador de uma dieta rica em fibra que ocorre naturalmente nos alimentos. Desenvolvido com base nos métodos apresentados por Widdowson, McCance e Southgate, o método prevê a remoção integral de amido, e permite a quantificação de AR. Os polissacáridos não amido (NSP) que integram a FA são divididos em celulose e restantes polissacáridos, e respetivamente quantificados com base nos monómeros obtidos da sua hidrólise ácida, sendo possível assim determinar a fração solúvel, insolúvel e total de NSP e celulose além do AR. A quantificação e identificação individual dos açúcares neutros podem ser feitas ou por cromatografia líquida gasosa (GLC) ou por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), e a determinação de ácidos urónicos por colorimetria com 3,5-dimetilfenol. Este método é bastante mais complexo comparativamente aos métodos mais comuns para quantificação de FA, e bastante mais moroso, consoante seja por colorimetria ou por cromatografia pode demorar entre 8 h a um dia e meio. Segundo Englyst o método adotado pela AOAC não quantificava de um ponto de vista químico os componentes das paredes celulares vegetais, segundo ele este método apenas permitia isolar uma fração dos alimentos que *in vitro* não era hidrolisada por amilase bacteriana e protéase como amido, lenhina e produtos da reação de Maillard e outros compostos tanto de origem animal como vegetal. Contrariamente ao método da AOAC, o método Englyst era, segundo o próprio, de elevada especificidade analítica porque permitia obter informação detalhada da composição monomérica dos polissacáridos presentes na parede celular de células vegetais sem ser o amido (Englyst *et al.*, 1983; Spiller, 2001; Kritchevsky *et al.*, 1990; McCleary, 2003). Sucintamente o método Englyst consiste no seguinte; as amostras (secas, moídas e sem gordura) são analisadas em triplicado (A, B e C). O primeiro passo de remoção de amido é igual para A, B e C. Promove-

se a gelatinização do amido e hidrólise enzimática com adição de α -amilase pancreática e pululanases a pH 5,2 em tampão de acetato de sódio. Estas enzimas apenas atuam nas ligações glicosídicas do tipo α -1,4 e α -1,6 sem afetar os polissacáridos não amido (o amido que permanece é quantificado como AR). Após a remoção do amido, realizam-se três procedimentos distintos mas complementares:

1) Medição de NSP total: a um dos duplicados, A, é adicionado ácido sulfúrico (H_2SO_4) 12 M para solubilizar e hidrolisar a celulose, e posteriormente H_2SO_4 1M para hidrolisar os restantes polissacáridos presentes. Os açúcares neutros são quantificados por GLC ou HPLC e os ácidos urónicos determinados por colorimetria (3,5-dimetilfenol), este processo quantifica NSP e AR.

2) Medição de NSP não celulósicos neutros: para solubilizar o AR é adicionado hidróxido de potássio a B. Recolhe-se uma alíquota da mistura à qual é adicionada enzima amiloglucosidase, depois a alíquota é incubada para permitir a hidrólise completa do AR e obtenção dos monómeros de glicose. O restante da mistura é sujeita a hidrólise ácida com ácido sulfúrico. Decorrido o tempo necessário à hidrólise enzimática do AR e à hidrólise ácida da mistura, os monómeros resultantes são analisados como em 1), determinando o total de AR e polissacáridos não amido. Para quantificar a celulose, ao valor obtido em 1) subtrai-se o total obtido em 2).

3) Medição de NSP insolúveis: a C é realizada uma extração com tampão de pH7. Após a adição de tampão a mistura é centrifugada, retira-se o sobrenadante, adiciona-se mais tampão e repete-se a centrifugação. Ao resíduo é adicionada acetona e deixa-se secar, o resíduo final é solubilizado e hidrolisado com ácido sulfúrico. Os monómeros (açúcares neutros e ácidos urónicos) são quantificados como em 1) e obtém-se a fração insolúvel de NSP.

A fração solúvel de NSP é determinada por diferença de NSP totais obtidos em 1) ou em 2) e os valores obtidos em 3) (Englyst *et al.*, 1983; Englyst *et al.*, 1982; Spiller, 2001).

4 Principais fontes de Fibra Alimentar

4.1 Cereais

Os cereais passaram a ocupar um lugar fixo na alimentação humana com o desenvolvimento das primeiras civilizações e práticas agrícolas. Nos dias de hoje estes ainda ocupam um lugar de destaque tanto para a alimentação humana como na alimentação de animais por serem parte integrante das rações. Os cereais mais consumidos a nível mundial são trigo, arroz e milho, seguindo-se o centeio, cevada, aveia. Os cereais representam a principal fonte de glúcidos e fibra alimentar além de fornecerem 50% da quantidade total de proteína da alimentação (Mann *et al.*, 2002; Poutanen, 2012).

Os grãos dos cereais apresentam uma composição bastante semelhante entre si, embora sejam usualmente denominadas de sementes, estes grãos são na realidade s frutos e são denominados de cariopse (Kent *et al.*, 1994). Em termos estruturais podem ser divididos em três partes principais: farelo, endosperma e gérmen. O farelo é a parte mais externa da semente; é composto por três camadas, o pericarpo (casca do fruto cariopse, e contem pêlos no topo), a testa (casca da semente) e o tecido nuclear. A aleurona envolve todo o endosperma e encontra-se imediatamente por baixo do tecido nuclear, pode apresentar diferentes espessuras e composições consoante a espécie (Evers *et al.*, 2002; Eliason, 2006; Lunn *et al.*, 2007). O endosperma é rico em grãos de amido e proteínas (globulinas e prolaminas constituintes do glúten), ou seja, formado por substâncias de reserva necessárias ao desenvolvimento do embrião contido no gérmen. O gérmen por sua vez está isolado do endosperma por uma camada denominada de escutelo (Shewry *et al.*, 2002; Evers *et al.*, 2002). A Figura 4.1 ilustra a constituição de um grão de trigo com farelo.

Para poderem ser consumidos os grãos são moídos. O seu processamento pode destinar-se apenas a uma redução de tamanho sem eliminar nenhum constituinte, como na produção de cereais integrais (os pêlos do farelo são retirados por serem abrasivos) para consumo directo ou para incorporação noutros produtos alimentares, pode ser realizada uma moagem mais fina com remoção do farelo e gérmen para produção de farinhas e semolinas, ou apenas remoção do farelo e gérmen como no caso do arroz. A grande maioria dos produtos alimentares à base de cereais são produtos refinados produzidos com farinhas obtidas a partir do endosperma, o que implica uma perda de valor nutricional muito significativa resultante da remoção do farelo, aleurona e gérmen, ricos em minerais, vitaminas, FA, proteínas, lípidos e outros compostos fitoquímicos (Kent *et al.*, 1994; Liangli *et al.*, 2012).

O pericarpo, a testa e o tecido nuclear são compostos por células mortas cujas paredes celulares se encontram lenhificadas, a lenhina está associada à celulose e ambas compõem estes tecidos estruturais contribuindo para o elevado teor de FA dos cereais integrais. A remoção do farelo é usualmente acompanhada pela remoção da aleurona devido à forte ligação estabelecida entre a casca do fruto e a casca da semente. A aleurona é constituída por 60% a 70% de arabinoxilano e a sua constituição varia de acordo com o cereal, logo a composição do farelo como produto final irá depender da composição do cereal de que é extraído. O farelo de cereais constitui assim uma fonte rica de arabinoxilanos, celulose e lenhina (Cho *et al.*, 2001; Lunn *et al.*, 2007; Belitz *et al.*, 2009; Izydorczyk *et al.*, 1995).

O farelo de aveia é caracteristicamente mais rico em FS, apresentando entre 5,5% a 10,0% de FS num total de 15,0% a 22,0% de FA. Embora haja uma maior concentração de FS no endosperma, os β -glucanos extraídos do farelo são mais viscosos sendo por isso preferível ingerir

o cereal de aveia no seu todo ou incluir farelo de aveia na alimentação (Welch, 1995; Butt *et al.*, 2008). De forma geral a aveia é consumida como um cereal de pequeno-almoço, as tradicionais papas de aveia, mas nos últimos anos o consumo de farelo de aveia tem vindo a ganhar popularidade pelo efeito atenuador sobre os níveis de colesterol. O consumo de 100 g de aveia fornece entre 6,0 g a 9,0 g de FA, dos quais entre 3,5 g a 5,0 g são FS composta por β -glucanos (Mann *et al.*, 2002; MaKlkk *et al.*, 2001).

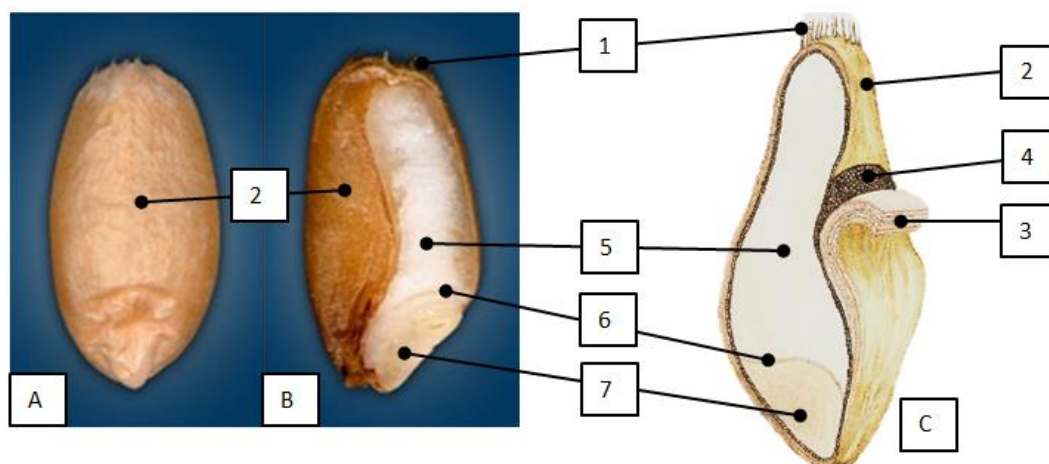


Figura 4.1- A) Imagem de um grão de trigo integral, B) Imagem de um grão de trigo integral aberto com exposição dos tecidos interiores, C) Representação esquemática do grão de trigo integral e estrutura interna. 1) pêlos do grão; 2) farelo; 3) camadas constituintes do farelo-pericarpo, testa e tecido nuclear; 4) aleurona; 5) endosperma, 6) escutelo e 7) embrião. Modificado de: <http://grain-gallery.de/en/wheat/images>; <http://athleanx.com/for-women/processed-food-health-claims-whole-grain>.

O centeio é um cereal usado regularmente na indústria panificadora e alimentar na produção de pães, bolos e produtos semelhantes (Mann *et al.*, 2002). O centeio é rico em FA contendo entre 13,0% e 17,0%, dos quais 8,0% a 12,1% são arabinosilano e 1,3% a 2,2% β -glucanos. A farinha obtida do centeio apresenta por isso um elevado teor de FS (15,0% a 25,0%) constituída principalmente por arabinosilano. A adição de farinha de centeio permite reduzir a quantidade de farinha de trigo usada e desta forma reduzir o teor de glúten dos produtos sem perdas significativas na elasticidade e estabilidade da massa, graças à viscosidade inerente do arabinosilano. Contudo a ocorrência de ligações cruzadas ao longo da cadeia do polímero reduzem a sua solubilidade e surtem o efeito contrário, a formação destas ligações é favorecida pelo cozimento do pão resultando num decréscimo da FS e aumento da FI (Belitz *et al.*, 2009; Rakha *et al.*, 2010; Andersson *et al.*, 2009). A Tabela 2 apresenta os valores obtidos por Shewry e colaboradores ao analisarem cinco variedades de centeio cultivadas na Europa, quanto aos teores de FA, FS e FI, no grão integral e no grão refinado de centeio (método Uppsala, AOAC 994.13).

Tabela 4.1-Valores obtidos para cinco variedades de centeio cultivadas na Europa (Haute Loire, Nikita, Rekrut, Dankowskie Zlote, Amilo) quanto ao teor de FA, FS e FI determinados pelo método AOAC 994.13.Uppsala, para o grão de centeio integral e farinha de centeio refinada de cada variedade.

Centeio (variedades)	Grão centeio integral	Farinha de centeio integral	
	FA (g/1000 grãos)	FA (% ms)	β-glucanos (% ms)
Haute Loire	22,28	16,30	1,83
Nikita	22,35	16,19	1,83
Rekrut	22,95	15,52	1,92
Dankowskie Zlote	21,77	15,13	1,89
Amilo	23,12	16,30	1,62

Fonte: Shewry *et al.*, 2010

A cevada tem quantidades significativas de β-glucanos, arabinoxilanos, celulose e lenhina apresentando 14,0% a 25,0% de FA (Newman *et al.*, 2008; Oscarsson *et al.*, 1996). A cevada constitui boa fonte de FS em particular de β-glucanos, a maior quantidade de β-glucanos encontra-se no endosperma, 70,0%, sendo a sua fracção menor na aleurona, apenas 26,0%, contudo a aleurona é mais rica em arabinoxilano, 67,0%, comparativamente ao endosperma, 20,0% (Newman *et al.*, 2008; Papageorgiou *et al.*, 2005; Vasanthan *et al.*, 2002). A cevada apresenta o maior teor de β-glucanos (2,5% a 11,3%) superando mesmo a aveia e o centeio (Izydorczyk *et al.*, 2008). Um elevado teor de FS embora desejável em termos alimentares, não é sempre favorável depende da aplicação a que se destina o cereal. A cevada é usada na produção de cerveja e o desenvolvimento de viscosidade interfere com determinadas etapas do processo (ex.: filtração), a farinha de cevada é usada na produção de pães, bolos e outros produtos alimentares, pode ainda ser consumida ao pequeno-almoço como muesli (Mann *et al.*, 2002; Newman *et al.*, 2008).

Relativamente aos cereais mais consumidos a nível mundial, milho, arroz e trigo, estes são ingeridos e usados em diversos produtos alimentares sob a forma de grãos refinados e o seu farelo e gérmen mais usados para rações animais. Apesar de serem fontes de fibra, pela forma como são manipulados pelo Homem acabam por contribuir para o elevado IG das refeições e alimentos que compõem, tendo apenas uma pequena contribuição para os níveis diários recomendados de ingestão de FA (Liangli *et al.*, 2012).

O arroz é apenas considerado como fonte de FA se consumido como arroz integral contendo ainda o seu farelo. O farelo do arroz é a sua fracção mais rica em nutrientes e fibra do grão (27,6% a 33,3%), o seu endosperma é uma boa fonte de amido e proteína, e o gérmen é formado principalmente por lípidos e proteínas (Arendt *et al.*, 2013; Savitha *et al.*, 2011). O arroz branco é a forma mais popular de consumo de arroz e resulta da moagem do cereal apenas para remoção do farelo e gérmen, é mais apelativo sensorialmente pela textura e sabor além de ser mais rápida a sua preparação. No que respeita a FA o arroz integral tem entre 2,9% e 4,0%, já o arroz branco apenas 0,7% a 2,3%. O farelo do arroz apresenta uma maior quantidade de FI que FS, respectivamente 30,6% e 11,7%. (Liangli *et al.*, 2012; Savitha *et al.*, 2011).

O arroz branco contém cerca de 90% de amido (massa seca, ms) o que corresponde a 72,0%-82,0% da massa do arroz integral, os grãos de amido presentes no endosperma apresentam uma proporção de amilose e amilopectina bastante variável consoante a variedade de arroz. O teor de amilose pode variar desde valores tão baixos quanto 1,0% - 2,0% até 25,0% - 33,0%, sendo os teores mais altos característicos da variedade de arroz mais apreciada a nível mundial. Como já

foi referido quanto mais elevado o teor de amilose maior a ocorrência AR3 consequente da sua preparação contribuindo para o teor de FA (Liangli *et al.*, 2012; Walter *et al.*, 2008).

Outro factor que contribui para ocorrência de AR3 é o próprio processamento do arroz. O arroz parabolizado é referente ao tratamento efectuado antes da moagem do arroz, consiste na demolhação dos grãos de arroz seguindo-se um cozimento a vapor a 70°C. Este processo é tradicional nos países asiáticos e altera determinadas características do grão do arroz. Além de se tornar mais translúcido e vítreo, o grão fica mais rijo e por isso resiste melhor à moagem sem partir, o seu tempo de cozedura aumenta e não há formação de goma. Nutricionalmente há menos perdas vitamínicas pois as vitaminas hidrossolúveis são difundidas para o endosperma durante o processo, mas principalmente dá-se a retrogradação do amido responsável pelo aspecto vítreo e obtenção de grãos soltos, havendo um aumento do teor de FA (Bhattacharya, 2011).

O milho é um cereal mais tradicional dos continentes Americanos em particular da América do Norte e Central (FAO, 1992). Usado na produção de farinha, tacos e tortilhas, produção de cereais de pequeno-almoço, *cornflakes*, consumido como vegetal fresco, sob a forma de pipocas, fermentado para produção de bebidas alcoólicas e processado para rações de animais, do endosperma do milho é extraído amido para produção industrial de xarope de milho, adoçantes e glicose (aditivos alimentares) e até para produção de materiais biodegradáveis (Mann *et al.*, 2002; Liangli *et al.*, 2012; Arendt *et al.*, 2013). O farelo do milho é composto principalmente por hemiceluloses (70,0 %), celulose (23,0%) e leninha (0,1%). O milho integral contém entre 8,3 g a 11,9 g de FA por 100 g, já o milho desprovido de farelo fornece em média apenas 7,0 g de FA por 100 g de alimento. É um cereal com elevado teor de amido que pode atingir cerca de 75,0% do peso seco do grão, o teor de amilose pode chegar aos 30,0% favorecendo a ocorrência de AR3 no seu processamento contribuindo para o valor final de FA do milho quando consumido como vegetal (Siddiq *et al.*, 2013; Arendt *et al.*, 2013).

Trigo é usado maioritariamente na produção de farinha refinada que serve de ingrediente base para produção de pães, bolos, bolachas, semolina e massas, estando por isso presente em quase todas as refeições, além de também ser consumido como cereal de pequeno-almoço. O trigo integral enquanto fonte de fibra fornece 10,2 g e 14,7 g de FI por cada 100 g de alimento, e somente 1,4 g a 2,3 g de FS. Não é considerado como uma boa fonte de FS, pois contrariamente aos cereais de aveia, cevada e centeio, apresenta teores muito baixos. O seu farelo é rico em arabinoxilano, 64,0% a 70,0%, celulose, 24,0% e apenas 6,0% de β -glucanos (Stevenson *et al.*, 2012; Ross, 2010; Izydorczyk *et al.*, 1995). Os produtos à base de farinha de trigo refinada não variam muito no teor de FA, cerca de $4,0\% \pm 0,6\%$, mas este valor pode ser significativamente aumentado se a farinha for de trigo integral ($\approx 9,0\%$) ou houver adição de farelo, contudo a adição de FA pode resultar na alteração de algumas propriedades sensoriais como textura e sabor (Gajula *et al.*, 2008). A Tabela 4.2 apresenta os valores obtidos para diferentes variedades de cereais de trigo, aveia, cevada, milho e uma variedade de centeio, cultivadas no Brasil, os valores apresentados são com base em massa seca para FA, FS e FI (método AACC 35.05) (Silva *et al.*, 2005).

Tabela 4.2- Valores de FA, FS e FI de cinco variedades de trigo, três variedades de aveia, três variedades de cevada, uma variedade de centeio e duas de milho, cultivadas no Brasil. Determinadas pelo método AACC 35.05.

	ms (g/100g)	FA (g/100g ms)	FI (g/100g ms)	FS (g/100g ms)
Trigo				
BR 23	87,27	15,14	13,08	2,060
CEP 24	88,17	13,41	12,13	1,280
EMBRAPA 16	87,14	15,16	12,80	2,370
EMBRAPA 48	87,79	14,18	12,33	1,850
EMBRAPA 49	87,73	16,61	13,02	3,590
Média		14,90	12,67	2,230
Aveia				
UFRGS 14	87,50	11,10	7,670	3,430
UFRGS 15	86,77	14,59	9,240	2,260
UFRGS 17	87,40	11,09	8,190	2,910
Média		12,26	8,370	2,870
Cevada				
BR 23	88,94	17,41	12,93	4,480
EMBRAPA 43	88,28	17,75	13,77	3,980
PFC 9205	88,47	17,79	13,82	3,960
Média		17,65	13,51	4,140
Centeio				
BR1	88,35	20,53	16,01	4,520
Média		20,53	16,01	4,520
Milho				
BR351	95,12	12,82	11,53	1,290
BR 5202 pampa	95,50	13,10	11,86	1,710
Média		12,96	11,70	1,500

Fonte: Silva *et al.*, 2005

4.2 Leguminosas

As leguminosas são as vagens ou frutos de plantas do tipo *Fabaceae*. A este grupo pertencem uma grande variedade de espécies usadas na alimentação humana como a ervilha lisa (*Pisum sativum L.*), lentilhas (*Lens esculenta*), feijão comum (*Phaseolus vulgaris L.*), grão (*Cicer arietinum L.*), e favas (*Vicia faba*), algumas leguminosas destacam-se pelo seu elevado teor lipídico sendo por isso denominadas oleaginosas como o amendoim e o feijão de soja (Messina, 1999; McCrory *et al.*, 2010; Khan *et al.*, 2007). As leguminosas além de boas fontes proteicas são uma excelente fonte de FA, de modo geral apresentam níveis superiores aos dos cereais, particularmente de FS (Khan *et al.*, 2007, Kutos *et al.*, 2002). Podem apresentar diferentes cores, formatos, tamanhos, espessura da casca da semente mas de forma geral a estrutura é bastante semelhante e formada por três componentes maioritários, a casca da semente, o endosperma e o embrião (Tiwari *et al.*, 2012).

Os glúcidos presentes em leguminosas constituem em média 50,0% a 65,0% do seu peso, dos quais 35,0% a 45,0% é amido e entre 15,0% a 32,0% FA, onde o teor de FS sobre FA varia entre 25,0% a 66,0% (McCrory *et al.*, 2010; Hedley, 2001). No que respeita a polissacáridos estruturais apresentam quantidades significativas de celulose (24,0%-30,0% ms), pectinas (28,0%-41,0% ms), hemiceluloses (15,0%-24,0% ms) e lenhina em menor quantidade (0,4%-0,6% ms). As pectinas e algumas hemiceluloses compõem a fracção de FS tão elevada nas leguminosas, os β -glucanos são quase inexistentes nas leguminosas contrariamente ao que se verifica nos cereais e tubérculos (Tiwari *et al.*, 2012; Khan *et al.*, 2007). A composição do amido das leguminosas tem amilose como principal fracção, e por este motivo são mais propensas à retrogradação do amido após a sua preparação que usualmente envolve o cozimento em água (Rehinan *et al.*, 2004, McCrory *et al.*, 2010).

As leguminosas não são consumidas cruas, o seu processamento e preparo implica a remoção da casca, reidratação e cozimento, embora possa eliminar determinados compostos antinutricionais como inibidores de tripsina, ácido fítico e inibidores de α -amilase (Vidal-Velverde *et al.*, 1994) aumentando o valor nutricional das leguminosas, por outro lado o seu cozimento altera a sua composição, principalmente no que diz respeito à FA e amido (Wang *et al.*, 2009; Li, 1995). O seu cozimento induz um aumento nos valores de amido e FA, verificando-se um redução na %FS e aumento da %FI, também há alterações em relação à quantidade de AR que por norma também aumenta (Wang *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2006). Os valores de AR estão dependentes do método seleccionado, usualmente a fracção de AR é subcalculada (apenas a fracção de amilose é calculada) e a porção não digerível do alimento acaba por ser inferior à real (Goñi *et al.*, 1996). Estas variações nos teores de FA, amido e AR têm sido atribuídas à perda de sólidos solúveis durante a cozedura aumentando a concentração de FA, amido e AR, outros autores indicam a possível ocorrência de complexos constituídos por polissacáridos e outros componentes do alimento, como proteínas e compostos fenólicos, resultando em valores mais elevados. Tal verifica-se com os oligossacáridos, estes glúcidos estão presentes em quantidades significativas em leguminosas, como por exemplo o feijão comum que contem entre 2,5% a 5,0% (ms) de oligossacáridos já o grão pode apresentar até 10,0% (ms) e as ervilhas até 7,6% (ms) em determinadas variedades. Durante a demolhação e cozimento estes compostos solubilizam e passam para a água que é normalmente descartada resultando numa perda de massa. Quanto maior o número de substituição da água de cozimento ou de demolhação, maior a eliminação de oligossacáridos (Li, 1995; Messina, 1999; Wang *et al.*, 2010; Tosh *et al.*, 2010; Zdunczyk *et al.*, 1997; Rodríguez *et al.*, 2006).

A definição do CCA deixa a cargo das autoridades de cada país a inclusão ou exclusão de oligossacáridos na definição de FA. Tendo dito, para os países que reconhecem oligossacáridos como um constituinte de FA, as leguminosas constituem assim uma ótima fonte deste tipo de FA (Wenzel de Menezes *et al.*, 2013). É importante referir que muitos dos estudos efectuados para determinar as quantidades de FS, FI e FA nestes alimentos foram realizados em produtos crus em vez de produtos processados e próprios para consumo, a informação que se segue diz respeito a alguns estudos que tiveram em conta o processamento das leguminosas ao ser analisado o seu teor de FA (Kutos *et al.*, 2002).

Na análise comparativa levada a cabo por Wang e colaboradores quanto ao teor de FA, FS, FI (método enzimático-gravimétrico AACC 35-05) e AR (AACC 32-40) de 8 variedades de lentilhas (Laird, CDC Sovereign, CDC Richlea, CDC Vantage, Eston, Milestone, CDC Robin e CDC Blaze), com casca, e cozidas com casca e sem casca (dhal), foram notórias as variações percentuais destes constituintes. Nesta análise verificou-se um impacto significativo da presença da casca. Os teores de amido e de AR aumentaram independentemente da presença de casca, contudo o primeiro foi mais acentuado na ausência de casca e o segundo na presença de casca. Nas lentilhas inteiras houve um aumento de FI e FA e redução de FS, ao ser removida a casca antes do cozimento os valores de FI, FA e FS diminuíram significativamente (Wang *et al.*, 2009). Sabe-se que a remoção da casca das leguminosas reduz notoriamente o teor de FA e de FI por ser composta por celulose, hemicelulose e lenhina (Ramulo e Rao, 1997), neste estudo os teores de FI, FS e FA para lentilhas com casca foram respectivamente 133,9 g/kg a 161,1 g/kg (ms), 12,7 g/kg a 16,5 g/kg (ms), e 149,1 g/kg a 173,7 g/kg (ms). Os valores de dahl foram bastante inferiores: FI-63,6 g/kg a 73,5 g/kg (ms), FS-9,5 g/kg a 13, 4g/kg (ms) e FA-74,7 g/kg a 83,1 g/kg (ms) (Wang *et al.*, 2009). À semelhança dos cereais integrais, é preferível o consumo de lentilhas com casca por apresentar mais fibra e desta forma mais benefícios para a saúde, embora a forma mais usual de consumo seja o dhal quer pela rapidez de preparo ou pela textura mais atractiva.

Costa e colaboradores analisaram quatro dos cinco tipos de leguminosas referidas no início, cruas e após cozimento. O feijão comum apresentou uma maior percentagem de FS, 2,60% ± 0,57% (ms), seguido da ervilha, 2,38% ± 0,77% (ms), em termos de FA as ervilhas e feijão comum apresentaram valores semelhantes, cerca de 25,00% (ms), seguindo-se as lentilhas com cerca de 23,00% (ms) e o grão com a quantidade mais baixa cerca de 15,00% (ms). Também neste estudo verificou-se um aumento de FA e FI após cozimento mas não houve diminuição do teor de FS mas sim de AR (Costa *et al.*, 2006).

Celulose, hemicelulose, lenhinas, pectinas, AR e oligossacáridos são os principais compostos presentes nas leguminosas que não representam uma fonte nutricional para o Homem, dada a sua composição fornecem maiores quantidades de FA, e principalmente de FS, em relação às quantidades obtidas com o consumo de cereais (Buttriss *et al.*, 2008, Kutos *et al.*, 2002).

Em comparação aos cereais, as leguminosas têm uma maior quantidade de amilose. Os valores reportados, em percentagem, de amilose nos grãos de amido presentes no endosperma foi de 30,4% a 35,0% no grão, nas lentilhas entre 23,5% e 32,3%, na ervilha lisa 24,0% e 49,0% e para a fava entre 17,0% e 42,0%. Além de ser maior a ocorrência de AR1 nas leguminosas por terem paredes celulares mais espessas em relação aos cereais, também a formação de AR3 é potenciada no seu cozimento devido à sua composição rica em amilose. A variedade de ervilha enrugada é um exemplo de uma leguminosa com um teor extremamente alto de amilose, entre 60,5% e 88,0%, sendo este o componente maioritário dos grãos de amido. O teor de AR3 determinado no grão chegou aos 18,4%, nas lentilhas aos 13,0% e para a ervilha lisa 12,6% (Hoover *et al.*, 2010, Buttriss *et al.*, 2008). A Tabela 4.3 apresenta os valores de FA, FS e FI para as leguminosas de feijão, grão, lentilhas e ervilhas, cruas sem processamento (Tosh *et al.*, 2010).

Oleaginosas como a semente de linhaça, a soja, o amendoim e a semente de girassol, entre outras, são mais usadas pela indústria na produção de óleos alimentares. Na Tabela 4.4 encontram-se sumarizados os valores de FA de algumas oleaginosas, e as percentagens relativamente ao teor de lípidos e glúcidos disponíveis.

Tabela 4.3- Valores de FA, FS e FI para feijão, grão, lentilhas e ervilha (lisa) cruas e sem processamento

	FA (g/100g)	FI (g/100g)	FS (g/100g)
Feijão seco (<i>P. vulgaris</i>)	23-32	20-28	3-6
Grão (<i>C. arietinum</i>)	18-22	10-18	4-8
Lentilhas (<i>L. culinaris</i>)	18-20	11-17	2-7
Ervilhas secas (<i>P. sativum</i>)	14-26	10-15	2-9

Fonte: Tosh *et al.*, 2010.

Tabela 4.4- Composição de castanha de caju, amendoim, avelã, pistáchio, amêndoa, noz e semente de linhaça quanto ao teor de lípidos, glúcidos disponíveis e FA.

	Lípidos (%)	Glúcidos disponíveis (%)	FA (%)
Castanha de caju	42,2	30,5	2,90
Amendoim	47,5	7,50	11,7
Aveã	66,0	10,5	8,20
Pistachio	53,5	11,6	10,6
Amêndoa	56,0	5,40	13,5
Noz	64,4	10,6	6,10
Semente linhaça	37,5	22,5	10,0

Fonte: Belitz *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2011.

4.3 Frutas e Vegetais

O termo “vegetal” é referente a todas as partes de plantas que representem uma fonte de alimento para o Homem, excluindo frutos completamente formados e sementes. Uma definição tão abrangente inclui elementos tão diversos como raízes (cenouras, nabo, rabanete), tubérculos (batata, mandioca), talos (aipo), folhas (alfaces, couves, espinafres), frutos ainda em desenvolvimento (pepino, courgette) entre outros. Nutricionalmente o consumo de vegetais permite obter determinados micronutrientes em maior quantidade do que através do consumo de cereais, leguminosas ou produtos animais (Sinha *et al.*, 2011).

Os glúcidos são o segundo componente mais abundante nos vegetais a seguir à água, os tubérculos e raízes são os que apresentam maiores quantidades de glúcidos. Relativamente a FA os vegetais de forma geral são fontes de FA, dada a sua natureza a sua composição estrutural é rica em celulose (componente maioritário), hemiceluloses, lenhina entre outros constituintes como pectinas. O teor de fibra nos vegetais é em média 28% a 30% (ms), e está mais concentrada na casca ou tecidos exteriores dos vegetais, desta forma é aconselhável o consumo de vegetais com pele/casca tanto quanto possível e assim tirar maior partido destes alimentos (Rodríguez *et al.*, 2006; Sinha *et al.*, 2011).

Os vegetais que contêm maior quantidade de FA são usualmente as folhas e talos, mas também alguns tubérculos e raízes. Os vegetais podem ser consumidos crus mas na sua maioria são consumidos cozinhados, contudo a informação disponível sobre os teores de FA, e respectivas fracções solúvel e insolúvel, antes e depois do processamento dos vegetais é limitada (Sinha *et al.*, 2011; Khanum *et al.*, 2000).

Entre os tubérculos de maior consumo e relevantes sobre o ponto de vista da FA estão a batata (*Solanum tuberosum* L), beterraba (*Beta vulgaris*), mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). A batata é considerada uma fonte de energia pelo elevado teor de amido, cerca de 80% (ms), quando cozinhada e refrigerada sem remoção da casca, o seu teor de FA é mais elevado comparativamente aos teores detectados em batatas confeccionadas do modo mais tradicional, ou seja, desprovidas de casca e acabadas de preparar. Esta variação resulta mais uma vez da ocorrência de AR3 e remoção da casca composta por celulose, hemicelulose e lenhina. Apesar do teor de amilose variar de acordo com o tipo de batata e condições de cultivo (composição do solo, rega, etc.) em média os grãos de amido da batata apresentam cerca de 20% de amilose e 80% de amilopectina, quando cruas as batatas apresentam elevados teores de AR2, chegando a constituir 75% do amido da batata. O amido presente nas batatas cruas apresenta uma cristalização do tipo B sendo muito resistente à digestão (Fuentes-Zaragoza *et al.*, 2010). O tratamento térmico induz alterações na estrutura do amido, quando acabadas de cozinhar o IG das batatas é elevado e o amido facilmente hidrolisado por α -amilases, ao serem arrefecidas há retrogradação do amido e os níveis de FA aumentam. Mishra e colaboradores, compararam o efeito do arrefecimento na ocorrência de AR em batatas através de digestão *in vitro*. As análises foram efectuadas em batatas cruas, cozinhadas e cozinhadas e arrefecidas. Nas batatas cruas os níveis de AR foram superiores a 80%, nas batatas cozinhadas sem arrefecimento os níveis de AR foram inferiores a 10%, em contraste com estas últimas as batatas cozinhadas apresentavam níveis de AR entre 20% e 40%. (Mishra *et al.*, 2008) As batatas sem casca apresentam em média 3,5 g de FA por 100 g de alimento, este valor é aumentado para 4,0 g por 100 g quando preparadas com casca, estes valores correspondem a valores obtidos em batatas acabadas de preparar, quando sujeitas a arrefecimento (Sinha *et al.*, 2011; Lanza *et al.*, 1988).

Também a batata-doce (*Ipomoea batatas* L) é vista como uma boa fonte de fibra, a quantidade de glúcidos na batata-doce é maior que na batata, cerca de 28,0 g por 100 g, em média fornece

cerca de 2,6 g de fibra por 100 g de alimento cozido e sem casca, com casca o valor é ligeiramente superior, 2,96 g (INSA, Tabela de Composição de Alimentos, consultado a 2013; Giuntini *et al.*, 2003). A beterraba é usada para produção de açúcar, consumida quer crua ou preparada, este tubérculo apresenta cerca de 2,6 g de fibra por cada 100 g de alimento quando cru, e cerca de 3,0 g de FA quando cozida. Não se verifica a ocorrência de amido resistente neste tubérculo, o nível de FS é notoriamente mais elevado que em outros vegetais semelhantes, entre 10% e 20% e a sua FA é constituída por hemiceluloses, celulosas, pectinas e lenhina em menor quantidade (Giuntini *et al.*, 2003, Cho *et al.*, 2001).

A mandioca por sua vez, mesmo quando cozinhada fornece 2,0 g de FA por 100 g de alimento. Este tubérculo é mais consumido em regiões tropicais e também é usado para produção de farinha em países como Brasil. Nas análises nutricionais efectuadas por Raupp e colaboradores a 5 variedades de farinha de mandioca e ao bagaço de mandioca (resíduo resultante da produção de farinha) os teores de FA obtidos foram de 18% e 25% (ms) para as farinhas e cerca de 43% (ms) para o bagaço. Este último pode assim constituir uma potencial fonte de FA para a indústria alimentar como aditivo para aumentar o teor de fibra de alimentos processados (Raupp *et al.* 1999, TBCA/USP, 2008).

As cenouras são mais reconhecidas pelo seu valor vitamínico de β -carotenos, contudo estas raízes também apresentam um valor significativo de FA, 2,8% (Sinha *et al.*, 2011). Para este vegetal em particular é possível encontrar alguns estudos referentes ao impacto do processamento. Svanberg e colaboradores analisaram 8 cultivares de cenouras pertencentes a quatro grupos diferentes Amsterdamer (Amarant), Nantes (Bull,Rondino, Tourino), London torg (Lonto, KaŽ mpe) e Amager-Flakkeer (Regol, Flakkeer), e verificaram as variações nas fracções de FS e FI quando sujeitas a cozimento em água temperada com sal (2 g/l NaCl) e congeladas, por comparação com os valores de cenouras congeladas cruas, aplicando o método enzimático-gravimétrico. Nas análises iniciais o teor de FA em cenouras cruas congeladas era em média 274 g/kg (ms), e a quantidade de FS e FI eram respectivamente 145 g/kg (ms) e 129 g/kg (ms). Nas cenouras que foram cozidas verificou-se uma redução média de 10% no teor de FA, sendo os valores finais de 247 g/kg de FA, 131 g/kg de FS e 116 g/kg de FI (Svanberg *et al.*, 1997).

Os vegetais que resultam das folhas e talos de plantas apresentam elevados teores de água e glúcidos, destes últimos a maioria são polissacáridos estruturais e lenhina que compõem os tecidos das folhas. As couves (couve portuguesa, couve-flor etc.), alfaces, espinafres, espargos, brócolos, em média fornecem entre 1,0 g e 3,0 g de FA por cada 100 g de alimento quando crus, as couves de bruxelas destacam-se deste grupo com 3,8 g de FA e a alcachofra com 5,0 g de FA. Enquanto na maioria das folhas a FA é maioritariamente insolúvel, a alcachofra apresenta um elevado teor de FS. O coração da alcachofra é particularmente rico em FS, 26,74%, e FI, 18,11%, este vegetal não apresenta amido pois o armazenamento de energia é feito sob a forma de inulina (López *et al.*, 1996; INSA, Tabela de Composição de Alimentos consultado a 2013).

Tabela 4.5- Teor de FA, FI e FS em g/100 g massa seca de goiaba, anona, figo, pera, maçã, ameixa, ananás, romã, morango, banana, pêssego, uvas, laranja e melancia; pelo método enzimático-gravimétrico de Prosky.

Fruta	Húmidade (g/100 g)	FA (g/100 g ms)	FI (g/100 g ms)	FS (g/100 g ms)
Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	81,20±1,03	8,50±0,44	7,10±0,40	1,40±0,01
Anona (<i>Anona squamosa</i>)	76,70±2,54	5,50±0,20	4,00±0,15	1,50±0,08
Figo (<i>Ficus carica</i>)	75,40±0,88	5,00±0,21	2,60±0,09	2,40±0,17
Pera (<i>Prunus persica</i>)	85,40±1,03	4,30±0,25	4,00±0,23	0,30±0,03
Maçã (<i>Malus sylvestris</i>)	86,40±0,41	3,20±0,21	2,30±0,19	0,90±0,05
Ameixa (<i>Prunus domestica</i>)	85,70±0,44	2,80±0,07	2,80±0,07	1,70±0,05
Ananás (<i>Ananas comosus</i>)	86,00±0,60	2,80±0,13	2,80±0,13	2,30±0,12
Romã (<i>Punica granatum</i>)	81,30±0,48	2,80±0,11	2,80±0,11	2,30±0,07
Morango (<i>Fragaria vesca</i>)	92,90±0,74	2,30±0,11	2,30±0,11	1,60±0,08
Banana (<i>Musa paradisiaca</i>)	81,10±1,54	1,80±0,12	1,80±0,12	1,10±0,02
Pêssego (<i>Amygdalis persica</i>)	88,20±0,84	1,60±0,04	1,10±0,02	0,50±0,03
Uvas (<i>Vitis vinifera</i>)	85,10±0,74	1,20±0,06	0,80±0,04	0,40±0,02
Laranja (<i>Citrus aurantium</i>)	88,40±0,37	1,10±0,03	0,60±0,03	0,50±0,03
Melancia (<i>Citrullus vulgaris</i>)	96,40±0,08	0,60±0,02	0,30±0,01	0,30±0,01

Fonte: Ramulu *et al.*, 2003.

As frutas tal como os vegetais são compostas principalmente por água, as paredes celulares são mais finas e desta forma apresentam teores mais baixos de fibra, contudo ao ser incluídas na alimentação a contribuição de fibra é significativa (Rodríguez *et al.*, 2006; Ramulu *et al.*, 2003). A Tabela 4.5 reúne os valores de FA, FS e FI de algumas frutas de consumo mais comum. Nas frutas a proporção de FS em relação à FI é superior à verificada em cereais, leguminosas e vegetais (Nawirska *et al.*, 2005).

Também a banana verde apresenta valores elevados de FS. Este fruto é usado na produção de farinhas usadas na alimentação de países da América do Sul entre os quais o Brasil. Os teores de FS e FI foram determinados em variedades de banana verde cultivadas no Brasil por Mota e colaboradores., nomeadamente Ouro colatina, Nanica, Nanicão, Prata anã, Prata comum, Mysore, Maçã e Ouro da mata. As percentagens de FS variaram entre 2,10% e 3,05%, já os teores de FI variaram entre 4,10% e 12,56% (método usado enzimático-gravimétrico). As farinhas à base de banana verde apresentaram elevados teores de FA, entre 6,0% e 15,5%, e teores de amilose presente nos grãos de amido de 19,0% a 23,0%. Embora seja uma forma processada do fruto e sujeito a modificações com o seu preparo, este é um exemplo de uma boa fonte de fibra na alimentação (Mota *et al.*, 2000).

4.3 Possíveis fontes de fibra alimentar

Na indústria alimentar os desperdícios associados ao processamento de alimentos para obtenção de outros géneros alimentares, são extremamente elevados. Os resíduos produzidos são usualmente ricos em nutrientes e fibra, e usados ou como fertilizantes ou como ração para animais. O seu reaproveitamento tem vantagens tanto para a indústria alimentar como para o consumidor. Após o tratamento devido, muitos destes resíduos podem ser aproveitados para produção de aditivos alimentares ou usados como ingredientes, contribuindo para um aumento do

teor de FA e aumento do valor nutricional. A casca dos frutos e cereais é um exemplo de resíduos com potenciais aplicações na indústria alimentar (Grigelmo-Miguel *et al.*, 1999; Elleucha *et al.*, 2011).

Um fruto que embora tenha uma grande procura a nível mundial pelos produtos que origina, e não é tradicionalmente consumido cru, é o cacau. A casca do cacau é rica em vários compostos nutricionais entre os quais a fibra alimentar, com teores entre 38% e 44% (Lecumberri *et al.*, 2007).

Na produção de sumos de fruta, esta é prensada e a fração sólida (bagaço) é o principal resíduo produzido. Grigelmo-Miguel e colaboradores., analisaram o teor de FA de diversos resíduos da indústria alimentar como o farelo de trigo, farelo de aveia, bagaços de fruta: maçã, pera, laranja e pêsego, e ainda frações resultantes do processo de enlatamento de alcachofra e espargos. O método aplicado para determinação de FA, FS e FI foi o método enzimático-gravimétrico. Através dos resultados obtidos verificaram que os teores de fibra nestes resíduos eram elevados. Para os bagaços de fruta os resultados em matéria seca por 100 g de bagaço de FA foram de $60,1 \pm 0,4$ g (ms) para maçã, $36,1 \pm 0,2$ g (ms) pera, $37,8 \pm 0,3$ g (ms) laranja e $35,8 \pm 0,2$ g (ms) para o bagaço de pêsego, estes valores foram superiores aos obtidos para o farelo de trigo e de aveia, $44,0 \pm 0,3$ g (ms) e $23,8 \pm 0,3$ g (ms), respetivamente. Os rácios de FS:FI foram mais elevados nos bagaços de fruta que nos farelos dos cereais, sendo a FI a fração principal, de $20,2 \pm 0,1$ g (ms) a $46,3 \pm ,2$ g (ms), enquanto os teores de FS variaram entre $2,9 \pm 0,3$ g (ms) e $14,1 \pm 0,2$ g (ms) (Grigelmo-Miguel *et al.*, 1999). O farelo de cereais já é adicionado a produtos de panificação numa tentativa de aumentar o teor de FA, o bagaço de fruta pode ser usado para o mesmo fim. O bagaço de fruta além de aumentar o teor de FA, também contribui com teores de FS superiores aos obtidos com a adição de farelo de cereais (Masoodi *et al.*, 2002). Outro estudo que se focou no teor de fibra de um resíduo alimentar, foi o elaborado por Larrauri e colaboradores sobre a casca do ananás resultando da produção de ananás em calda enlatado. O pó obtido da secagem e moagem das cascas foi analisado quanto ao teor de FA aplicando o método enzimático-gravimétrico. Os níveis de FI obtidos foram mais elevados que os de FS. Neste estudo o pó foi ainda sujeito a uma análise sensorial onde o painel de provadores descreveu-o como neutro em cor e sabor. Segundo os autores deste estudo, face aos resultados obtidos da casca de ananás em pó constatou-se que é uma fonte viável de fibra com aplicações na indústria alimentar (Larrauri *et al.*, 1997). A casca de citrinos, manga, uvas, ananás, melão, bananas entre muitas outras constituem uma fonte de fibra a baixo custo para a indústria alimentar (Larrauri *et al.*, 1999) Também as sementes dos frutos estão incluídas nos resíduos. Das sementes de maracujá, por exemplo, é possível isolar o seu farelo que também é rico em FA, cerca de 59% (ms) (Ferrari *et al.*, 2004).

As algas embora ainda não muito presentes na alimentação ocidental são um ingrediente tradicional da cozinha oriental. As algas apresentam valores consideráveis de FA. Alguns polissacáridos extraídos de algas são usados na indústria alimentar devido à capacidade de formação de géis e viscosidade. A FA é o componente maioritário das algas constituindo entre 25% a 75% do seu peso seco, a FS é a fração principal. As algas usadas para consumo são na sua maioria algas castanhas, as *Laminaria*, *Undaria* e *Hijiki*, e algumas algas vermelhas como *Porphyra* (Jimenez-Escrig *et al.*, 2000; Gómez-Ordóñez *et al.*, 2010). Os teores de FA de algas castanhas e vermelhas comestíveis (algas castanhas: *Himanthalia*, *Bifurcaria* e *Laminaria*, algas vermelhas: *Mastocarpus* e *Gigartina*) provenientes da costa espanhola, foram determinados por Gómez-Ordóñez e colaboradores, usando o método enzimático-gravimétrico. Os teores de FA obtidos variaram entre $29,31\% \pm 0,34\%$ (ms) e $37,14\% \pm 0,86\%$ (ms), de FS foram de $17,12\% \pm 0,84\%$ (ms), e quanto à FI variaram de $7,41\% \pm 0,12\%$ (ms) e $13,51\% \pm 0,45\%$ (ms). Estes

valores não incluem o tipo *Bifurcaria*, pois as restantes algas apresentaram frações de FS superiores às de FI, enquanto a *Bifurcaria* verificou-se o inverso, FI-22,79%±0,97% (ms) e FS-14,64%±0,68% (ms) (Gómez-Ordóñez *et al.*, 2010). Dados os valores de fibra e a qualidade da fibra presente em algas, o aumento do seu consumo seria mais um auxílio na prevenção de muitas doenças associadas à alimentação referidas anteriormente, quer por isolamento e extração de fibras para aplicação noutros produtos da indústria alimentar, ou por inclusão na alimentação do dia a dia. A Tabela 4.6 apresenta valores de FA, FS e FI de sete tipos de algas marinhas analisadas pelo método enzimático-gravimétrico (Jimenez-Escrig *et al.*, 2000).

A produção de pós de FA obtida de resíduos industriais alimentares tem vindo a crescer, principalmente a partir de cascas, bagaços e sementes de fruta superando a recuperação de resíduos de cereais por questões sensoriais e até funcionais (maior teor de FS), também o desenvolvimento de fibras sintéticas tem vindo a crescer e têm-se verificado um desenvolvimento crescente de novos produtos resultantes da procura de formas inovadores e rentáveis de incorporar FA na alimentação.

Tabela 4.6- Teores de FA, FS e FI para 7 tipos de algas –Nori, Hijiki, Wakame, *Ulva lactuta*, *Enteromorpha* spp., *Himantalia elongata*, *Eisenia Bycyclis* (método enzimático-gravimétrico).

	FA (% ms)	FS (% ms)	FI (% ms)
Nori	34,7	17,9	16,8
Hijiki	49,2	32,9	16,3
Wakame	35,3	30,0	5,30
<i>Ulva lactuta</i>	38,1	21,3	16,8
<i>Enteromorpha</i> spp.	33,4	17,2	16,2
<i>Himantalia elongata</i>	32,7	25,7	7,00
<i>Eisenia Bycyclis</i>	74,6	59,7	14,9

Fonte: Jimenez-Escrig *et al.*, 2000.

5 Consumo de Fibra Alimentar

O perfil alimentar humano sofreu alterações bastante significativas com a introdução de práticas agrícolas há mais de 10.000 anos, estas foram acentuadas pelo contínuo desenvolvimento industrial e tecnológico refletindo-se na quantidade de macro e micronutrientes obtidos, na variedade de alimentos consumidos e, inevitavelmente, na quantidade de fibra alimentar ingerida. Nas sociedades ditas mais desenvolvidas as mudanças alimentares mais marcantes, que ocorreram nos últimos dois séculos, estabeleceram-se no espaço de apenas algumas décadas nos países de transição e em desenvolvimento. As principais alterações consistem no aumento do consumo de alimentos processados com elevados teores de açúcares simples e sal, de trigo e produtos à base de farinha de trigo, e um aumento continuado de carne e produtos de origem animal ricos em gorduras saturada, em simultâneo há um declínio no consumo de leguminosas, cereais, raízes e tubérculos. O único cereal que não acompanhou esta tendência, à exceção do trigo, foi o arroz e somente nos países em desenvolvimento (WHO, 2003; Kearney, 2010; Schmidhuber, 2007; Kendall *et al.*, 2010).

As alterações referidas estão representadas na Tabela 5.1 e no gráfico da Figura 5.1, os valores dizem respeito ao período entre 1963 e 2003 (40 anos) e a contribuição de cada grupo de alimentos para o a ingestão diária calórica *per capita*. As alterações nos hábitos alimentares foram muito mais abruptas nos países em desenvolvimento onde a contribuição calórica de leguminosas, raízes e tubérculos diminui acentuadamente. Nos países industrializados o consumo destes produtos já era bastante baixo, ainda assim a variação foi mais significativa em relação ao consumo de tubérculos e raízes. O aumento global do consumo de trigo está mais uma vez associado ao consumo de produtos processado e refinados resultando na perda de variedade nos cereais consumidos (Kearney, 2010).

Tabela 5.1- Valores de contribuição calórica (kcal) de consumo diário *per capita* de carnes, açúcar, leguminosas, raízes e tubérculos, trigo, arroz e gorduras vegetais, e variação registrada desde 1963 até 2003 em países em desenvolvimento e países industrializados.

	Países em desenvolvimento			Variações em 40 anos	Países industrializados			Variações em 40 anos
	1963	1983	2003		1963	1983	2003	
Carne	147	210	369	119%	833	929	958	15%
Açúcar	75	128	170	127%	349	337	328	-6%
Leguminosas	167	113	99	-41%	40	29	37	-7.50%
Raízes e tubérculos	178	157	154	-13%	145	112	112	-23%
Trigo	245	453	457	87%	592	559	627	6%
Arroz	580	694	655	13%	188	145	153	-19%
Gorduras vegetais	80	145	239	199%	241	385	494	105%

Fonte: Kearny, 2010.

A informação disponível sobre os níveis de consumo de FA é escassa, apenas alguns países possuem dados estatísticos e, na sua maioria, as autoridades nacionais optam por estimar os valores de FA consumida tendo por base os padrões alimentares das populações (Cho *et al.*, 2001; Kearny, 2010).

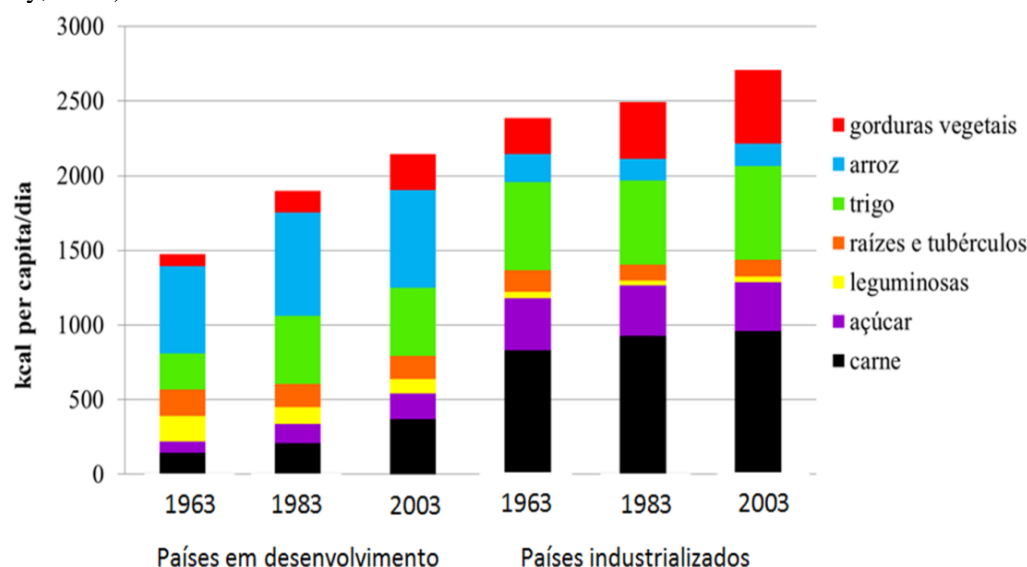


Figura 5.1- Representação gráfica da evolução da contribuição calórica para a dose diária per capita de ingestão de calorias, desde 1963 até 2003, em países em desenvolvimento e em países industrializados. Fonte: Kearney, 2010

Os níveis recomendados e a realidade de consumo de FA são bastante díspares. Segundo o relatório da EFSA (EFSA, 2010) o consumo médio de FA por adulto na Europa varia entre 16 g e 29 g por dia, sendo de forma geral inferiores às 25 g/dia recomendadas. No Japão os níveis de consumo de FA são igualmente inferiores aos recomendados, enquanto o pretendido são entre 20 g e 25 g/dia, a média de consumo da população raramente atinge os mínimos, variando entre cerca de 13 g e 18 g/dia. No Brasil o consumo de FA tem vindo a diminuir (valores estimados com base no regime alimentar praticado) passando de cerca de 19 g/dia nos anos 70 para 12 g/dia no final da década de 90, estando bastante abaixo das 20 g/dia recomendadas. Nos EUA as recomendações de ingestão de fibra são de 25 g a 38 g/dia, contudo dificilmente a população atinge os mínimos recomendados de FA. Entre 1999 e 2000 a média de ingestão de FA era de 15,6 g/dia, aumentando para 15,9 g/dia entre 2007 e 2008. Tal como no início da história da FA é no continente africano que os níveis médios de ingestão de FA são mais elevados variando entre 40 g e 60 g/dia (Cho *et al.*, 2001; King *et al.*, 2012; Fukuda *et al.*, 2007; Kearny, 2010) Na Tabela 5.2 são apresentados os valores recomendados de ingestão de FA para alguns países.

Tabela 5.2-Valores recomendados de ingestão de fibra de vários países.

		Fibra Alimentar (g/dia)	
EUA	Mulheres	25	
	Homens	38	
Holanda		32-45	
França		25-30	
Alemanha		30	
Chile		25-30	
Suíça		30	
Reino Unido		18 (NSPs)	
União Europeia		25	
Hong Kong		20	
India		20-40	
Japão		20-25	
Filipinas		20-25	
Singapura		20-30	
Coreia do Sul		25	
Brasil		20	
Tailândia		20	
Austrália	Mulheres	28	
Nova Zelândia	Homens	38	
Canadá	Mulheres	19-50 anos	25
		≥51anos	21
	Homens	19-50 anos	38
		≥51anos	30

Fonte: Cho et al., 2001; Kearny, 2010; WHO, 2003;
<http://www.kellogg.co.jp/update/>; Fukuda et al.,2007;
<http://www.nrv.gov.au/disease/summary.htm>

Como consequência as doenças de maior peso na sociedade europeia atual são obesidade, diabetes tipo 2, doenças cardiovasculares e cancro, classificadas como doenças não comunicáveis (non-communicable diseases - NCDs) e têm sido desenvolvidas metodologias e campanhas numa tentativa de contrariar o crescente número de casos registados anualmente. Algumas das medidas sugeridas têm por base um aumento do conhecimento das populações relativamente à alimentação, iniciativas como o ensino escolar de preparação de refeições equilibradas e nutritivas, rótulos mais informativos, um maior controlo da publicidade a comida na *media*, bem como medidas que procurem minimizar o problema na sua origem como por exemplo a demanda aos produtores industriais do setor alimentar para reduzirem os teores de sal e açúcar nos alimentos processados bem como redimensionar as porções individuais (Schmidhuber, 2007; FAO, 2006). Estas doenças além de representarem um custo extremamente alto em termos de despesa com a saúde pública, são as principais causas de morte a nível mundial, de acordo com a WHO (2010) foram responsáveis pela morte de 36 milhões de pessoas em 2008, das quais 48% das mortes foram atribuídas a doenças cardiovasculares, uma taxa de mortalidade superior à do cancro responsável por 21% das mortes por NCD nesse mesmo ano. Em 2008 o aumento foi bastante significativo em relação aos números de 2002 onde o número de mortes resultantes de NCDs rondava os 28 milhões, este quadro alarmante também se verifica na EU e as NCDs já são consideradas como uma epidemia entre os estados membros (FAO, 2003; WHO, 2003; WHO, 2010; Gibney *et al.*, 2009).

Desde o desenvolvimento da “Hipótese da Fibra Alimentar” até ao presente, que os estudos efetuados sobre a FA e o seu impacto positivo na saúde têm demonstrado eficácia na prevenção e controle das doenças acima referidas, pois uma dieta rica em FA tem uma baixa densidade energética. Contudo é importante mencionar que estes benefícios não são atribuídos exclusivamente à fibra mas também a outros compostos ligados à FA como micronutrientes, antioxidantes, compostos fenólicos, fito-estrogénios entre outros, que têm um efeito protetor sobre o organismo (DeVries 2003, AACC 2001 Champ 2003, McCleary 2003, Buttriss *et al* 2008). Apesar de haver um excesso alimentar verifica-se uma subnutrição crónica em muitos países europeus, pois alimentos de elevada densidade energética não são necessariamente nutritivos, desta forma o consumo regular de alimentos ricos em FA contribui para a obtenção de micronutrientes e prevenção de NCDs (Champ, 2003; Schmidhuber, 2007).

5.1 Comportamento fisiológico e benefícios para a saúde

5.1.1 Obesidade

Obesidade consiste num excesso de gordura corporal que representa riscos para a saúde. Nos adultos a obesidade é definida pelo Índice de Massa Corporal (IMC), este é o quociente entre o peso de um indivíduo (kg) e a sua altura (m) ao quadrado ($IMC = \text{kg}/\text{m}^2$), IMC's inferiores a 18,5 indicam uma pessoa abaixo do peso dito saudável; IMC entre 18,5 e 24,9 é considerado um peso normal; valores entre 25,0 e 29,9 já acusam um estado de pré-obesidade; sendo a obesidade atribuída a valores superiores a 30,0, esta gama é ainda subdividida em três classes -classe I, 30,0-34,9; classe II 35,0-39,9; e classe III superior a 40,0. Este conceito não é aplicável a atletas e algumas patologias onde o excesso de peso não resulta do incremento de tecido adiposo. O IMC da forma como é calculado para os adultos não é aplicável a crianças e adolescentes dadas as alterações biológicas e morfológicas resultantes do seu crescimento, nestes casos o IMC é

calculado de acordo com a idade, género e com a atribuição de percentis tendo como referência gráficos de crescimento (Kopelman *et al.*, 2010; DGS, 2005).

A Obesidade afeta o estado global da saúde do organismo, o excesso de gordura não é uma questão de estética mas sim uma condição incapacitante e mortal. Promovendo desequilíbrios hormonais que reduzem a fertilidade do indivíduo, desenvolvimento de síndromes metabólicas como Diabetes Mellitus (DM), aumento do risco de doenças cardiovasculares e AVCs, ocorrência de cancro, além das inúmeras consequências associadas ao *stress* físico a que o corpo é sujeito pelo excesso de peso, como apneia de sono, problemas de ossos e artrites, dores musculares e redução de mobilidade (Kopelman *et al.*, 2010; Kendall *et al.*, 2010).

Uma alimentação cujos balanços energéticos (referentes à quantidade de energia ingerida e a quantidade despendida) são caracteristicamente positivos, resultam inevitavelmente num aumento de peso com o decorrer do tempo. Estes podem estar associados a um consumo excessivo de alimentos, a um consumo de alimentos de elevada densidade calórica ou uma combinação dos dois. Segundo Yao e colaboradores a confeção de refeições com este tipo de alimentos fornecem, por norma, mais calorias do que o pretendido, e por serem sensorialmente mais estimulante podem induzir ao consumo de porções maiores e a uma redução no tempo de mastigação e deglutição, retardando a saciedade (Yao *et al.*, 2009).

A incorporação de FA é uma estratégia viável quer na redução da carga energética dos alimentos quer no favorecimento de saciedade. Por não ser hidrolisada pelas enzimas digestivas do ser humano, a FA não pode ser absorvida pelo organismo diluindo assim a carga energética dos alimentos, uma vez no intestino grosso há fermentação de FA resultando em ácidos gordos de cadeia curta (AGCC) onde 90% a 95% são absorvidos (acetato e propionato) para a corrente sanguínea. Estes representam uma fonte de energia, de tal forma que é atribuído um valor médio de 2kcal por g de FA, contudo apenas 40% de FA é fermentável pelo que a redução da densidade energética é significativa (Howarth *et al.*, 2001; Buttriss *et al.*, 2008; Cho *et al.*, 1999; Regulamento (UE) n.o 1169/2011).

Quanto à saciedade esta é favorecida pelo aumento do tempo de mastigação e retardamento do esvaziamento gástrico. Devido às características físicas da FA, principalmente da FI, a mastigação é mais prolongada estimulando a produção de saliva e ácido estomacal, que por sua vez favorecem a expansão da FS. Estas ações conjuntas levam a uma aumento do volume no interior do estômago e distensão do mesmo promovendo uma saciedade antecipada (Howarth *et al.*, 2001; McCleary *et al.*, 2001). Ao ser necessário um maior esforço na mastigação a velocidade de ingestão dos alimentos diminui, aumentando o tempo de refeição permitindo que os mecanismos gastrointestinais responsáveis por induzir saciedade tenham tempo de atuar e prevenir a realização de excessos às refeições (Van Itallie, 1978; Howarth *et al.*, 2001; Yao *et al.*, 2009).

A gelificação e expansão da FS também retarda o esvaziamento gástrico no estômago. A ocorrência destes géis favorece uma libertação mais gradual de nutrientes para o intestino delgado onde são absorvidos. Este fenómeno tem dois benefícios, o primeiro é a manutenção da saciedade ao estabilizarem os níveis glicémicos evitando a ocorrência de picos que despoletem a sensação de fome, e o segundo é presença de macronutrientes na secção inferior do intestino delgado (íleo), o que estimula as células produtoras de GLP-1 abundantes na secção final do íleo. O GLP-1 é uma hormona segregada por células entéricas após ingestão de alimentos, responsável por estimular a produção de insulina de acordo os níveis de glicose absorvidos (Drucker, 1998), a sua libertação na corrente sanguínea também está associada à redução de apetite e consequente perda de peso (Slavin, 2005; Howarth *et al.*, 2001; Tharanathan *et al.*, 2003).

5.2 Diabetes

Diabetes Mellitus (DM) é uma doença associada intimamente à alimentação independentemente da sua Natureza. Existem dois tipos de diabetes, ambos caracterizados por uma hiperglicemia crónica ou potencialmente crónica, a diabetes pode ser classificada como tipo 1-insulinodependentes, e tipo 2-não insulinodependentes. Diabetes tipo 1, também conhecida como diabetes juvenis ou infantis, apresenta-se na sua forma mais comum como uma doença de natureza autoimune, onde o próprio sistema imunitário promove a destruição de células β do pâncreas responsáveis pela produção de insulina. Esta hormona é libertada na corrente sanguínea quando os níveis de glicose atingem valores muito altos e acelera a absorção de glicose por parte do fígado, músculos esqueléticos e células do tecido adiposo. A glicose em excesso é convertida em glicogénio (polímero de glicose e principal forma de armazenamento de energia para o Homem), triglicéridos e proteínas. A doença tende a desenvolver-se durante a infância e começo de vida adulta sendo despoletada por fatores genéticos e ambientais. Nos países africanos e asiáticos, os mais afetados pela diabetes, é frequente o desenvolvimento da diabetes idiopática, este tipo da diabetes tipo 1 não é autoimune e pouco se sabe sobre o como e o porquê da sua ocorrência. Em ambos os casos os pacientes necessitam da administração doseada de insulina para compensar a insuficiente produção por parte das células β do pâncreas (Ahmad, 2013; Williams *et al.*, 2004; Cho *et al.*, 2001). A diabetes tipo 2 é uma forma da doença que é possível prevenir, ao contrário da tipo 1, tem cura sendo possível reverter o caso clínico. A diabetes tipo 2 resulta da produção insuficiente de insulina face aos níveis de glicose na corrente sanguínea e/ou resistência adquirida à insulina, representando cerca de 90% dos casos de diabetes a nível mundial. A diabetes tipo 2 pode ocorrer em indivíduos obesos ou não. Nos indivíduos obesos verifica-se uma resistência adquirida à insulina produzida pelo pâncreas, este fenómeno está associado à acumulação de gordura abdominal e regimes alimentares desequilibrados com ingestão de alimentos ricos em açúcares simples resultando em picos glicémicos após as refeições, o que requer um aumento da produção de insulina e no decorrer do tempo resulta na saturação dos recetores celulares à hormona; em indivíduos não obesos verifica-se uma produção insuficiente de insulina em conjunto com desenvolvimento de resistência à mesma (Ahmad, 2013; Williams *et al.*, 2004; Rydén *et al.*, 2007).

Segundo a WHO 1.3 milhões de pessoas morreram devido a diabetes tipo 2 em 2008, esta e outras organizações tentam alertar para as consequências desta doença como o aumento dos riscos de doenças cardíacas; neuropatia periférica que pode levar à gangrena dos tecidos e amputação de membros; retinopatia, ou seja, lesões nos vasos sanguíneos da retina que podem resultar em cegueira (responsável por 1% dos casos de cegueira a nível mundial); e nefropatia, lesões nos rins que podem evoluir para insuficiência renal e necessidade de Diálise (<http://www.hospitalsiriolibanes.org.br/hospital/especialidades/nefrologia-dialise/area-atuacao/Paginas/nefropatia-diabetica.aspx>). Uma vez revelada a gravidade da situação, a aposta está na prevenção, a educação alimentar auxiliada pela prática regular de atividade física é fundamental para combater a tendência crescente de casos de diabetes tipo 2 e mesmo para a recuperação dos indivíduos que já padecem desta condição (WHO, 2010; WHO, 2013; Cho *et al.*, 2001).

5.2.1 Diabetes e fibra alimentar

A diabetes é uma doença intuitivamente associada a glúcidos devido ao impacto direto destes nos níveis de glicose no sangue. Até aos anos 20 a forma de tratamento mais comum era a

prescrição de dietas pobres em glúcidos e ricas em proteínas e gordura. Só quando se começaram a efetuar estudos comparativos entre as dietas tradicionais para diabéticos e dietas com elevado teor de glúcidos, tornou-se evidente que esta classe de compostos era mais complexa do que aparentava. Os indivíduos que seguiam o segundo regime alimentar não apresentavam picos anormais de glicose, não requerendo um aumento de insulina, e os níveis de colesterol eram bastante mais baixos. Ficou claro que o risco de desenvolvimento da diabetes não estava dependente do consumo de glúcidos propriamente dito mas sim de glúcidos não estruturais e da quantidade de FA na alimentação (Cho *et al.*, 2001; Aller *et al.*, 2004; Lattimer *et al.*, 2010).

Na formulação destas dietas o termo de Índice Glicémico (IG) e Carga Glicémica (CG) são muito usuais e facilitam a perceção do doente quanto aos alimentos que lhe possam ser mais ou menos benéficos. O conceito de IG foi desenvolvido de forma a classificar os alimentos quanto ao efeito sobre o nível de glicose na corrente sanguínea, é determinado por comparação dos níveis de glicose no sangue após a ingestão de 50 g de um determinado alimento e os níveis resultantes do consumo de 50 g de um alimento de referência (inicialmente glicose sendo o pão branco o alimento de referência atual). O IG é influenciado pela velocidade a que os glúcidos são hidrolisados e absorvidos no intestino humano, depende da mobilidade gastrointestinal, da presença de amido resistente, velocidade de absorção intestinal, teor de fibra do alimento, da presença de outros macronutrientes como gorduras e proteínas, entre outros. Um baixo IG promove um aumento gradual e atenuado nos níveis de glicose/insulina, já os glúcidos simples e facilmente hidrolisáveis levam a picos nos níveis de glicose no sangue (hiperglicemia) e, conseqüentemente, um aumento acentuado da secreção de insulina. Estados crónicos de hiperglicemia aumentam o risco da diabetes por sobre estimulação das células β e perda da capacidade de produção de insulina (Jenkins *et al.*, 2002; Eliasson, 2006; Lattimer *et al.*, 2010). A CG é um conceito mais recente e resulta da conjuntura do IG e a quantidade total de glúcidos de um alimento, a CG é mais prática no tratamento de estudos epidemiológicos e na avaliação global do regime alimentar. Uma dieta caracterizada por uma elevada CG é uma dieta altamente energética, com uma rápida libertação de glicose na corrente sanguínea resultando na produção de grandes quantidades de insulina (Jenkins *et al.*, 2002; Rivellese *et al.*, 2012; Lattimer *et al.*, 2010).

A FA não tem um valor de IG por não ser hidrolisável pelas enzimas entéricas do ser humano, foi por isso proposta a classificação de *Potencial de Redução do Índice Glicémico* (PRIG), uma vez que não constitui uma fonte de glucose mas contribui para o teor de glúcidos nos alimentos influencia o valor de IG e CG dos mesmos. O valor de PRIG permite avaliar a redução do IG, onde a adição de uma grama de um determinado tipo de FA promove a redução do IG em unidades de IG, por exemplo o enriquecimento de alimentos com 1 g de β -glucanas reduz o IG em quatro unidades, logo o PRIG é 4 (Vuksan *et al.*, 2009).

5.2.2 Fibra solúvel

A influência favorável de FA sobre DM é atribuída principalmente à FS. A característica falta de sabor da FS, que é intensificado com o aumento da quantidade adicionada aos alimentos, a sua viscosidade intrínseca e a formação de gases durante a fermentação no intestino grosso causadores de desconforto abdominal, não têm contribuído para a sua popularidade entre os consumidores (Aro *et al.*, 1981; Wursch *et al.*, 1997; Thomas *et al.*, 2012; Lattimer *et al.*, 2010).

Existem duas vertentes em relação às vantagens da ocorrência de géis viscosos, alguns autores defendem que esta propriedade interfere com a atividade enzimática na hidrólise de glúcidos digeríveis e dificulta a difusão de glicose através da mucosa intestinal para a corrente sanguínea,

outros autores defendem que os efeitos advêm do retardamento do esvaziamento gástrico (Aro *et al.*, 1981; IOM, 2005; Wursch *et al.*, 1997; Cho, 2002; McCleary *et al.*, 2003; Vuskan *et al.*, 2009). Outro fator adjuvante é a exposição de hepatócitos a AGCC, resultantes da fermentação da FS, por promover a oxidação da glicose reduzindo o *output* do fígado, este processo também reduz os teores destes ácidos gordos na corrente sanguínea e aumenta a sensibilidade celular à insulina (Vuksan *et al.*, 2009; Thomas *et al.*, 2012).

Diferentes tipos de FS apresentam diferentes efeitos sobre os níveis de glicose e insulina. Os estudos efetuados com goma guar foram até à data os mais satisfatórios, com a vantagem de ser pouco perceptível sensorialmente. A goma guar ajuda a reduzir e a manter os níveis de glicose, de GIP e de glicagina- hormona segregada pelas células α do pâncreas quando os níveis de glicose no sangue estão baixos -hipoglicémia, de forma a estimular o fígado e promover a hidrólise de glicogénio com libertação de unidades de glicose na corrente sanguínea e restabelecimento dos níveis glicémicos (Fernandes, 1980). A goma guar pode ser misturada nos alimentos (barras de cereais, pão, biscoitos, etc), tomada individualizada mas no decorrer da refeição ou simplesmente polvilhada na comida embora os efeitos sejam menos notórios, quando consumida isoladamente sem o acompanhamento de outro género alimentar não sorte efeito sobre o nível glicémico (Aro *et al.*, 1981; IOM, 2005; Wursch *et al.*, 1997).

Os β -glucanos são outros constituintes da FS de elevada solubilidade cujo impacto favorável sobre níveis glicémicos e de insulina estão documentados em vários estudos (Cavallero *et al.*, 2002; Tapola *et al.*, 2005), onde produtos alimentares de consumo diário como farinha, flocos, massas e pão à base de aveia ou cevada integral (em certos estudos foram reforçadas com β -glucanos) foram testados, e além de apresentarem um IG inferior aos produtos tradicionais demonstravam efeitos preventivos sobre a diabetes tipo 2 (Cavallero *et al.*, 2002). Com a vantagem de serem parte integrante das matrizes alimentares e não contribuírem para a perda de sabor e aquisição de textura pouco favorável como acontece na adição de gomas, desenvolvimento precoce da viscosidade devido a hidratação excessiva tornando os alimentos pegajosos ou viscosos (Wursch *et al.*, 1997).

Outros compostos que têm sido foco de atenções para prevenção da diabetes são as pectinas, goma xantana, glucomanos extraídos da planta Konjac e *psyllium* (Vuksan *et al.*, 2009). Embora de início as pectinas se mostrassem como uma substância bastante promissora pela sua capacidade geleificante, em vários estudos realizados não houve concordância de resultados quanto ao impacto sobre os níveis glicémicos (Mello *et al.*, 2000; Vuksan *et al.*, 2009; Schwartz *et al.*, 1988).

A goma xantana é muito viscosa e não é fermentada pela flora microbiana humana, desta forma é possível obter os benefícios inerentes a FS viscosa sem o desconforto abdominal reportado com a goma guar, contudo deixa de haver contribuição para a formação de AGCC e seus benefícios (Osilesi *et al.*, 1985; Vuksan *et al.*, 2009).

Psyllium é das gomas mais recentes nos estudos sobre a diabetes e tem demonstrado resultados bastantes satisfatórios. Os efeitos estão dependentes da quantidade ingerida e na forma como é introduzido na alimentação, sendo necessário ingerir mais de 7 g por dia para haver efeitos significativos, pode ser incorporado ou polvilhado sobre os alimentos mas quando ingerido imediatamente antes ou depois da refeição também surte um efeito atenuador nos índices de glicose e insulina (Anderson *et al.*, 1999; Vuksan *et al.*, 2009; Sierra *et al.*, 2002; Mira *et al.*, 2009). Embora estruturalmente não seja claro o porquê, esta goma não é fermentada pela flora microbiana intestinal (Theuwissen *et al.*, 2008).

5.2.3 Fibra Insolúvel

A FI não tem demonstrado efeitos tão satisfatórios quando a FS. À FI é atribuído um aumento da velocidade da passagem dos alimentos pelo trato gastrointestinal devido à capacidade de retenção de água resultando no aumento de volume do bolo fecal estimulando os movimentos peristálticos do intestino e facilitando o trânsito intestinal, este efeito limita a hidrólise de amido e a absorção de nutrientes, em especial de glicose, mas não diretamente como a FS (Mira *et al.*, 2009; Weng *et al.*, 2012). Contudo vários estudos reportaram um melhoramento da sensibilidade global do organismo à insulina com dietas de elevado teor de FI. Embora não sejam conhecidos os mecanismos envolvidos, muitos autores põem a hipótese de que a FI possa também intervir com as hormonas responsáveis pela regulação de apetite e as envolvidas no equilíbrio glicémico mais concretamente na produção de insulina após ingestão de alimentos (Lattimer *et al.*, 2010; Thomas *et al.*, 2012; Weickert *et al.*, 2006).

5.3 Benefícios cardiovasculares

O risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares é agravado por tabagismo, falta de atividade física, e intensificado quando o indivíduo apresenta excesso de peso, com especial ênfase na acumulação de gordura abdominal, obesidade e diabetes (WHO, 2010).

Como já foi referido nos pontos anteriores os benefícios da FA são claros no que respeita à obesidade e à diabetes tipo 2, e por associação também exerce um efeito preventivo sob doenças cardiovasculares. A FA também surte efeitos diretos no sistema cardiovascular ao promover a redução nos níveis de colesterol, principalmente LDL, redução da pressão sanguínea, de indicadores inflamatórios e risco de AVC. Tal como na diabetes, estes são associados maioritariamente à FS e à viscosidade inerente de determinados compostos de tal forma que nos EUA a agência FDA reconheceu oficialmente as propriedades de prevenção de doenças cardiovasculares a β -glucanos (de aveia e cevada) e *psyllium*, quanto à FI são poucos os estudos que reconhecem benefícios cardiovasculares decorrentes do seu consumo (Aro *et al.*, 1981; ADA, 2008; Kendall *et al.*, 2010; Satija *et al.*, 2012; Bazzano, 2008; Theuwissen *et al.*, 2008; Slavin, 2013).

O colesterol é um esteroide pertencente ao grupo dos lípidos. Sintetizado maioritariamente pelas células hepáticas (endógeno) também pode ser obtido através da alimentação (exógeno). O colesterol é essencial à síntese de outros compostos como hormonas sexuais (testosterona, progesterona, estrogénios), sais biliares e Vitamina D, a título de exemplo (Belitz *et al.*, 2009). Após a produção no fígado é transportado pela corrente sanguínea até aos locais do corpo onde é necessário por associação a lipoproteínas sob a forma de LDL e HDL, parte do LDL é removido da corrente sanguínea para atividade celular hepática e a restante fração quando em excesso, pode levar ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares como arteriosclerose (FAO, 1995).

A arteriosclerose tem início como uma resposta inflamatória a lesões no endotélio das artérias. As partículas de LDL tendem a aderir a estas zonas de inflamação e, por contacto com radicais livres de oxigénio e outros agentes oxidativos, tendem a oxidar. Macrófagos mobilizados ao local da inflamação eliminam as partículas oxidadas de LDL, a sua ação continuada leva a um aumento de volume destas células imunitárias e perda de mobilidade (células espuma), acabando também elas por aderir à zona de inflamação. O contínuo acumular de partículas de LDL e células espuma origina a formação de uma placa rígida de ateroma reduzindo o diâmetro interno das artérias e aumentando a pressão sanguínea, podendo obstruir por completo a passagem do sangue

e originar outras complicações como rotura das placas e formação de coágulos sanguíneos (Akoh *et al.*, 2008; Berdanier *et al.*, 2008; Crowther, 2005). Assim sendo a redução dos níveis de LDL reduz o risco de ocorrência de doenças cardiovasculares. A FS tem demonstrado ser um componente bastante eficaz no controlo dos níveis de LDL sem interferir com os níveis de HDL (Slavin, 2013; Liu *et al.*, 2002).

Os sais biliares libertados no intestino delgado durante a digestão emulsionam a gordura para poder ser absorvida sob a forma de ácidos gordos e colesterol após a ação de lípases. A formação de géis e o desenvolvimento de viscosidade de alguns compostos de FS dificulta este processo interferindo com a ação enzimática e reduzindo a quantidade de colesterol absorvido, além disso dificultam a reabsorção dos sais biliares por estabelecimento de ligações químicas. A retenção dos sais biliares resulta na sua excreção fecal e num aumento da síntese no fígado por captação de LDL. Quanto maior a viscosidade do gel mais significativo o impacto sobre os níveis de colesterol total e LDL, este fator é de tal forma importante que as propriedades preventivas cardiovasculares não foram reconhecidas a β -glucanos extraída de leveduras (*Saccharomyces cerevisiae* é 85% constituída por β -glucanos) por apresentarem baixa viscosidade e solubilidade (Theuwissen *et al.*, 2008; Anderson *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2002). Portanto a FS permite reduzir colesterol exógeno, que contribui com $\frac{1}{4}$ do colesterol sanguíneo, ao interferir com o processo digestivo da fração lipídica dos alimentos, mas principalmente contribui para a redução do colesterol endógeno, os restantes $\frac{3}{4}$, por aumentar a sua remoção do sangue e excreção fecal (Bazzano, 2008; Anderson *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2002; Viuda-Martos *et al.*, 2010).

Outro mecanismo proposto é o efeito inibidor de AGCC, principalmente propionato, sobre a síntese de colesterol embora ainda não se conheçam os mecanismos associados (Satija *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2003; Anderson *et al.*, 2009; Cho *et al.*, 2001). O mesmo se aplica à capacidade da FA em reduzir a pressão sanguínea, a hipótese desenvolvida está associada ao aumento da sensibilidade à insulina. Quando os níveis de insulina são consistentemente elevados verifica-se um aumento na recuperação de iões de sódio nos rins o que promove um aumento do volume do plasma sanguíneo e constrição dos vasos sanguíneos, resultando no aumento da pressão sanguínea. Por outro lado o aumento da sensibilidade à insulina resultante do consumo de FA, mais concretamente de FS, reduz a reabsorção renal de sódio permitindo atenuar a pressão sanguínea. Embora esta hipótese ainda não tenha sido validada, os efeitos da FA sobre a pressão sanguínea (tanto sistólica como diastólica) têm sido discutidos em vários estudos (Anderson *et al.*, 2009; Scherrer *et al.*, 2000; Luwig *et al.*, 1999).

5.4 Cancro do colorretal

No que respeita ao cancro colorretal este é o terceiro tipo de cancro mais comum a nível mundial, continua a ser uma doença das sociedades ocidentais responsáveis por 63% dos casos diagnosticados anualmente, e com uma maior prevalência na população masculina. O desenvolvimento de cancro no intestino grosso e reto está associado à formação de tumores denominados de pólipos. Embora sejam na sua maioria tumores benignos, os pólipos do tipo adenoma podem resultar em cancro colorretal caso não sejam removidos atempadamente (Cancer Research UK, 2012; Hagggar *et al.*, 2009; CAP, 2011).

A FA afeta os parâmetros internos do intestino grosso surtindo um efeito preventivo sobre este tipo de cancro (Slavin, 2001; Cho *et al.*, 2001).

Dada a capacidade de retenção de água pela FI há aumento de volume e maciez do bolo fecal com redução do tempo de trânsito intestinal, a FI também estabelece ligações com sais biliares

primários, outros compostos cancerígenos e mutagênicos reduzindo a sua concentração no interior do intestino grosso e atenuando a exposição das células do cólon (colonócitos) a estes compostos nocivos. Estudos recentes demonstraram que uma vez no intestino grosso os sais biliares primários são fermentados originando sais biliares secundários (ácido litocólico e ácido desoxicólico) estruturalmente semelhantes a hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (Tharanathan *et al.*, 2003; Gråsten *et al.*, 2000; Negri *et al.*, 1998; Jacobs *et al.*, 2010). Estes sais biliares secundários provocam danos no ADN das células e inicialmente aumentam a apoptose celular, contudo decorrido um período mais extenso de exposição a estes compostos, os danos de ADN são provocados em células com capacidade reduzida de apoptose celular. A persistência de células com ADN danificado é um fator de risco para a ocorrência de cancro (Eliasson, 2006; Bernstein *et al.*, 2005).

Os efeitos preventivos da FS contra o cancro colorectal consistem na redução do pH no intestino e fezes com a produção de AGCC, e alteração da flora intestinal microbiana. Dos AGCC produzidos o de maior importância para a flora microbiana intestinal é o butirato, enquanto o acetato e propionato são metabolizados pelas células epiteliais ou tecidos periféricos, o butirato é usado como uma fonte de energia pelos colonócitos principalmente na secção distal, auxiliando ao seu crescimento e multiplicação (Slavin, 2001; Cho *et al.*, 2001; Anderson *et al.*, 2009; Eliasson, 2006).

O efeito do butirato difere ao longo das próprias pregas intestinais. No topo destas saliências encontram-se colonócitos com maior grau de diferenciação que estão expostos a quantidades mais elevadas de butirato, o crescimento e diferenciação celular são estimulados acelerando a ocorrência de apoptose (morte programada da célula danificadas) favorecendo a renovação celular da mucosa intestinal. Na base das pregas intestinais a exposição ao butirato é menor, estimulando o crescimento de células estaminais com reduzida diferenciação (Barrasa *et al.*, 2012). Os estudos efetuados *in vivo* com células saudáveis e *in vitro* com células cancerígenas da mucosa do cólon, apresentaram resultados antagônicos na presença de butirato. Nas células saudáveis, como esperado, houve crescimento celular contudo nas células cancerígenas não só o crescimento foi inibido como foi induzida a diferenciação e ocorrência de apoptose celular. Apesar destes resultados é importante referir que algumas células podem ganhar resistência ao butirato, e resultar em células tumorais malignas na ausência de apoptose (Cho *et al.*, 2001; Eliasson, 2006; Barrasa *et al.*, 2012).

A velocidade de fermentação de FA é importante pois determina em que parte do intestino grosso há produção de AGCC, sendo o pretendido uma fermentação mais retardada com produção de AGCC na parte distal do intestino. Diferentes tipos de FA resultam em diferentes AGCC e em diferentes proporções. Goma guar, β -glucanos de aveia, amido resistente e frutoligosacáridos aumentam a quantidade de butirato produzido (Eliasson, 2006; Lunn *et al.*, 2007). Outro efeito protetor dos AGCC é a acidificação do interior do cólon, pHs ácidos são desfavoráveis ao crescimento de patogênicos e promove a precipitação de ácidos gordos, esteróis e determinados metabolitos classificados como pró-cancerígenos (Cho *et al.*, 2001; Buttriss *et al.*, 2008).

A título de exemplo de um dos benefícios da redução de pH está a inibição de atividade enzimática de 7 α -desidroxilase, enzima que atua sobre sais biliares primários e converte-os em sais biliares secundários pró-cancerígenos como o ácido desoxicólico, esta enzima é produzida por algumas estirpes de microrganismos presentes na flora intestinal humana (lactobacilos anaeróbios, *Clostridium leptum*, *Clostridium bifementans*, *Clostridium sordellii*, *Bacteroides* spp. e *Eubacterium* sp.) (Eliasson, 2006; Bernstein *et al.*, 2005; Masuda *et al.*, 1983).

Além da FA outros macronutrientes podem chegar por digerir ao intestino grosso onde são fermentados, resultando num aumento de compostos potencialmente cancerígenos como por exemplo a amónia e fenóis resultantes da degradação de proteínas. A amónia estimula o crescimento celular favorecendo o aparecimento de tumores e crescimento de células malignas, os fenóis estão associados ao desenvolvimento de cancro de pele, bexiga e cancro colorretal. (Tharanathan *et al.*, 2003; McCleary *et al.*, 2001). Uma vez que a FS constitui uma fonte de energia a bactérias do cólon, estas por sua vez utilizam azoto e enxofre para manutenção e crescimento celular, desta forma o aumento da população bacteriana no intestino grosso diminui a exposição a estes compostos tóxicos (Lunn *et al.*, 2007). Este estímulo sobre o crescimento microbiano com especial ênfase em bactérias benéficas para a saúde humana, *Lactobacillus* e bifidobactérias, e por não ser digerida pelo corpo, a FA tem sido vista como pré-biótica (Buttriss *et al.*, 2008; Slavin, 2013).

Por último além do efeito preventivo sobre o cancro colorretal alguns autores têm apresentadas hipóteses de efeito preventivo da FA sobre outro tipo de cancros como cancro da mama, endométrio e próstata. Até à data os mecanismos propostos baseiam-se na influência da FA sobre os níveis hormonais sanguíneos ao promover a redução de colesterol (substrato à produção de hormonas sexuais), pela presença de compostos bioativos anticancerígenos associados à FA como antioxidantes e fito-estrogénios, e por prevenir o desenvolvimento de DM e obesidade vistos como fatores de risco para a ocorrência deste tipo de cancros. Contudo ainda não há dados suficientes para reconhecer oficialmente o efeito preventivo da FA nem expor claramente os mecanismos pelos quais atua (Suzuki *et al.*, 2008; Bandera *et al.*, 2007).

6 Perspetivas Futuras

A consciência alimentar dos consumidores tem demonstrado grandes melhorias nos últimos anos, em parte consequência das campanhas contra as NCDs associadas ao estilo de vida atual, mas também pela facilidade de acesso a informação científica, com base em resultados de estudos epidemiológicos e opiniões médicas sobre os diferentes compostos identificados nos alimentos, contribuindo para uma melhor compreensão do respetivo efeito sob a saúde humana.

A persistência de NCDs na sociedade atual é atribuída à dificuldade dos consumidores em conseguirem distinguir determinados conceitos alimentares, por exemplo diferença entre “saciedade” e “estômago cheio” ou ainda “enfartamento”, entre outros, que são determinantes na escolha de alimentos adequados a uma alimentação saudável, e à dificuldade de gerir toda a informação disponível, tornando-se confuso e pouco claro quais as escolhas alimentares corretas (Fizsam *et al.*, 2014).

Nos dias que correm a fibra nos alimentos continua a ser associada pelos consumidores apenas ao bom funcionamento intestinal. O termo de Fibra Alimentar ainda não é de conhecimento geral, e ainda menos conhecida é a existência de Fibra Insolúvel, de Fibra Solúvel, o que as distingue, respetivos benefícios e principais fontes alimentares. Numa perspetiva futura é essencial educar a população sobre fibra alimentar. Em Portugal, por exemplo, os consumidores preservam o conceito mais clássico de fibra (fibra bruta), associando-a mais a vegetais e fruta (principalmente com casca) mas quando inqueridos não sabem dizer com certeza se a fibra é apenas de origem vegetal, ou também animal ou ambas. O termo “integral” é um conceito um pouco abstrato sendo desconhecida qual a diferença entre o produto normal e a sua variedade integral, os portugueses desconhecem de modo geral quais as quantidades diárias recomendadas de ingestão de FA, e a grande diversidade de alimentos naturalmente ricos em fibra (Martinho *et al.*, 2013).

Também é crucial um maior investimento por parte da indústria alimentar para melhorar a qualidade sensorial dos produtos enriquecidos com FA, pois essa é uma das principais barreiras à popularização do seu consumo. Tal pode ser feito através de escolhas mais cuidadas no que respeita às fontes de fibra empregues, respetivas propriedades de hidratação e gelificação, de como podem contribuir para o melhoramento das características do produto como extensão de validade e propriedades sensoriais (Elleuch *et al.*, 2011).

Uma alternativa para aumentar a ingestão de FA é com recurso a suplementos alimentares visto que na sua maioria são comercializados sob a forma de cápsulas não interferindo com as propriedades organolépticas dos alimentos (Betoret *et al.*, 2011). É possível encontrar em estabelecimentos especializados uma variedade considerável de suplementos de fibra, mas ainda assim são comercializados maioritariamente para melhorar o trânsito intestinal. As opções vendidas sob a forma de pós ou soluções destinam-se principalmente a regimes alimentares para perda de peso, contudo alguns produtos começam a incluir o benefício para o sistema cardiovascular associado à ingestão de fibra solúvel (embora seja um conceito pouco claro para os consumidores).

Outra questão é a rotulagem, da mesma forma que vem discriminada a fração de gorduras saturadas e insaturadas, ou a fração de açúcares relativamente ao teor de glúcidos, o mesmo deve ser feito com a fibra solúvel e insolúvel, permitindo ao consumidor uma escolha mais informada sobre os alimentos que consome além de promover o conhecimento mais generalizado destes compostos. O novo regulamento europeu, Regulamento (UE) n.º 1169/2011, sobre rotulagem atribui o valor de 2 kcal por grama de fibra, esta informação pode, mais uma vez, confundir o consumidor pouco familiarizado com o conceito de FA. Este valor é atribuído à formação de AGCC

resultantes da fermentação de alguns tipos de FS, e se nos rótulos dos diversos produtos alimentares não estiver indicado o teor de FS e/ou FI, há uma generalização do valor calórico da fibra dando a entender ao consumidor que ao optar por alimentos integrais ou ricos em FA o impacto calórico não é muito significativo ou pode até ser superior (Regulamento (UE) n.o 1169/2011).

As várias opções alimentares para obtenção de fibra, já foram referenciadas ao longo deste trabalho, assim sendo a procura contínua de novas fontes de FA ou o simples reconhecimento de alimentos como importantes fontes de fibra é essencial para o melhoramento contínuo da alimentação de modo geral, e em particular para alargar as possibilidades de aplicação na indústria alimentar, desenvolvimento de novas formulações numa maior variedade de produtos, e ainda aprofundar o conhecimento dos consumidores sobre os alimentos que consomem (Jones, 2013).

Como conclusão, o futuro da fibra alimentar passa pela educação dos consumidores e o reconhecimento da importância de FA na alimentação, a contínua investigação das propriedades FA e potenciais fontes da mesma, e o compromisso da Indústria Alimentar para investir no aumento da FA nos alimentos apresentados aos consumidores.

7 Bibliografía

- AACC (2001) The Definition of Dietary Fiber, Report. *Cereal Foods World*, 46(3):112-126.
- Ahmad S.I. (2013) *Diabetes, An Old disease, a New Insight*. School of Science and Tchnology, Nothingham Trent University. Springer Science&Business Media, LLC, pág.3-8, 12-15.
- Akoh C.C., Min D.B (2008) *Food Lipids Chemistry, Nutrition and Biotechnology*. Taylor & Francis Group, LLC, pág.553-555, 560-562.
- Aller R., Luis D.A., Izaola O., La Calle F., del Olmo L., Fernandez L., Arranz T., Hernandez J.M. (2004) Effect of soluble fiber intake in lipid and glucose leves in healthy subjects: a randomized clinical trial. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 65(1): 7-11.
- Anderson J.W., Allgood L.D., Turner J., Oeltgen P.R., Daggy B.P. (1999) Effects of psyllium on glucose and serum lipid responses in men with type 2 diabetes and hypercholesterolemia. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70: 466–473.
- Andersson R., Fransson G., Tietjen M., Åman P. (2009) Content and Molecular-Weight Distribution of Dietary Fiber Components in Whole-Grain Rye Flour and Bread. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 57: 2004–2008.
- AOAC Official method 992.16. Total Dietary Fiber, Enzimathic-Gravimetric Method. First action 1992.
- Arendt E.K., Zannini E. (2013) *Cereal grains for the food and beverage industries*. Woodhead Publishing Ltd., pág.70-8, 120-125.
- Aro A., Uusitupa M., Voutilainen E., Hersio K., Korhonen T., Siitonen O. (1981) Improved Diabteic Control and Hypocholesterolaemic Effect Induced by Long-Term Dietary Supplementation with Guam Gum in Type 2(Insulin-Independent) Diabetes. *Diabetologia*, 21: 29-33.
- Baker D. (1977) Determining Fiber in Cereals.*Cereal Chemistry*, 54(2): 360-365.
- Baldi S., Frascerra S., Ferrannini E., Natali A. (2007) LDL resistance to oxidation: Effects of lipid phenotype, autologous HDL and alanine. *Clinica Chimica Ata*, 379: 95–100.
- Bandera E.V., Kushi L.H., Moore D.F., Gifkins D.M., McCullough M.L. (2007) Association between dietary fiber and endometrial cancer: a dose-response meta-analysis. *American Journal Clinical Nutrition*, 86: 1730-1737.
- Barrasa J. I., Santiago-Gómez A., Olmo N., Lizarbe M.A., Turnay J. (2012) Resistance to butyrate impairs bile acid-induced apoptosis in human colon adenocarcinoma cells via up-regulation of Bcl-2 and inactivation of Bax. *Elsevier Biochimica et Biophysica Ata*, 1823: 2201–2209.
- Bazzano L.A. (2008) Effects of Soluble Dietary Fiber on Low-Density Lipoprotein Cholesterol and Coronary Heart Disease Risk. *Current Atherosclerosis Reports*, 10: 473–477.

Belitz H.D., Grosch W., Schieberle P. (2009) *Food Chemistry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pág.227, 248, 292, 296, 311, 314, 327-331, 332, 336, 670, 671, 706-711.

Berdanier C.D., Dwyer J., Feldman E.B. (2008) *Handbook of Nutrition and Food, Second Edition*. Taylor & Francis Group, LLC, pág.683, 688, 689.

Bernsteina H., C. Bernsteina, Paynea C.M., Dvorakova K., Garewal H. (2005) Bile acids as carcinogens in human gastrointestinal cancers. *Mutation Research*, 589: 47–65.

Betteridge V. (2009) Editorial: Dietary fibre: an evolving definition? *Nutrition Bulletin*, 34: 122–125.

Betoret E., Betoret N., Vidal D., Fito P. (2011) Functional foods development: Trends and technologies. *Trends in Food Science & Technology* 22: 498-508.

Bhattacharya K.R. (2011) *Rice quality, A guide to rice properties and analysis*. Woodhead Publishing Ltd., pág.247-250.

Bixler H.J., Porse H. (2011) A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology*, 23: 321–335.

Bokone-Bophirima Y.Y. (2011) Codex Alimentarius Recommendations for the Analysis of Dietary Fiber in Food. Faculty of Health Sciences, North-West University, Cape Town.

Borgognoni C.F., Polakiewicz B., Pitombo R.N. (2006) Estabilidade de emulsões de D-limoneno em quitosana modificada. *Ciências Tecnologia Alimentar*, 26(3): 502-508.

Brunt K., Sanders P. (2013) Improvement of the AOAC 2009.01 total dietary fibre method for bread and other high starch containing matrices. *Food Chemistry*, 140: 574–580.

Butt M.S., Tahir-Nadeem M., M.K.I. Khan, Shabir R., Butt.S.M. (2008) Oat: unique among cereals. *European Journal of Nutrition*, 47(2): 68-79.

Buttriss J.L., Stokes C.S. (2008) Dietary Fiber and Health: an overview. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, 33:186–200.

Caffall K.H., Mohnen D. (2009) The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. *Carbohydrate Research*, 344: 1879–1900.

Campbell-Platt G. (2009) *Food Science and Technology*. Blackwell Publishing Ltd., pág.10, 65.

CAP (2011) Colon Polyps Colon Adenomatous Polyps. College of American Pathologist (http://www.cap.org/apps/docs/reference/myBiopsy/colon_adenomatous_polyps.pdf consultado a 20 de agosto 2013)

Cavallero A., Empilli S., Brighenti F., Stanca A.M. (2002) High (1→3, 1→4)-β-Glucan Barley Fractions in Bread Making and their Effects on Human Glycemic Response. *Journal of Cereal Science*, 36: 59–66.

Champ M., Langkilde A. M., Brouns F., Kettlitz B., Yle B.C. (2003) Advances in dietary fibre characterisation. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutrition Research Reviews*, 16: 71–82.

Cho S.S., Dreher M.L. (2001) *Handbook of Dietary Fiber*. Marcel Dekker, Inc., pág.2-15, 126-129, 131-136, 141,196-198, 200-205, 474-478, 486, 520-527, 531-536, 604-612.

Cho S.S., Prosky L., Dreher M. (1999) *Complex Carbohydrates in Foods*. Marcel Dekker, Inc., pág.10-15, 25, 26, 327, 329, 340-344.

Codex Alimentarius Commission (2009) Report of the 31st session of the codex committee on nutrition and foods for special dietary uses. Geneva, Switzerland, 2010.

Codex Committee on Nutrition and Food for Special Deitary Uses, 26th session (2004) Codex Alimentarius Commission, Joint FAO/WHO Food standards programme. *Proposals for definition and methods of analysis for dietary fiber content*.

Costa G.E., Queiroz-Monici K.S., Reis S.M., Oliveira A.C. (2006) Chemical composition, dietary fiber and resistant starch contentes of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, 94: 327-330.

Coultate T.P. (2002) *Food the Chemistry of Its Components*. Royal Society of Chemistry, capítulo 3, pág.68-71.

Crowther M.A. (2005) Pathogenesis of Atherosclerosis. *Hemathology*, 2005:436-441.

Cui S.W. (2005) *Food Carbohydrates Chemistry, Physical Porperties, and Applications*. Taylor & Francis Group, LLC, pág. 22-31, 51-62.

Cummings J.H. (1984) Cellulose and the human gut. *Gut*, 25: 805-810.

Debyser W., Derdelinckx G., Delcour J. A. (1997) Activities in Barley Malts and Worts Derived from Them. *Journal of Cereal Science*, 26: 67-74.

DeVries J.W. (2011) *Dietary Fiber Update, Global Fiber Definition and Methods*. USDA Soft Wheat Research Review Conference, on March 8th, 2011. Wooster, Ohio, United States of America.

DeVries J.W. (2003) On defining dietary fiber. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62: 37-43.

Devries J.W., Prosky L., Li B., Cho S. (1999) A Historical Perspetive on Defining Dietary Fiber. *Cereal Foods World*, 4(5): 367-369.

Dias L.T., Leonel M. (2006) Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do brasil. *Ciências Agrotecnologia*, 30(4): 692-700.

Direção-Geral de Saúde –DGS, Divisão de Doenças Genéticas, Crónicas e Geriátricas (2005) *Programa Nacional de Combate à Obesidade*. Lisboa, Portugal.

Drucker D.J. (1998) Glucagon-Like Peptides. *Diabetes*, 47: 159-169.

Du H., van der A D.L., Boshuizen H.C., Forouhi N.G., Wareham N.J., Halkjaer J., Tjønneland A., Overvad K., Jakobsen M.U., Boeing H., Buijsse B., Masala G., Palli D., Sørensen T.I., Saris W.H., Feskens E.J. (2010) Dietary fiber and subsequent changes in the body weight and waist circumference in European men and women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91(2): 329-336.

Edner C., Li J., Albrecht T., Mahlow S., Hejazi M., Hussain H., Kaplan F., Guy C., Smith S.M., Steup M., Ritte G. (2007) Glucan, Water Dikinase Activity Stimulates Breakdown of Starch Granules by Plastidial β -Amylases. *Plant Physiology*, 145: 17–28. El-Nawawi S.A., Heikalb Y.A. (1995) Production of low ester pectin by de-esterification of high ester citrus pectin. *Carbohydrate Polymers*, 27: 191-195.

Eliasson A.C. (2006) Carbohydrates in Food, 2nd Edition. *Taylor & Francis Group, LLC.*, pág.133, 134, 149, 280-284.

Elleucha M., Bedigian D., Roiseux O., Besbes S., Blecker C., Attia H. (2011) Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, 124: 441-421.

Englyst H., Anderson V., Cummings J. H (1983) Starch and Non-starch Polysaccharides in some Cereal Foods. *Journal of Science Food Agriculture*, 34: 1434-1440.

Englyst H., Wiggins H. S., Cummings J. H (1982) Determination of the Non-starch Polysaccharides in Plant Foods by Gas - Liquid Chromatography of Constituent Sugars as Alditol Acetates. *Analyst*, 107: 307-318.

Ertesvig H., Valla S. (1998) Biosynthesis and applications of alginates. *Polymer Degradation and Stability*, 59: 85-91.

Evers T., Millar S. (2002) Cereal Grain Structure and Development: Some Implications for Quality. *Journal of Cereal Science*, 36: 261–284.

Falshaw R., Bixler H.J., Johndro K. (2001). “Structure and performance of commercial kappa-2 carrageenan extracts: I. Structure analysis”. *Food Hydrocolloids* 15: 441-452.

FAO (1992) *Maize in human nutrition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization Rome, 1992.

FAO (1995) *Fats and oils in human nutrition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization Rome, 1995.

FAO (1998) *Carbohydrates in human nutrition* . Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, Rome, 1998.

FAO (2003) Information Note on a Joint WHO/FAO Expert Consultation on Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases, 17th Session. Rome, 2003.

FAO (2006) *The double Burden of malnutrition, Case studies from six developing countries*.FAO and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2006.

FAO (2010) *Sustainable Diets and Biodiversity Directions and Solutions for Policy, Research and Action*.

Fernandes A.C. (1980) Respostas Endócrino-Metabólicas ao Jejum, Exercício Físico e Trauma. *Ata Médica Portuguesa*, 2: 49-64.

Ferrari R.S., Colussi F., Ayub R.A. (2004) Caracterização de subprodutos da industrialização do maracujá- aproveitamento das sementes. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26 (1): 101-102.

Fiszmana S., Varela P., Díaz P., Linares M. B., Garrido M. D. (2014) What is satiating? Consumer perceptions of satiating foods and expected satiety of protein-based meals. *Food Research International*. Disponible em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.065>.

Flammang A., Kendall D.M., Baumgartner C.J., Slagle T.D., Choe Y.S. (2006) Effect of Viscous Fiber Bar on Postprandial Glycemia in Subjects with Type 2 Diabetes. *Journal of the American College of Nutrition*, 25(5): 409–414.

Fu J-T., Rao M.A. (2001) Rheology and structure development during gelation of low-methoxyl pectin gels: the effect of sucrose. *Food Hydrocolloids*, 15: 93-100.

Fuentes-Zaragoza E., Riquelme-Navarrete M.J., Sánchez-Zapata E., Pérez-Álvarez J.A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43: 931–942.

Fukuda S., Saito H., Nakaji S., Yamada M., Ebine N., Tsushima E., Oka E., Kumeta K., Tsukamoto T., Tokunaga S. (2007) Pattern of dietary fiber intake among the Japanese general population. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61: 99–103.

Furda I., Charles J.B. (1990) *New developments in dietary fiber: physiological, physicochemical, and analytical aspects 1990*. Springer, pág.273,274.

Gajula H., Alavi S., Adhikari K., Herald T. (2008) Precooked Bran-Enriched Wheat Flour Using Extrusion: Dietary Fiber Profile and Sensory Characteristics. *Journal of Food Science*, 73(4): S173-S179.

García-Ochoa F., Santosa V.E., Casas J.A., Gomez E. (2000) Research review paper Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, 18: 549-579.

Gatenholm P., Tenkanen M. (2003) *Hemicelluloses; Science and Technology*. American Chemical Society, Washington, DC, pág.3-5.

Gibney M. J.; Lanham-New S.A.; Cassidy A., H.H Vorster (2009) *Introduction to Human Nutrition Second Edition*. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, pág. 351.

Giuntini E.B., Lajolo F.M., Menezes E.W. (2003) Potencial de fibra alimentar em países ibero-americanos: alimentos, produtos e resíduos. *Archivos Latino-Americanos de Nutricion*, 53(1): 1-7.

Gómez-Ordóñez E., Jiménez-Escrig A., Rupérez P. (2010) Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the northwestern Spanish coast. *Food Research International*, 43: 2289–2294.

Goñi I., Garcia-Diz L., Maña E., Saura-Calixto F. (1996) Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chemistry*, 56(4): 445-449.

Gråsten S.M., Juntunen K.S., Poutanen K.S., Gylling H.K., Miettinen T.A., Mykkänen H.M. (2000) Rye Bread Improves Bowel Function and Decreases the Concentrations of Some Compounds That Are Putative Colon Cancer Risk Markers in Middle-Aged Women and Men. *American Society for Nutritional Sciences*, 130(9): 2215-2221.

Grennan A.K. (2006) Regulation of Starch Metabolism in Arabidopsis Leaves. *Plant Physiology*, 142: 1343–1345.

Grigelmo-Miguel N., MartmHn-Belloso O. (1999) Comparison of Dietary Fibre from By-products of Processing Fruits and Greens and from Cereals. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie-Food Science and Technology*, 32: 503-508.

Haggar F.A., Boushey R.P (2009) Colorectal Cancer Epidemiology: Incidence, Mortality, Survival, and Risk Factors. *Clinics in Colon and Retal Surgery*, 22(4): 191-197.

Hamilton J.W., Wagner J., Burdick B.B., Bass P. (1988) Clinical Evaluation of Methylcellulose as a Bulk Laxative. *Digestive Diseases and Science*, 33(8): 993-998.

Health Canada (2010). Bureau of Nutritional Sciences, Food Directorate, Health Products and Food Branch. *Proposed Policy: Definition and Energy Value for Dietary Fiber*.

Hedley C.L. (2001) *Carbohydrates in Grain Legume Seeds*. CAB International, pág.11, 77.

Heller V. G., Eobeet W. (1939) The Indigestible Carbohydrates of Feeds. *The Journal of Nutrition*, 19: 141-149.

Helrich K. (1990) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 15th Edition*. Association of Official Analytical Chemists, Inc., pág.80.

Hipsley, E. H. (1953) Dietary “fibre” and pregnancy toxemia. *British Medical Journal*, 2: 420-422.

Hoebregs H (1997) Fructans in foods and food products, ion-exchange chromatographic method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 80: 1029-1037.

Hoover R., Hughes T., Chung H.J., Liu Q. (2010) Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International*, 43: 399–413.

Horwitt L., Cowgill G. R., Mendel L.B. (1936) The availability of the carbohydrates and fats of the green leaf together with some observations on crude fiber. Department of Physiological Chemistry, Yale University, New Haven, Connecticut, United States of America.

Horwitz W. (1980) *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 13th*, pág.132.

Howarth N.C., Saltzman E., Roberts S.B. (2001) Dietary Fiber and Weight Regulation. *Nutrition Reviews*, 59(5): 129-139.

Hui Y.H. (2005) *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering*. Taylor & Frances Group, LLC, pág.9, 21-23, 55, 64.

Imeson A. (2009) *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents*. Blackwell Publishing Ltd., pág.180-197.

Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge (INSA) (2010) Tabela de Composição de Alimentos (TCA) Portuguesa. Disponível em: <http://www.insa.pt/sites/INSA/Portugues/AreasCientificas/AlimentNutricao/AplicacoesOnline/TabelaAlimentos/Paginas/TabelaAlimentos.aspx>. Consultado a 3 de setembro de 2013.

Izydorczyk M.S., Biliaderi C.G. (1995) Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 28: 33-48.

Izydorczyk M.S, Dexter J.E. (2008) Barley β -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products—a Review. *Food Research International*, 41: 850–868.

Jacobs R.J., Voorneveld P.W., Kodach L.L., Hardwick J.C.H. (2012) Cholesterol metabolism and colorectal cancer. *Current Opinion in Pharmacology*, 12: 690-295.

Jenkins D.J.A., Kendall C.W.C., Augustin L.S.A., Franceschi S., Hamidi M., Marchie A., Jenkins A.L., Axelsen M. (2002) Glycemic index: overview of implications in health and disease. *American Society for Clinical Nutrition*, 76: 266S–273S.

Jimenez-Escrig A., Sanchez-Muniz F. J. (2000) Dietary Fibre from Edible Seaweeds: Chemical Structure, Physicochemical Properties and Effects on Cholesterol Metabolism. *Nutrition Research*, 20(4): 585-598.

Jones J.M. (2013) Dietary Fiber Future Directions: Integrating New Definitions and Findings to Inform Nutrition Research and Communication. *American Society for Nutrition*, 4: 8-15

Jones J.R., Lineback D.M., Levine M.J. (2006) Dietary Reference Intakes: Implications for Fiber Labeling and Consumption: A Summary of the International Life Sciences Institute North America Fiber Workshop, June 1-2, 2004, Washington ,DC. *Nutrition Reviews*, 64(1): 31-38.

Jung, H.-J. (1997) Analysis of Forage Fiber and Cell Walls in Ruminant Nutrition. *Journal of Nutrition*, 127: 810S–813S.

Kasapis S., Notron I.T., Ubbink J.B. (2009) *Modern Biopolymer Science. Bringing the Divide Between Fundamental Treatise and Industrial Application*. Elsevier Inc., pág. 399-438.

Katzbauer B. (1998) Properties and applications of xanthan gum. *Polymer Degradation and Stability*, 59: 81-84.

Kearny J. (2010) Food consumption trends and drives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365: 2793-2807.

Kendall, C. W. C., A. Esfahani, Jenkins D.J.A. (2010) The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocolloids*, 24(1): 42-48.

Kent N.L., Evers A.D. (1994) *Technology of Cereals, and introduction for students of Food Science and Agriculture*. Pergamon, Elsevier Science Ltd, pág. 36, 40-46.

Khan A.R., Alam S., Ali S., Bibi S., Khalil I.A. (2007) DIETARY FIBER PROFILE OF FOOD LEGUMES. *Sarhad Journal Agriculture*, 23(3): 763-766.

Khanum F., Swamy M. S., Krishna S.K.R., Santhanam K., Viswanathan K.R. (2000) Dietary fiber content of commonly fresh and cooked vegetables consumed in India. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55: 207–218.

King D.E., Mainous A.G. 3rd, Lambourne C.A. (2012) Trends in dietary fiber intake in the United States, 1999-2008. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112 (5): 642-648.

Knudsen K.E.B. (2001) The nutritional significance of “dietary fiber” analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 90: 30-20.

Kopelman P.G., Caterson I.D., Dietz W.H. (2010) *Clinical Obesity in Adults and Children . Third edition*. Blackwell Publishing Limited, pág.4, 376, 377.

Korakli M., Hinrichs C., Ehrmann M.A., Vogel R.F. (2003) Enzymatic determination of inulin and fructooligosaccharides in food. *European Food Research Technology*, 217 (6): 530–534.

Kritchevsky D., Bonfield C., Anderson J.W. (1990) Dietary Fiber. Chemistry, Physiology and Health Effects. Plenum Press, New York, pág.50.

Kutos T., Golob T., Kac M., Plestenjak A. (2002) Dietary fiber content of dry and processed beans. *Food Chemistry*, 80: 231-235.

Lanza E., Jones Y., Block G., Kessler L. (1987) Dietary fiber intake in the US population. *American Journal of Clinical Nutrition*, 46: 790-797.

Larrauri J.A. (1999) New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 10(1): 3-8.

Lattimer J.M., Haub M.D. (2010) Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. *Nutrients*, 2: 1266-1289.

Lecumberri E., Mateos R., Izquierdo-Pulido M., Rupérez P., Goyaa L., Bravao L. (2007) Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.). *Food Chemistry*, 104: 948-954.

Lee, S.C. (1992) Updates on Methods and Values II: Dietary Fiber Analysis. 17th Annual National Nutrient Databank Conference, Baltimore, Minneapolis, EUA.

Li B.W. (1995) Comparison of Three Methods and Two Cooking Times in the Determination of Total Dietary Fiber Content of Dried Legumes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 8: 27-31.

Liangli L.Y., Tsao R. (2012) *Cereals and Pulses*. John Wiley & Sons, Inc., pág.1-5, 7-14, 21-31.

Liu S., Buring J.E., Sesso H.D., Rimm E.B., Willett W.C., Manson J.E. (2002) A Prospective Study of Dietary Fiber Intake and Risk of Cardiovascular Disease Among Women. *Journal of the American College of Cardiology*, 39(1): 49–56.

López G., Ros G., Rincón F., Periago M.J., Martínez M.C., Ortuño J. (1996) Relationship between Physical and Hydration Properties of Soluble and Insoluble Fiber of Artichoke. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 44: 2773-2778.

Luccia B.H.D., Kunkel M.E. (2002) In vitro availability of calcium from sources of cellulose, methylcellulose, and psyllium. *Food Chemistry*, 77: 139–146.

Lunn J., Buttriss J. L. (2007) REVIEW Carbohydrates and dietary fibre. *British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin*, 32: 21–64.

Luwig D.S., Pereira M.A., Kroenke C.H., Hilner J.E., Van Horn L., Slattery M.L., Jacobs D.R. Jr. (1999) Dietary Fiber, Weight Gain, and Cardiovascular disease Risk Factors in young Adults. *JAMA*, 282: 1539-1546.

Mann J., Trustwell A.S. (2002) *Essentials of Human Nutrition-Second Edition*. Oxford University Press, pág.3, 4, 11-16, 19, 20, 26, 28, 384-390, 392.

MaKIkki Y., Virtanen E. (2001) Gastrointestinal Effects of Oat Bran and Oat Gum: A Review. *LWT-Food Science and Technology*, 34(6): 337-347.

Maki K.C., Davidson M.H., Malik K.C., Albrecht H.H., O'Mullane J., Daggy B.P. (1999) Cholesterol Lowering With High-Viscosity Hydroxypropylmethylcellulose. *American Journal Cardiology*, 84: 1198–1203.

Martinho C.A.C., Correia A.C., Goncalves F.M.J, L. Abrantes J., Carvalho R., Guine R.P.F. (2013) Study About the Knowledge and Attitudes of the Portuguese Population About Food Fibres. *Current Nutrition & Food Science*, 9(3): 180-188.

Masuda N., Oda H., Hirano S., Tanaka H. (2005) Enhancement of the 7 α -Dehydroxylase Activity of a Gram-Positive Intestinal Anaerobe by Flavins. *Applied and Environmental Microbiology*, 45(1): 308-309.

Masoodi F.A., Sharma B., Chauhan G.S. (2002) Use of apple pomace as a source of dietary fiber in cakes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57: 121-128.

McCleary B.V. (2003) Dietary fiber analysis. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62: 3-9.

McCleary, B. V. (2007) An integrated procedure for the measurement of total dietary fibre (including resistant starch), non-digestible oligosaccharides and available carbohydrates. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 389: 291–308.

McCleary B. V., DeVries J. W., Rader J. I., Cohen G., Prosky L., Mugford D.C., Champ M., Okuma K. (2010) Determination of total dietary fibre (CODEX definition) by enzymatic-gravimetric method and liquid chromatography: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 93 (1): 221–233.

McCleary B.V., DeVries J.W., Rader J.I., Cohen G., Prosky L., Mugford D.C., Champ M., Okuma K. (2011) 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.

McCleary B.V., Prosky L. (2001) *Advanced Dietary Fiber Technology*. Blackwell Science Ltd., pág.66-67, 152,169, 227, 503-505, 509, 510.

McCrary M.A., Hamaker B.R., Lovejoy J. C., Eichelsdoerfer P.E.(2010) Pulse Consumption, Satiety, and Weight Management .*Advances in Nutrition*, 1: 17–30.

McDougall G.J., Morrison I.M., Stewart D., Hillman J.R. (1996) Plant Cell Walls as Dietary Fibre: Range, Structure, Processing and Function. *Journal Science Food Agriculture*, 70: 133-150.

Mehta R. (2009) Dietary Fiber II. *Technical Bulletin*, 31: 1-19.

Mello V.D., Laaksonen D.E. (2009) Fibras na dieta: tendências atuais e benefícios à saúde na síndrome metabólica e no diabetes melito tipo2. *Arquivos Brasileiros Endocrinologia e Metabologia*, 53(5): 509-518.

Messina M.J. (1999) Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. *American Journal Clinical Nutrition*, 70: 439S–450S.

Mira G.S., Graf H., Cândido L.M.B. (2009) Visão retrospectiva em fibras alimentares com ênfase em beta-glucanas no tratamento do diabetes. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45 (1): 11-20.

Mishra S., Monro J., Hedderley D. (2008) Effect of Processing on Slowly Digestible Starch and Resistant Starch in Potato. *Starch/Stärke*, 60: 500–507.

Morán M.R., Romero F.G., Burciaga G.L. (1998) Lipid- and Glucose-Lowering Efficacy of Plantago Psyllium in Type II Diabetes. *Journal of Diabetes and Its Complication*, 12: 273–278.

Mota R. V., Lajolo F.M., Cordenunsi B.R., Ciacco C. (2000) Composition and Functional Properties of Banana Flour from Different Varieties. *Starch/Stärke*, 52(2-3): 63–68.

Mouradi-Givernaud A., Givernaud T., Morvan H., Cosson J. (1992) Agar from Gelidium latifolium (Rhodophyceae, Gelidiales): Biochemical Composition and Seasonal Variations. *Botanica Marina*, 35: 153-159.

Muzzarelli R.A.A. (1996) Chitosan –based dietary foods. *Carbohydrate Polymers*, 29: 309-316.

Nawirska A., Kwaśniewska M. (2005) Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91(2): 221-225.

Negri E., Franceschi S., Parpinel M., La Vecchia C. (1998) Fiber Intake and Risk of Colorectal Cancer. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 7: 667-671.

Newman R.K., Newman C.W. (2008) *Barley for Food and Health: Science, Technology, and Products*. John Wiley & Sons, Inc., pág.63-67.

Niness K.R. (1999) Inulin and Oligofructose: What Are They? *Journal of Nutrition*, 129: 1402S–1406S.

Nugent A.P. (2005) Review: Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*, 30: 27–54.

Oelgoetz M.D., Oelgoetz B.A., Wittekind R.N. (1936) Studies in Bowel Drainage. *The American Journal of Digestive Diseases*, 3(8): 549-551.

Oscarsson M., Andersson R., Salomonsson A.-C., Åman P. (1996) Chemical Composition of Barley Samples Focusing on Dietary Fibre Components. *Journal of Cereal Science*, 24: 161–170.

Osilesi O., Trout D.L, Glover E.E., Harper S.M., Koh E.T., Behall K.M., O'Dorisio T.M., Tartt J. (1985) Use of xanthan gum in dietary management of diabetes mellitus. *American Journal Clinical Nutrition*, 42: 597-603.

Papageorgiou M., Lakhdarab N., Lazaridou A., Biliaderis C.G., Izydorczyk M.S. (2005) Water extractable (1-3, 1-4)- β -D-glucans from barley and oats: An intervarietal study on their structural features and rheological behaviour. *Journal of Cereal Science*, 42: 213–224.

Pereira M.A., Pins J.J. (2000) Dietary Fiber and Cardiovascular Disease: Experimental and Epidemiologic Advances. *Current Atherosclerosis Reports*, 2: 494–502.

Peroval C., Debeaufort F., Seuvre A.-M., Cayot P., Chevet B., Despré D., Voilley A. (2004) Modified arabinoxylan-based films Grafting of functional acrylates by oxygen plasma and electron beam irradiation. *Journal of Membrane Science*, 233: 129–139.

Phillips G.O., Williams P.A. (2009) *Handbook of hydrocolloids Second edition*. Woodhead Publishing Limited, pág.83, 807-812.

Phillips G.U., Cui S.W. (2011). An introduction: evolution and finalisation of the regulatory definition of dietary fiber. *Food hydrocolloids*, 25: 139-143.

Poutanen K. (2012) Past and future of cereal grains as food for health. *Science & Technology*, 25: 58-62.

Prashanth K.V., Tharanathan R.N. (2007) Chitin/chitosan: modifications and their unlimited application potentialdan overview. *Trends in Food Science & Technology*, 18: 117-131.

Prosky L., Hoebergs H. (1999) *Methods to Determine Food Inulin and Oligofructose*. Nutritional and Health Benefits of Inulin and Oligofructose. American Society for Nutritional Sciences.

Raffrenato E., Van Amburgh, M. E. (2010) Technical note: Improved methodology for analyses of acid detergent fiber and acid detergent lignin. *Journal of Dairy Science*, 94 (7): 3613–3617.

Rakha A., Aman P., Andersson R. (2010) Characterisation of dietary fibre components in rye products. *Food Chemistry*, 119: 859–867.

Ramulu P., Udayasekhara Rao P. (2003). Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 16: 677–685.

Raninen K., Lappi J., Mykkänen H., Poutanen K. (2011) Dietary fiber type reflects physiological functionality: comparison of grain fiber, inulin, and polydextrose. *Nutrition Reviews*, 69(1): 9–21.

Raupp D.S., Moreira S.S., Banzatto D.A., Sgarbieri V.C. (1999) Composição e propriedades fisiológico-nutritivas de uma farinha rica em fibra insolúvel obtida do resíduo fibroso de fécula de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 19: 205-210.

Redondo-Cuenca A., Villanueva-Suárez M.J., Mateos-Aparicio I. (2008) Soybean seeds and its by-product okara as sources of dietary fibre. Measurement by AOAC and Englyst methods. *Food Chemistry*, 108: 1099–1105.

Regulamento (UE) n.o 1169/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Outubro de 2011, relativo à prestação de informação aos consumidores sobre os géneros alimentícios, que altera os Regulamentos (CE) n.o 1924/2006 e (CE) n. o 1925/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho e revoga as Directivas 87/250/CEE da Comissão, 90/496/CEE do Conselho, 1999/10/CE da Comissão, 2000/13/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, 2002/67/CE e 2008/5/CE da Comissão e o Regulamento (CE) n. o 608/2004 da Comissão Texto relevante para efeitos do EEE.

Rehinan Z., Rashid M., Shah W.H. (2004) Insoluble dietary fiber components of food legumes as affected by soaking and cooking processes. *Food Chemistry*, 85: 245-249.

Ridley B.L., O'Neill M.A., Mohnen D. (2001) Review Pectins: structure, biosynthesis, and oligogalacturonide-related signaling. *Phytochemistry*, 57: 929–967.

Rivellese A.A., Giacco R., Costabile G. (2012) Dietary Carbohydrates for Diabetics. *Current Atherosclerosis Reports*, 14: 563–569.

Rodríguez R., Jiménez A., Fernández-Bolaños J., Heredia A. (2006) Dietary Fiber from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 17: 3-15.

Rosalam, S. and R. England (2006) Review of xanthan gum production from unmodified starches by *Xanthomonas campestris* sp. *Enzyme and Microbial Technology*, 39(2): 197-207.

Rydén L., Standl E., Bartnik M., Van den Berghe G., Betteridge J., Boer M.-J., Cosentino F., Jönsson B., Laakso M., Malmberg K., Priori S., Östergren J., Tuomilehto J., Thrainsdóttir I. (2007) Guidelines on diabetes, pre-diabetes, and cardiovascular diseases: executive summary. *European Heart Journal*, 28: 88-136.

Satija A., Hu F. B. (2012) Cardiovascular Benefits of Dietary Fiber. *Current Atherosclerosis Reports*, 14(6): 505-514.

Savitha Y.S., Singh V. (2011) Status of dietary fiber contents in pigmented and non-pigmented rice varieties before and after parboiling. *Food Science and Technology*, 44: 2180-2184.

Schmidhuber J. (2007) *The EU Diet—Evolution, Evaluation and Impacts of the CAP*. Global Perspectives Studies Unit, FAO. (Consultado a 20-07-2013 <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/economic/esd/Montreal-JS.pdf>)

Schwartz S.E., Levine R.A., Weinstock R.S., Petokas S., Mills C.A., Thomas F.D. (1988) Sustained pectin ingestion: effect on gastric emptying and glucose tolerance in non-insulin-dependent diabetic patients. *American Journal of Clinical Nutrition*, 48: 1413-1417.

EFSA (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA) European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy. *EFSA Journal*, 8(3): 1462-1539.

Scherrer U., Sartori C. (2000) Defective nitric oxide synthesis: a link between metabolic insulin resistance, sympathetic overactivity and cardiovascular morbidity. *European Journal of Endocrinology*, 142: 315–323.

Seymour G.B., Knox J.P. (2002) Pectins and their Manipulation. *Blackwell Publishing Ltd.*, pág.1-8.

Shahidi F., Arachchi J.K.V., Jeon Y.-J. (1999) Food applications of chitin and chitosans. *Trends in Food Science & Technology*, 10: 37-51.

Shewry P.R., Halford N.G. (2002) Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53(370): 947–958.

Shewry P.R., Piironen V., Lampi A.-M., Delmann M.M., Kariluoto S., Nurmi T.A, Fernandez-Orozco R., Andersson A.A., Aman P., Fraš A., Boros D., Gebruers K., Dornez E., Courtin C.M., Delcour J.A., Ravel C., Charmet G., Rakszegi M., Bedo Z., Ward J.L. (2010) Effects of Genotype and Environment on the Content and Composition of Phytochemicals and Dietary Fiber Components in Rye in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 58: 9372–9383.

Siddiq M., Uebersax M.A. (2013) *Dry Beans and Pulses Production, Processing and Nutrition*. John Wiley & Sons, Inc., pág.14

Sierra, M., J. J. García, Fernández N., Diez M.J., Calle A.P. (2002) Therapeutic effects of psyllium in type 2 diabetic patients. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56 (9): 830-842.

Silva L.P., Ciocca M.L. (2005) Total, insoluble and soluble dietary fiber values measured by enzymatic–gravimetric method in cereal grains. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18: 113–120.

Singh K.K., Mridula D., Rehal J., Barnwal P. (2011) Flaxseed: A Potential Source of Food, Feed and Fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51: 210–222.

Sinha N.K., Hui Y.H. (2011) Handbook of Vegetables and Vegetable Processing. *Blackwell Publishing Ltd*, pág.3, 13, 23, 24, 28, 507-510, 518, 545, 547, 548, 550, 551, 565, 686, 692.

Sinnott M.L. (2007) *Carbohydrate Chemistry and Biochemistry, Structure and Mechanism*. The Royal Society of Chemistry, pág.220.

Slavin J.L. (2005) Dietary fiber and body weight. *Nutrition*, 21; 411-418.

Slavin J.L. (2008). Position of The American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber. *Journal of the American Dietetic Association*, 108(19): 1716-1731

Slavin J. (2013) *Review Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits*. *Nutrients*, 5: 1417-1435.

Song K.-W., Kim Y.-S., Chang G.-S. (2006) Rheology of Concentrated Xanthan Gum Solutions : Steady Shear Flow Behavior. *Fibers and Polymers*, 7(2): 129-138.

Spiller G.A. (2001) *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition, 3rd Edition*. CRC Press LLC., pág.3-5, 40, 391.

Stephen A.M., Phillips G.O., Williams P.A. (2006) *Food Polysaccharides and Their Applications*. Taylor & Francis Group, LLC, pág.30-38, 41.

Stevenson L., Phillips F., O’Sullivan K., Walton J. (2012) Wheat bran: its composition and benefits to health, a European Perspective. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(8): 1001–1013.

Streppel M.T., Arends L.R., van ’t Veer P., Grobbee D.E, Geleijnse J.M. (2005) Dietary Fiber and Blood Pressure A Meta-analysis of Randomized Placebo-Controlled Trials. *Archives of Internal Medicine*, 165: 150-156

Sugimoto M., Morimoto M., Sashiwa H., Saimoto H., Shigemasa Y. (1998) Preparation and characterization of water-soluble chitin and chitosan derivatives. *Carbohydrate Polymers*, 36: 49-59.

Suzuki R., Rylander-Rudqvist T., Ye W., Suzuki R., Rylander-Rudqvist T., Ye W., Saji S., Adlercreutz H., Wolk A. (2008) Dietary fiber intake and risk of postmenopausal breast cancer defined by estrogen and progesterone receptor status—A prospective cohort study among Swedish women. *International Journal of Cancer*, 122: 403–412.

Svanberg S.J., Nyman E.M. (1997) Effects of Boiling and Storage on Dietary Fibre and Digestible Carbohydrates in Various Cultivars of Carrots. *Journal Science Food Agriculture*, 73: 245-254.

Talbott S.M., Talbott J.A., Talbott T.L., *et al.* (2013) β -Glucan supplementation, allergy symptoms, and quality of life in self-described ragweed allergy sufferers. *Food Science & Nutrition*, 1: 90–101.

Tapola N., Karvonena H., Niskanen L., Mikola M., Sarkkinen E. (2005) Glycemic responses of oat bran products in type 2 diabetic patients. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 15: 255-261.

TBCA/USP (2008) UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental/BRASILFOODS (1998). Tabela Brasileira de Composição de Alimentos-USP. Atualizada a Agosto de 2008, Versão 5.0. Disponível em: <http://www.fcf.usp.br/tabela>. Consultado a 3 de Setembro de 2013

Tharanathan, R. N., Mahadevamma S. (2003) Grain legumes — a boon to human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, 14 (12): 507-518.

Theuwissen E., Mensink R. P. (2008) Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiology & Behavior*, 94(2): 285-292.

Thomas T., Pfeiffer A. F. (2012) Foods for the prevention of diabetes: how do they work? *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 28(1): 25-49.

Tiwari B., Singh N., Brijesh T. (2012) Pulse Chemistry and Technology. *RSC Publishing*, pág.12-14, 29, 30.

Tojo E., Prado J. (2003). “Chemical composition of carrageenan blends determined by IR spectroscopy combined with a PLS multivariate calibration method”. *Carbohydrate Research* 338: 1309-1312.

Topping D.L., Clifton P.M. (2001) Short-Chain Fatty Acids and Human Colonic Function: Roles of Resistant Starch and Nonstarch Polysaccharides. *Physiological Reviews*, 81(3): 1031-1064.

Tosha S.M., Yada S. (2010) Review Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43: 450–460.

Trowell H. (1976) Definition of Dietary Fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29: 4117-427.

Trowell H. (1977) Why a new term for dietary fiber? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 30: 1003-1005.

Tungland B.C., Meyer D. (2002) Nondigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3: 90-109.

Turner N. D., Lupton J. R. (2011) Dietary Fiber. *Advances in Nutrition*, 2: 151–152.

Undersander D, Mertens D.R., Thiex N. (1993) FORAGE ANALYSES PROCEDURES. National Forage Testing Association, Omaha, Nebraska, Estados Unidos da América.

Usov A.I. (1998) Structural analysis of red seaweed galactans of agar and carrageenan groups. *Food Hydrocolloids*, 12: 301-308.

Van der Kamp J.W., Asp N.G., Miller-Jones J., Schaafsma G. (2004) *Dietary Fibre: Bio-active Carbohydrates for Food and Feed*. Wageningen Academic Publishers, pág.73, 74.

Van Itallie T.B. (1978) Dietary Fiber and obesity. *American Journal of Clinical Nutrition*, 31: S43-S52.

Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. (1991) Symposium: Carbohydrate Methodology, Metabolism, and Nutritional Implications in Dairy Cattle Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal Dairy Science*, 74: 3583-3597.

Vasanthan T, Gaosong J., Yeung J., Li J. (2002) Dietary fiber profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77: 35-40.

Visser J., Voragen A.G.J. (1996) Pectins and Pectinases. *Elsevier Science B.V. Parte 1*, pág.3-5.

Viuda-Martos M., López-Marcos M.C., Fernández-López J., Sendra E., López-Vargas J.H., Pérez-Álvarez J.A. (2010) Role of Fiber in Cardiovascular Diseases: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9: 240-258.

Vuksan V., Rogovik A.L., Jovanovski E., Jenkins A.L. (2009) Fiber Facts: Benefits and recommendations for individuals with type 2 diabetes. *Current Diabetes Reports*, 9: 405-411.

Walter M., Marchezan E., Avila L.A. (2008) Arroz: composição e características nutricionais. *Ciência Rural, Santa Maria*, 38(4): 1184-1192.

Wanga N., Hatcher D.W., Tyler R.T., Toews R., Gawalko E.J. (2010) Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International*, 43: 589-594.

Wang N., Hatcher D.W., Gawalko E. J. (2009) Effect of variety and processing on nutrients and certain anti-nutrients in field peas (*Pisum sativum*). *LWT - Food Science and Technology*, 42: 842-848.

Weickert M.O., Möhlig M., Schöfl C., Arafat A.M., Otto B., Viehoff H., Koebnick C., Kohl A., Spranger J., Pfeiffer A.F. (2006) Cereal Fiber Improves Whole-Body Insulin Sensitivity in Overweight and Obese Women. *Diabetes Care*, 29: 775-780.

Welch R.W. (1995) *The Oat Crop*. Chapman & Hall, pág.279-311

Weng L.C., Lee N.J., Yeh W.T., Ho L.T., Pan W.H. (2012) Lower intake of magnesium and dietary fiber increases the incidence of type2 diabetes in Taiwanese. *Journal of the Formosan Medical Association*, 111 (11): 651-659.

Westenbrink S., Brunt K., Van der Kamp J.W. (2013) Dietary fibre: Challenges in production and use of food composition data. *Food Chemistry*, 140: 562-567.

Wenzel de Menezes E., Giuntini E.B., Dan M.C. T., Sardá F.A.H., Lajolo F.M. (2013) Codex dietary fibre definition–Justification for inclusion of carbohydrates from 3 to 9 degrees of polymerisation. *Food Chemistry*, 140: 581–585.

WHO (2010) *Global status report on noncommunicable diseases 2010* .Library Cataloguing-in-Publication Data.

WHO (2003) *World health report 200, Shaping the future*. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.

Williams G., Pickup J.C. (2004) *Diabetes*. Blackwell Publishing Ltd, pág.-2, 3.

Würsch P., Pi-Sunyer F.X. (1997) The Role of Viscous Soluble Fiber in the Metabolic Control of Diabetes: A review with special emphasis on cereals rich in β -glucan. *Diabetes Care*, 20(11): 1774-1780.

Wu H., Dwyer K.M., Fan Z., Shircore A., Fan J., Dwyer J.H. (2003) Dietary fiber and progression of atherosclerosis:the Los Angeles Atherosclerosis Study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78: 1085–1091.

Xavier A.F. (2005). Composição da madeira de clones de *Eucalyptus globulus* e a sua influência na aptidão ao cozimento Kraft.Dissertação de Mestrado de Engenharia de processos de Produção de Pasta para Papel. Departamento de Química da Universidade de Aveiro.

Yadav M.P., Igartuburu J.M., Yan Y., Nothnagel E.A. (2007) Chemical investigation of the structural basis of the emulsifying activity of gum Arabic. *Food Hydrocolloids*, 21: 297–308.

Yao M., Roberts S.B. (2009) Dietary Energy Density and Weight Regulation. *Nutrition Reviews*, 59(8): 247-258.

Yaşar F., Toğrul H., Arslan N. (2007) Flow properties of cellulose and carboxymethyl cellulose from orange peel. *Journal of Food Engineering*, 81(1): 187-199.

Zdunczyk Z., Godyckan I., Amarowicz R. (1997) Chemical composition and content of antinutritional factors in Polish cultivars of peas. *Plant Foods for Human Nutrition*, 50: 37-45.

Zentner H. (1965) A Simplified Method for Determining Fibrous Residue in Wheat Meals and in Brown and Wholemeal Breads. *Anlyst*, 90: 303-305.

Zielinski G., DeVries J.W., Craig S.A., Bridges A.R. (2013) Dietary Fiber Methods in *Codex Alimentarius*: Current Status and Ongoing Discussions. *Cereal Foods World*, 58(3): 1-5.

Sites Consultados :

07 de Junho de 2013: <http://www.mccarrisonsociety.org.uk/founders-of-nutrition-othermenu-149/trowell-othermenu-145?showall=1&limitstart=>

20 de Julho de 2013: <http://www.fao.org/focus/e/obesity/obes1.htm>

23 de Julho de 2013: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/en/#>

24 de Julho de 2012: <http://www.hospitalsiriolibanes.org.br/hospital/especialidades/nefrologia-dialise/area-atuacao/Paginas/nefropatia-diabetica.aspx>

2 de Agosto de 2013: <http://www.fao.org/docrep/V4700S/V4700S00.htm>
http://www.fao.org/docrep/V4700E/V4700E0e.htm#Chapter_9 : Coronary heart disease and lipoproteins

10 de Agosto de 2013: <http://www.intechopen.com/books/food-industry/enzymes-in-bakery-current-and-future-trends>

16 de Agosto de 2013: <http://www.cancerresearchuk.org/cancer-info/cancerstats/world/cancer-worldwide-the-global-picture>

17 de Abril de 2014. <http://www.fibersol.com/products/fibersol-2/faqs/>