



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA

Vinculada ao Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária - MAARA

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA – CNPSO

Londrina, PR

Componentes do trigo:

Características físico-químicas, funcionais e tecnológicas



Londrina, PR
1994



REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

presidente

ITAMAR AUGUSTO CAUTIERO FRANCO

ministro da agricultura, do abastecimento e da reforma agrária

SINVAL GUAZELLI

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

presidente

MURILO FLORES

diretores

ELZA ANGELA BATTAGGIA BRITO DA CUNHA

JOSÉ ROBERTO RODRIGUES PERES

MÁRCIO DE MIRANDA SANTOS (interino)

CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA

chefe

FLÁVIO MOSCARDI

chefe adjunto técnico

ÁUREO FRANCISCO LANTMANN

chefe adjunto administrativo

SÉRGIO ROBERTO DOTTO

Exemplares desta publicação podem ser solicitadas ao:

Setor de editoração do CNPSO

Caixa Postal 1061 - CEP 86.001-970

Fone: (043) 320-4166 - Fax: (043) 320-4186

Londrina, PR

As informações contidas neste documento somente poderão ser reproduzidas com a autorização expressa do Setor de Editoração do CNPSO.

impresso no Setor de Editoração do CNPSO

ISSN 0101-5494



EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA

Vinculada ao Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária - MAARA

Centro Nacional de Pesquisa de Soja – CNPSO

Londrina, PR

COMPONENTES DO TRIGO: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, FUNCIONAIS E TECNOLÓGICAS

José Marcos Gontijo Mandarinato

Londrina, PR
1994

comitê de publicações

CARLOS CAIO MACHADO
ÁLVARO M. RODRIGUES ALMEIDA
BEATRIZ S. CORRÊA-FERREIRA
IVAN CARLOS CORSO
JOSÉ RENATO BOUÇAS FARIAS
NORMAN NEUMAIER
SARA PICCININI DOTTO

setor de editoração

CARLOS CAIO MACHADO – responsável
DIVINA M. BOAVENTURA – digitação e composição
EDNA DE S. BERBERT – digitação e composição
SANDRA REGINA – composição
SARA PICCININI DOTTO – revisão
DANILO ESTEVÃO – arte final
HÉLVIO B. ZEMUNER – fotomecânica
AMAURI P. FARIAS – impressão e acabamento

capa

SANDRA REGINA

fotos da capa

VERA LÚCIA EIFLÊR – CNPFlorestas

tiragem

1.500 EXEMPLARES

MANDARINO, J.M.G. **Componentes do trigo:** características físico-químicas, funcionais e tecnológicas. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1994. 36p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, n° 75).

1. Trigo-Nutrição humana. 2. Trigo-Grão-Composição química. 3. Trigo-Características físico-químicas. 4. Trigo-Proteínas. 5. Trigo-Farinha. 6. Trigo-Glúten. 7. Trigo-Composição aminoacídica. 8. Trigo-Lipídios. I. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). II. Título. III. Série.

CDD: 633.11

APRESENTAÇÃO

O trigo, também denominado "**cereal nobre**", é conhecido e utilizado como alimento pelo homem desde tempos imemoriais. Considerado como um alimento estratégico, foi sempre símbolo de poder durante as épocas de guerra e paz na história da humanidade.

O conhecimento mais profundo de cada um dos principais componentes do grão de trigo, bem como de suas características, é imprescindível a todos aqueles que, direta ou indiretamente, estão envolvidos com os diversos segmentos pertinentes à agroindústria desse cereal.

É através da discussão de conceitos básicos sobre proteínas, lipídios, carboidratos e suas propriedades particulares, que se fundamentam as aplicações e os processamentos tecnológicos do grão e de seus derivados destinados à indústria alimentícia.

Com este objetivo, o Centro Nacional de Pesquisa de Soja apresenta este documento, elaborado por seu corpo técnico, com a finalidade de contribuir para com os diferentes segmentos envolvidos na industrialização do trigo.

Flávio Moscardi
Chefe do CNPSO

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. PROTEÍNAS DO TRIGO	8
2.1. Glúten	9
2.1.1. Gliadinas	9
2.1.2. Gluteninas	9
2.1.3. Resíduo protéico	9
2.2. Teor protéico e composição aminocídica	9
2.3. Propriedades do glúten	11
2.3.1. Estrutura do glúten	11
2.3.1.1. Pontes de hidrogênio	11
2.3.1.2. Pontes dissulfeto	11
2.3.2. Modelos propostos para explicar a estrutura do glúten e as propriedades viscoelásticas da massa	11
2.3.2.1. Ligações sulfidril - dissulfeto (Backwith e Wall) ..	11
2.3.2.2. Concatenações e encadeamento das cadeias protéicas (Greenwood e Wall)	12
2.3.2.3. Ligações secundárias (Kasarda e Bernardin)	12
2.3.3. Propriedades físicas do glúten	13
2.4. Efeito de oxidantes e redutores	14
2.4.1. Agentes oxidantes	14
2.4.2. Agentes redutores	15
3. LIPÍDIOS DO TRIGO	16
3.1. Localização subcelular dos lipídios nos grãos de trigo	16
3.2. Processo de oxidação – reações enzimáticas envolvidas	17
4. CARBOIDRATOS DO TRIGO	20
4.1. O amido	20
4.1.1. Características físico-químicas do amido	20

4.1.2. Características funcionais e tecnológicas do amido . .	23
4.1.2.1. Solubilidade	23
4.1.2.2. Gelatinização	23
4.1.2.3. Retrogradação	25
4.1.3. Enzimas amilolíticas	27
4.2. As fibras	29

5. LITERATURA CONSULTADA	30
------------------------------------	----

COMPONENTES DO TRIGO: CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS, FUNCIONAIS E TECNOLÓGICAS

José Marcos Gontijo Mandarinho¹

1. INTRODUÇÃO

Os cereais são considerados importantes culturas para alimentação humana, destacando-se dentre eles, o trigo, o arroz, o milho, o centeio, a cevada, a aveia e o triticale. A composição química dos grãos de cereais varia amplamente, dependendo das condições ambientais e do genótipo.

Para compreender o comportamento do trigo e suas propriedades tecnológicas, faz-se necessário o conhecimento básico dos principais constituintes do grão: água, proteínas, lipídios e carboidratos (açúcares, amido, fibras). O teor de umidade dos grãos e a composição aminoacídica das proteínas são fatores importantes para a industrialização do trigo.

O trigo deve ser colhido com um teor de umidade entre 11% e 14%. Umidades inferiores a esta faixa são indesejáveis, porque tornam os grãos quebradiços durante o transporte, armazenamento e operação de moagem. Outra desvantagem do trigo muito seco é a maior dificuldade em condicioná-lo ao nível de umidade adequado à moagem. Teores de umidade superiores a 14% podem propiciar o brotamento dos grãos e o desenvolvimento de microrganismos, principalmente fungos, com conseqüente produção de toxinas durante o período de armazenamento. O trigo seco e sadio pode ser

¹ *Bioquímico, M.Sc. Pesquisador da EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Soja (CNPSo), Caixa Postal 1061, CEP 86001-970, Londrina, PR.*

estocado adequadamente por anos, mas o trigo úmido deteriora-se, completamente, dentro de poucos dias. O trigo é denominado "**cereal nobre**", pois a farinha obtida, a partir da moagem de seus grãos, é a única capaz de formar uma massa viscoelástica, quando submetida à mistura com água. Esta característica deve-se à estrutura formada por suas proteínas (glúten). Sua massa é capaz de reter os gases produzidos durante o processo de fermentação, para produção de pães, conferindo ao produto final textura e estrutura únicas.

A farinha é obtida através de um processo relativamente complexo, denominado moagem do trigo, que pode ser resumido em duas etapas. A primeira, consiste em separar do endosperma o farelo e o gérmen. A segunda, compreende a moagem das partículas do endosperma para produção da farinha, composta de partículas com granulometria ainda mais reduzida. O processo de moagem dos grãos de trigo é uma operação composta de várias etapas: recepção e estocagem, condicionamento (umidificação), moagem propriamente dita, estocagem e embalagem da farinha.

2. PROTEÍNAS DO TRIGO

As proteínas do trigo localizam-se, principalmente, no endosperma, mas estão presentes, também, no gérmen e nas fibras. São classificadas de acordo com sua solubilidade em diferentes sistemas de solventes. Entretanto, seu estudo foi dificultado devido à sua insolubilidade nos solventes que são, normalmente, utilizados na separação e análise de proteínas. Atualmente, com as novas técnicas de cromatografia e eletroforese, a caracterização das proteínas do trigo tornou-se mais precisa.

As proteínas do trigo são classificadas em cinco frações: albuminas (6% a 10%), globulinas (6% a 10%), gliadinas (35%), gluteninas (35%) e resíduo protéico (10%).

2.1. Glúten

O glúten é constituído pelas gliadinas, gluteninas e resíduo proteico. As gliadinas conferem extensibilidade, enquanto que as gluteninas e o resíduo protéico, conferem elasticidade à massa. Estas frações apresentam composição variável em termos de proteínas e desempenham importantes funções biológicas.

2.1.1. Gliadinas

As gliadinas são solúveis em soluções alcoólicas (etanol 70%). Possuem peso molecular entre 30.000 e 50.000 e apresentam-se sob a forma monomolecular estabilizada por pontes dissulfeto intramoleculares. Apresentam alta extensibilidade e baixa elasticidade.

2.1.2. Gluteninas

São complexos protéicos que apresentam pontes dissulfeto intramoleculares e intermoleculares. Possuem peso molecular acima de 100.000 e são solúveis em soluções ácidas ou alcalinas diluídas. Apresentam baixa extensibilidade, elevada elasticidade e podem formar complexos com os lipídios.

2.1.3. Resíduo protéico

Esta fração é insolúvel em soluções alcoólicas, bem como nas soluções ácidas ou alcalinas diluídas. É um importante fator de qualidade na panificação. Já foi verificada a existência de uma correlação positiva entre o teor percentual do resíduo protéico na farinha e a qualidade do pão produzido a partir da mesma.

2.2. Teor protéico e composição aminoacídica

O teor percentual de proteínas na farinha varia de acordo com a cultivar do trigo, o grau de desenvolvimento do grão, o solo onde foi cultivado,

as condições climáticas durante o desenvolvimento, o tipo de processamento utilizado para a extração da farinha, dentre outros fatores. Esse teor pode variar de 8% a 14%.

A composição aminoacídica das proteínas do trigo apresenta grandes diferenças quando comparada com a caseína (principal fração protéica do leite) e com o isolado protéico de soja. Principalmente quando essa comparação é em relação às proteínas que constituem o glúten.

As proteínas do glúten são particularmente ricas nos aminoácidos: prolina, cistina, ácido aspártico e ácido glutâmico, que contribuem para a formação e manutenção da forma em α - hélice (forma espiralada) das proteínas. É essa forma espiralada das proteínas do trigo que torna possível a formação da massa, fato que não ocorre com os outros cereais, pois suas proteínas não possuem essa estrutura espiralada. A composição aminoacídica das gliadinas e gluteninas apresentam algumas similaridades, embora haja diferenças como, por exemplo: as gliadinas possuem menores teores de glicina, alanina, lisina, ácido aspártico e treonina do que as gluteninas. Entretanto, apresentam altos teores de ácido glutâmico, prolina e cisteína. As gliadinas e gluteninas apresentam altos teores de ácido glutâmico e de ácido aspártico na forma amídica - glutamina e asparagina - que desempenham importante função na interação entre as proteínas do glúten. Estes aminoácidos contribuem para a formação e estabilização da α - conformação (espiralada) das proteínas. Isto ocorre através da formação de pontes de hidrogênio entre os grupos amida, que agem como doadores e receptores de hidrogênio. Vários estudos têm demonstrado que a perda das propriedades viscoelásticas da farinha (proteínas do glúten) está relacionada com a conversão dos grupos amida em grupos carboxila ou esteris.

A presença de níveis, relativamente altos, de aminoácidos com sítios hidrofóbicos nas cadeias das proteínas do glúten, aumenta consideravelmente, as interações hidrofóbicas entre esses aminoácidos, contribuindo de maneira positiva, para a formação e estabilização dos complexos de glutenina. Os elevados níveis de prolina, nas moléculas de gliadinas e gluteninas, desempenham função importante na estrutura conformacional dessas proteínas, particularmente nas gliadinas, onde o teor desse aminoácido é maior. A prolina é responsável pela rigidez da estrutura conformacional da molécula protéica e, conseqüentemente, pela rigidez da "rede protéica" no glúten.

2.3. Propriedades do glúten

2.3.1. Estrutura do glúten

As interações mais importantes entre os aminoácidos presentes nas proteínas do glúten são do tipo pontes dissulfeto, pontes de hidrogênio e interações hidrofóbicas. As ligações iônicas são de menor importância, devido ao baixo teor de aminoácidos carregados presentes nas proteínas do glúten.

2.3.1.1. Pontes de hidrogênio

As pontes de hidrogênio entre os aminoácidos que possuem grupo amida (glutamina e asparagina) são responsáveis pela insolubilidade das proteínas do glúten. A presença de prolina, nas moléculas protéicas, também favorece a formação de pontes de hidrogênio intermoleculares.

2.3.1.2. Pontes dissulfeto

A rede formada pelas proteínas do glúten é mantida pelas pontes dissulfeto (S-S) entre os aminoácidos sulfurados presentes nas moléculas protéicas. Essas pontes são intra e intermoleculares. Nas gluteninas, as cadeias protéicas, com peso molecular de aproximadamente 20.000, ligam-se a outras cadeias através de pontes dissulfetos formando, assim, complexos cujo peso molecular pode atingir valores superiores a 1.000.000. Nas gliadinas, as pontes dissulfeto são intramoleculares. O número dessas pontes, ou seja, o teor porcentual dos aminoácidos sulfurados presentes nas moléculas das proteínas que constituem o glúten, é um dos fatores que determinarão se uma farinha de trigo será forte ou fraca.

2.3.2. Modelos propostos para explicar a estrutura do glúten e as propriedades viscoelásticas da massa

2.3.2.1. Ligações sulfidril – dissulfeto (Backwith e Wall)

As gliadinas e gluteninas podem formar pontes dissulfeto (S-S) intracadeia e intercadeia, respectivamente. Acreditava-se que a gliadina seria a unidade estrutural da glutenina. Porém, a oxidação da gliadina produz um

composto de elevado peso molecular e com características de massa muito mais acentuadas e diferentes daquelas da glutenina.

As características da massa, segundo Goldstein, Redman e Ewart, seriam consequência da formação de ligações temporárias, que levariam a deformações permanentes na massa. Haveria, ainda, uma enzima capaz de realizar trocas de ligações. Entretanto, nas proteínas do glúten, a concentração de ligações S-H e S-S é da ordem de 1 a 10 micromol/g de farinha e, também, não há evidências da existência dessa enzima.

2.3.2.2. Concatenações e encadeamento das cadeias protéicas (Greenwood e Wall)

Segundo essa teoria, as características da massa seriam dadas apenas pelas gluteninas. Haveria um encadeamento das cadeias protéicas das gluteninas, através de ligações S-S intra e intercadeias e, com a presença da água, ocorreria a formação das concatenações.

Essas características foram assim definidas:

- a) elasticidade da massa – quando uma força externa era imprimida sobre a mesma, provocava distorções nas cadeias polipeptídicas, que iriam readquirir a conformação inicial tão logo cessasse a força.
- b) extensibilidade da massa – dependeria da estrutura da rede, ou seja, da quantidade de "nós" (ligações intercadeia).
- c) overmixing – quando houvesse um excesso de "trabalho" (mistura) da massa, ocorreria então a ruptura das pontes S-S com a liberação das moléculas de água, que estariam retidas no interior da rede, com consequente diminuição da resistência e "fluidificação" da massa.

2.3.2.3. Ligações secundárias (Kasarda e Bernardin)

A formação e manutenção da estrutura da rede não se dá unicamente através de ligações covalentes (S-S), mas também pela presença de pontes de hidrogênio, interações hidrofóbicas e ligações iônicas entre os aminoácidos que formam as cadeias protéicas.

Cada molécula protéica constitui-se numa "unidade monomérica". As

ligações entre estas unidades formam as "microfibrilas" e o seu inter cruzamento as "macrofibrilas", que formariam a "Rede", com moléculas de água inclusas no seu interior.

2.3.3. Propriedades físicas do glúten

As propriedades físicas do glúten constituem-se na maciez e extensibilidade conferidas pelas gliadinas e na firmeza, elasticidade e resistência conferidas pelas gluteninas.

A elasticidade é a propriedade da massa que permite sua distensão, quando é submetida a uma força, voltando à forma inicial tão logo essa força cesse.

A extensibilidade é a propriedade da massa que permite sua distensão quando é submetida a uma força, porém não permite que ela volte à forma inicial, quando cessada a força.

Na panificação, a mistura da farinha de trigo com a água, para formar massa, é a etapa crítica do processamento do pão e é nesta fase que ocorrem as mudanças mais importantes na estrutura das proteínas. Nesta etapa, as proteínas e os outros componentes da massa são submetidos a um trabalho mecânico, através de sua mistura. Ocorre, então, uma reorganização das proteínas para a formação de uma massa com características próprias. No decorrer da mistura, a massa torna-se mais úmida e coesa (formação das pontes dissulfeto). Havendo, assim, um aumento gradual na coesão e o desenvolvimento de suas propriedades elásticas. Com a continuação do trabalho mecânico sobre a massa, esta irá apresentar aparência mais seca e homogênea. Estas etapas são denominadas "desenvolvimento da massa". A partir deste ponto, se a massa é submetida a mais trabalho, perde a elasticidade, começa a estender-se, adquirindo características de fluído.

Pelo exame microscópico da massa, observa-se que a "Matriz ou Rede" formada pelas proteínas, apresenta-se uniforme e contínua. No interior da matriz encontram-se moléculas de água e ligados à matriz, podem ser visualizados grânulos de amido, estruturas fibrilares e "células de gás".

As propriedades viscoelásticas da massa decorrem das estruturas das proteínas do glúten que formam essa "Rede". Assim sendo, a estrutura e as

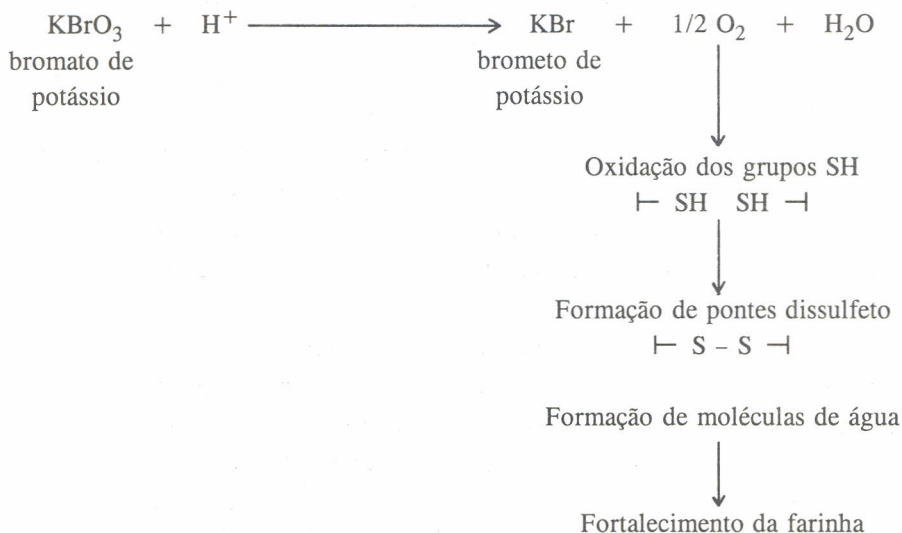
propriedades reológicas da massa estão diretamente relacionadas com o número e a resistência das ligações e interações entre as cadeias das proteínas do glúten. Em última instância, essas propriedades dependem do teor porcentual e da composição aminoacídica das proteínas presentes no grão de trigo.

2.4. Efeito de oxidantes e redutores

2.4.1. Agentes oxidantes

As substâncias oxidantes (bromato de potássio, ácido ascórbico) podem ser adicionados à farinha de trigo com o intuito de fortalecê-la.

Os oxidantes, ao dissociarem-se, produzem moléculas de oxigênio que promovem a oxidação os grupos tióis (S-H) dos aminoácidos sulfurados, com conseqüente formação de pontes dissulfeto (S-S) entre estes aminoácidos componentes das proteínas. A massa (rede de glúten), obtida a partir dessa farinha, apresentará características mais rígidas produzindo, assim, um pão com melhores características estruturais.

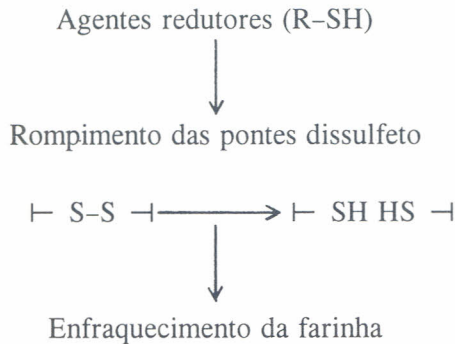


O bromato de potássio é tóxico ao homem, mas o brometo não. O efeito do fortalecimento da farinha pela adição de bromato só ocorre quando é usado numa quantidade de até 50 ppm. O excesso não participa da reação e, se for utilizado até esta concentração, não causará problemas de intoxicação, pois todo ele será transformado em brometo, que não apresenta toxicidade ao homem. Só haverá bromato residual se concentrações acima de 50 ppm, forem usadas.

As "farinhas fortes", quando manipuladas para formação da massa do pão, apresentam melhor capacidade de retenção de gás e, conseqüentemente, os pães produzidos apresentarão maior volume e melhor textura. Podem ser utilizados, também, como agentes oxidantes o peróxido de benzoíla e o ácido ascórbico (vitamina C), ou mesmo uma mistura dos três agentes. O ácido ascórbico apresenta, como desvantagem, o custo mais elevado em relação ao bromato de potássio.

2.4.2. Agentes redutores

Os agentes redutores desestabilizam a estrutura das proteínas dificultando, assim, o processo da panificação. Aumentam a extensibilidade e diminuem a elasticidade da massa, através do rompimento das pontes dissulfeto entre os aminoácidos sulfurados presentes nas moléculas protéicas. São chamados de agentes "enfraquecedores da massa" e são utilizados para obtenção das chamadas "farinhas fracas", próprias para produção de bolos. Este tipo de farinha confere uma textura macia ao produto. O enfraquecimento das farinhas pode ser realizado, também, através, da utilização de um "diluente" como, por exemplo, o amido.



3. LIPÍDIOS DO TRIGO

Os lipídios presentes nos grãos dos cereais são constituídos, em sua maioria, por ácidos graxos poli-insaturados. O ácido linoléico representa 50% e o ácido linolênico cerca de 5% dos ácidos graxos presentes nos lipídios dos cereais. Como esses ácidos são poli-insaturados e apresentam, em sua estrutura molecular, o pentadieno conjugado, constituem-se em substratos para a enzima lipoxigenase, que promove a oxidação dos mesmos, em presença de oxigênio, formando os hidroperóxidos. Os hidroperóxidos formados são, posteriormente, oxidados por outras enzimas, dando origem a aldeídos, cetonas, ácidos graxos oxidados, entre outros compostos. Os produtos formados a partir dessas reações de oxidação, diminuem as qualidades nutricional e organoléptica dos cereais e seus subprodutos derivados.

3.1. Localização subcelular dos lipídios nos grãos de trigo

Os lipídios e as enzimas que atuam sobre os mesmos, localizam-se, principalmente, no germen dos grãos de trigo. A principal fração do conteúdo lipídico do trigo é constituída por triglicerídeos, cujas moléculas apresentam elevados teores de ácidos graxos poli-insaturados, principalmente o

ácido linoléico. No interior das células do gérmen, os triglicerídeos constituem os chamados corpos oleosos ou oleossomos, que eram confundidos com os esferossomos. Entretanto, em recentes pesquisas, utilizando-se a técnica de microscopia eletrônica, ficou evidenciado que eram organelas diferentes e que os esferossomos continham proteínas e fosfolipídios no seu interior. No gérmen, além dos triglicerídeos, encontram-se os glicolipídios, fosfolipídios e lipídios insaponificáveis. Os dois primeiros correspondem a 16,5% da fração lipídica total. Os esferossomos da camada denominada aleurona contêm triglicerídeos.

O teor de lipídios no endosperma é de cerca de 2% e no trigo maduro a constituição lipídica do endosperma é uma mistura complexa de fosfolipídios, galactolipídios, lipídios neutros (ácidos graxos livres), lisofosfolipídios, lisogalactolipídios, lipídios acilados (N-acil-fosfatidiletanolamina) e galactolipídios esterificados. No endosperma do grão em desenvolvimento, não estão presentes os lisofosfolipídios, os lipídios acilados e os galactolipídios. Os lipídios do endosperma em desenvolvimento são um reflexo da composição das principais organelas deste tecido. As células do endosperma em desenvolvimento possuem as organelas, mas o conteúdo é constituído, principalmente, de corpos protéicos, amiloplastos e retículo endoplasmático (ribossomos). Estas organelas são, também, identificadas no endosperma maduro. Os corpos protéicos contêm inclusões de lipídios. O retículo endoplasmático apresenta uma fração lipídica composta, principalmente, de fosfolipídios (fosfatidilcolina e fosfatidiletanolamina). A membrana dos amiloplastos é composta de digalactosildiglicerídeos, monogalactosildiglicerídeos, fosfatidilcolina, fosfatidilinositol e fosfatidildiglicerol.

Os grânulos de amido contidos nos amiloplastos são compostos de 0,5% a 1% de lipídios (ácidos graxos livres e lisofosfatidilcolina).

3.2. Processo de oxidação – reações enzimáticas envolvidas

Os lipídios presentes no gérmen dos cereais são oxidados por uma sequência de reações enzimáticas (reação em cascata). A sequência inicia-se com a hidrólise dos diferentes glicerídeos pelas lipases, fosfolipases e hidro-

lases acil lipolíticas. Os ácidos graxos poli-insaturados que se tornaram livres através dessa ação enzimática ficam, então, suscetíveis à oxidação pelas lipoxigenases. Os produtos formados nesta oxidação são hidroperóxidos de ácidos graxos, que serão, então, transformados em aldeídos, cetoácidos e ácidos graxos oxidados. Para os tecnólogos de alimentos essa seqüência de reações é muito importante no controle dos "off-flavors" e do sabor amargo, decorrentes da formação dos produtos de oxidação nos alimentos.

Como a hidrólise lipídica é a primeira reação da seqüência, o seu estudo é de grande importância para o controle da deterioração dos lipídios. Dentre as enzimas lipolíticas presentes nos cereais, as lipases são aquelas que têm recebido maior atenção. Normalmente, as lipases estão inativas no grão maduro, mas são ativadas quando o tecido dos grãos é rompido, através dos processos de moagem e produção de flocos (ex: aveia).

Durante a germinação, há um aumento na atividade das lipases, que estão associadas aos corpos lipídicos. Os ácidos graxos, liberados dos triglicerídeos pela ação das lipases, são metabolizados pelas células dos glioxissomos e convertidos em carboidratos. Durante o período de germinação do trigo as lipases apresentam um aumento de atividade, principalmente no coleoptilo e nas raízes seminais.

No grão de trigo, o endosperma apresenta maior atividade das lipases em relação ao gérmen. Entretanto, isto é devido à diferença de peso entre essas frações.

Após a lipólise, os ácidos graxos liberados participarão de outras reações da seqüência, nas quais estão presentes enzimas como as lipoxigenases e hidroperóxido ciclase, dentre outras. Estas enzimas estão localizadas, principalmente, no gérmen e são ativas nos grãos desenvolvidos (maduros). A atividade dessas enzimas aumenta durante a germinação, paralelamente ao aumento de atividade das lipases.

Embora a função principal da lipólise, durante o processo de germinação, seja o fornecimento de ácidos graxos livres para serem transformados em carboidratos pelos glioxissomos, não se sabe que quantidade de ácidos

graxos é desviada para a reação em cascata (reação de oxidação). Apenas uma pequena quantidade dos produtos finais desta reação é detectada nas plântulas. Entretanto, quando há ruptura da estrutura celular há, também, um aumento dos produtos finais da reação em cascata. Assim sendo, um dos fatores responsáveis pela deterioração lipídica nos cereais é a ruptura dos tecidos.

As enzimas que participam de reações envolvendo os lipídios estão inativas quando o grão do cereal está intacto e seco. Entretanto podem ser ativadas pela simples ruptura do tecido vegetal, mesmo na aparente ausência de água, embora a atividade enzimática nos cereais secos seja dependente do seu conteúdo residual de água. Como a umidade relativa do ambiente atmosférico é um dos fatores que determina o conteúdo de água nos substratos sólidos, foram traçadas e calculadas as isotermas de adsorção de água para os diferentes cereais. Em umidade relativa constante, o conteúdo de água varia consideravelmente. Assim sendo, a melhor definição para atividade de água é via umidade relativa do ambiente atmosférico. Nos flocos de cereais, a atividade da lipase aumenta quando estes são armazenados sob condições de umidade relativa crescente. A lipólise, decorrente da atividade enzimática, pode persistir até condições de baixa umidade relativa (10%). Portanto, nos cereais, há um paralelo entre a atividade das lipases e a isoterma de adsorção de água. Embora haja relatos na literatura comprovando a atividade das lipases em substratos com baixíssima umidade, onde a única forma de água existente é a chamada "água ligada". Foi relatado, também, que enzimas como as fosfolipases, lipoxigenases e peroxidases apresentam atividade em substratos com baixíssima umidade.

As lipoxigenases também apresentam um aumento em sua atividade quando a umidade relativa é elevada. A quantidade de água necessária para a atividade enzimática é aquela suficiente para envolver as moléculas das enzimas formando, assim, as micelas. Tanto as lipoxigenases quanto as lipases apresentam atividade, também, em meios orgânicos.

Em resumo, o início do processo de degradação sequencial dos lipídios em grãos maduros e secos é controlado por vários fatores: 1) a ruptura da estrutura celular (tecidos) promove a liberação das enzimas dos seus

"compartimentos" específicos, que se encontram no interior das organelas; 2) as enzimas lipolíticas (lipases) que participam da primeira reação da sequência devem estar presentes para iniciar o processo; e 3) se as enzimas lipolíticas estiverem presentes, podem apresentar atividade mesmo em condições de baixa umidade relativa. Entretanto, aumentos no teor de umidade dos grãos resultam em aumento da atividade.

4. CARBOIDRATOS DO TRIGO

4.1. O amido

Os carboidratos podem ser classificados em solúveis (amido e açúcares) e insolúveis (celulose, hemicelulose, pentosanas, etc.) e representam 75% da composição dos cereais, com especial destaque para os solúveis, principalmente o amido.

Comercialmente, o amido é extraído do milho. Entretanto, nos países tropicais, a mandioca é também utilizada como matéria-prima para produção de amido. O trigo, o arroz e a batata, normalmente, são usados como alimentos e só serão fontes comerciais de amido em circunstâncias especiais. O trigo só é destinado para produção comercial de amido, quando sua proteína apresenta qualidade muito baixa para panificação ou quando sofreu problemas com geadas durante seu cultivo, sendo assim descartado da produção de farinhas.

O amido possui diversas aplicações industriais. É utilizado pelas seguintes indústrias: de alimentos, têxtil, de papel, química, siderúrgica, farmacêutica, de mineração, petrolífera, de pavimentação asfáltica e de plásticos, dentre outras.

4.1.1. Características físico-químicas do amido.

O amido é um polímero constituído de "n" moléculas de glicose, possuindo, assim, um alto peso molecular. A glicose e, conseqüentemente,

o amido, é sintetizada pelos vegetais a partir de moléculas de CO_2 existente na atmosfera, moléculas de água e luz, através de um processo biológico denominado fotossíntese. Esse processo se dá através de vias metabólicas com a mediação de um sistema enzimático complexo e exige a participação da clorofila, um pigmento verde encontrado nos vegetais.

Nos vegetais encontramos dois tipos de amido: o transitório que fica depositado nos cloroplastos e participa do metabolismo produzindo energia sob a forma de ATP, através do processo da respiração e o amido de reserva que existe em maior quantidade e é acumulado em organelas, denominadas amiloplastos. Este amido é armazenado com a finalidade de suprir as necessidades energéticas dos vegetais durante a germinação e também é utilizado pelo homem e pelos animais, quando da ingestão das partes vegetais que o contém (grãos e tubérculos).

Bioquimicamente, a glicose é um poliálcool constituído de seis átomos de carbono e um deles possui o grupamento aldeídico ($\text{C} = \text{O}$). A formação do amido se dá através da polimerização de moléculas de glicose, que ocorre entre o carbono 1 de uma molécula e o carbono 4 de outra molécula, que possui a hidroxila (grupo OH) na posição alfa (α). Esta ligação é então denominada α 1-4.

O amido é constituído de amilose (polímeros lineares de moléculas de glicose) e de amilopectina (polímeros ramificados de moléculas de glicose). Devido a essa diferença conformacional, a amilose e amilopectina têm propriedades, características e aplicação distintas. Em geral, a relação amilose/amilopectina no amido gira em torno de 1:3. Entretanto, essa relação depende da origem do amido e é em função dela que existem diferenças nas características dos amidos provenientes de fontes vegetais distintas. O amido de milho é diferente do amido da batata que são diferentes do amido de trigo e assim por diante. O "ponto de junção" das ramificações às cadeias que constituem a amilopectina se dá através de ligações do tipo α 1-6, ou seja, entre o carbono 1 de uma molécula de glicose e o carbono 6 de uma outra molécula. Nas cadeias, as ligações entre as moléculas de glicose são do tipo α 1-4.

A amilose apresenta regiões lineares e espiraladas em sua molécula.

Essas regiões espiraladas devem-se à formação de pontes de hidrogênio entre os grupos hidroxila presentes nas moléculas de glicose. Cada volta da espiral é formada por seis moléculas de glicose. A amilopectina não apresenta regiões espiraladas em sua molécula.

O peso molecular da amilose é da ordem de 10^5 a 10^6 e da amilopectina de 10^7 a 10^8 . Portanto, esta é cerca de 100 vezes mais pesada do que a amilose. Os polímeros de amilose são constituídos em média por 2000 moléculas de glicose.

O número de ramificações presentes numa cadeia polimérica de amilopectina pode ser determinado através da reação de oxidação com periodato de potássio (KIO_3), com conseqüente produção de ácido fórmico. O número de moléculas de ácido fórmico produzido será igual ao número de ramificações. Determinando-se, então, a quantidade de ácido fórmico formado a partir da reação da amilopectina com KIO_3 , determina-se o número de ramificações da cadeia.

A amilose é parcialmente solúvel em água e menos estável quando em solução. A amilopectina é solúvel e estável em soluções aquosas. A amilose possui uma viscosidade intrínseca igual a 2,2 e a amilopectina igual a 1,8.

Nos amiloplastos, as moléculas de amilose e amilopectina vão se depositando sob a forma de camadas em torno de uma estrutura denominada hilum, formando assim as chamadas "estriações". O hilum pode ser o cristal de algum composto químico, como, por exemplo, os fosfatos. Pode ser, também, moléculas de oligossacarídeos de baixo peso molecular. Nas estriações ou grânulos, podem ser visualizadas regiões distintas. Algumas densas e rijas devido à formação de pontes de hidrogênio, que são denominadas regiões cristalinas e outras menos densas, chamadas de regiões amorfas. Nas regiões cristalinas há uma elevada concentração de amilopectina e baixa concentração de amilose. Os grânulos de amido dos cereais possuem uma forma poligonal. O trigo apresenta grânulos de amido de dois tamanhos: grânulos de 1 a $10\mu\text{m}$ e de 15 a $40\mu\text{m}$. Os grânulos de amido do trigo apresentam uma concentração de amilose em torno de 25%.

O amido é uma substância pesada e sua densidade varia de 1,2 a 1,4. Por isso é facilmente separado dos outros componentes do grão como, por exemplo, as proteínas, cuja densidade está em torno de 1,1. O pH do amido

está em torno de 6,5 a 7,0, ou seja, próximo à neutralidade.

4.1.2. Características funcionais e tecnológicas do amido

4.1.2.1. Solubilidade

A característica mais importante do amido é a sua insolubilidade na água, com a qual forma uma suspensão. Quando disperso em água fria, o amido absorve, no máximo, 30% de água. Nos polímeros de amido há um excesso de grupos hidroxila (OH), que estão presentes nas moléculas de glicose. Isto cria um campo elétrico negativo em torno dos grânulos e quando estes são dispersos em água fria, numa concentração superior a 34%, ocorre a repulsão entre os grânulos, que é denominada "dilatância". Esse fenômeno tem importância tecnológica durante os processos de extração e purificação do amido em centrífugas contínuas.

4.1.2.2. Gelatinização

Quando uma suspensão de amido é aquecida, a elevação gradual da temperatura promove o rompimento das pontes de hidrogênio com consequente incorporação de moléculas de água entre as moléculas de amilose ou amilopectina. As moléculas de água irão ocupar os espaços vazios no interior dos grânulos, que irão se entumecendo até arrebentarem. Como consequência, ocorrem: perda da birrefringência dos grânulos, exudação de moléculas de amilose (solúveis), aumento da viscosidade e translucidez da solução. Esse conjunto de fenômenos, que ocorrem simultaneamente, é denominado "**Gelatinização do Amido**". O início da gelatinização do amido de trigo se dá a 52°C e o término a 62°C.

A viscosidade de uma pasta de amido, durante a gelatinização é determinada em equipamento próprio denominado "viscoamilografo" e é dada em "Unidades Amilográficas" (UA).

Há alguns parâmetros importantes durante a gelatinização do amido e o seu conhecimento é fundamental para a indústria de massas alimentícias. Dentre eles, destacam-se a temperatura inicial de gelatinização ou temperatura inicial de pasta, a viscosidade máxima no aquecimento, a temperatura de viscosidade máxima, a viscosidade mínima, a viscosidade final

(após 50°C e durante o resfriamento) e o valor "set back", que é igual à diferença entre o valor da viscosidade final e o da viscosidade mínima. A viscosidade mínima representa o ponto de rompimento máximo dos grânulos e neste ponto todas as moléculas de amilose foram exudadas para o meio (suspensão).

Quanto menor o valor "set back" de um amido, menor também é o seu teor de amilose e, conseqüentemente, maior o teor de amilopectina indicando, assim, que o mesmo é pouco solúvel. As farinhas de trigo destinadas à indústria de massas alimentícias (macarrão) deverão apresentar baixo valor de "set back", pois as massas produzidas a partir desta farinha, cujo amido possui um baixo teor de amilose, apresentarão, dentre suas características de cozimento, a formação de pouca quantidade de goma. O conhecimento da temperatura inicial de gelatinização é também um parâmetro importante para o controle de qualidade das farinhas de trigo destinadas à indústria de massas alimentícias, pois fornecerá subsídios para a determinação do tempo de cozimento das massas. Em resumo, a gelatinização do amido é função da sua proporção de amilose e amilopectina, das interções entre elas e do grau de ramificação da amilopectina. Quando os grânulos do amido apresentam maior teor de amilopectina em relação à amilose, haverá a formação de grande número de pontes de hidrogênio. Entretanto, estas estão difusas no meio, ou seja, ficam longe umas das outras devido às ramificações nos polímeros de amilopectina. Isto propiciará maior facilidade para penetração da água nos grânulos, havendo, assim, um aumento rápido na viscosidade, que atingirá valores elevados. Como a estrutura dos grânulos de amido não é rígida, eles romper-se-ão com facilidade.

Quando, ao contrário, os grânulos de amido possuem maior teor de amilose em relação à amilopectina, haverá também a formação de grande número de pontes de hidrogênio. Como as cadeias de amilose não são ramificadas, estarão muito próximas umas das outras formando, assim, uma estrutura mais rígida e compacta, que dificultará a penetração da água no interior dos grânulos. As suspensões preparadas com este tipo de amido apresentam uma viscosidade mais baixa.

Todos os fatores que impeçam ou dificultem a absorção de água pelos grânulos de amido afetam sua gelatinização. Assim sendo, a presença de sais

minerais, açúcares e lipídios numa suspensão de amido diminuem sua gelatinização. Os sais e os açúcares competem com os grânulos de amido pela água e os lipídios impermeabilizam a superfície do grânulo, impedindo a penetração da água.

4.1.2.3. Retrogradação

O resfriamento do gel, após a gelatinização da suspensão de amido, promove um aumento na opacidade devido à formação de microcristais, acompanhado de exudação de água (sinerese) e da formação de rachaduras no gel. Este conjunto de fenômenos é denominado "**Retrogradação do amido**". Essas condições propiciam a saída de moléculas de amilose dos grânulos. Assim sendo, no meio (gel de amido) existem moléculas de amilose que já estarão fora dos grânulos e outras que estarão saindo. Se nesse momento houver um resfriamento rápido da suspensão, ocorrerá então uma interligação das moléculas de amilose, que param de se movimentar devido à diminuição da energia cinética. A suspensão permanecerá então no "estado de gelificação" não havendo, assim, a formação de estruturas cristalinas. Ao contrário, se o resfriamento for lento, as moléculas de amilose que saem dos grânulos distendem-se, devido à perda de suas porções espiraladas e aproximam-se umas das outras formando pontes de hidrogênio nos pontos onde elas se tocam. Ocorrerá, então, a formação de microcristais com conseqüente enrijecimento na textura do alimento.

Em ambos os casos, tanto no resfriamento rápido quanto no lento ocorre a retrogradação, sendo esta mais intensa no segundo caso. Resumindo, para haver retrogradação é necessário que haja distensão das moléculas de amilose e, também, a sinerese que favorece o contato entre as moléculas.

O fenômeno do endurecimento do pão é conseqüência da formação de microcristais através das interligações (pontes de H) entre as moléculas de amilose, durante a retrogradação do amido, que ocorre após o resfriamento do pão. O elevado teor de amilose nos grânulos de amido favorece sua retrogradação e, conseqüentemente, o endurecimento do pão. O amido presente nos grãos de trigo, cuja farinha é destinada à panificação, deveria conter baixos teores de amilose, o que ocasionaria menor retrogradação com conse-

qüente diminuição do fenômeno endurecimento de pão, após seu resfriamento. Alterações na relação amilose/amilopectina, nos grânulos de amido, podem ser obtidas através de mutações e melhoramento genético.

Fatores que interferem na retrogradação:

- 1) Quanto maior a proporção de amilose em relação à amilopectina nos grânulos, mais intensa a retrogradação.
- 2) O meio alcalino provoca uma repulsão entre as moléculas de amilose impedindo, assim, o contato entre as mesmas, com conseqüente diminuição na retrogradação.
- 3) O meio ácido provoca a hidrólise das moléculas de amilose que se fragmentam e dispersam-se na suspensão, dificultando o contato entre elas (formação de menor número de pontes de H). Havendo, portanto, a redução na formação dos microcristais e menor retrogradação.
- 4) A presença de eletrólitos na suspensão de amido promove o aumento na retrogradação.
- 5) Quanto maior a concentração de amido numa suspensão, maior será a retrogradação.
- 6) A presença de emulsificantes, que são geralmente esteres de um álcool e um ácido graxo, numa suspensão de amido, diminui a retrogradação, através de diferentes ações sobre as moléculas de amilose. Um exemplo de emulsificante, que pode ser empregado nas suspensões de amido, é o glicerilmonoestearato (GMS), cujo álcool presente em sua molécula é o glicerol e cujo ácido graxo é o ácido esteárico, na sua forma esterificada (estearato).
 - 6.1. As cadeias carbônicas dos ácidos graxos, componentes do emulsificante, penetram no interior das regiões espiraladas das moléculas de amilose impedindo, assim, sua distensão. Havendo, portanto, um impedimento no contato entre as moléculas para a formação das pontes de hidrogênio e dos microcristais de amilose, com conseqüente redução na retrogradação.
 - 6.2. Os emulsificantes também promovem impermeabilização dos grânulos de amido dificultando, assim, a entrada de água no seu interior, com conseqüente aumento na temperatura de gelatinização e

redução do fenômeno de retrogradação.

- 6.3. Os emulsificantes tornam os grânulos de amido mais plásticos e, assim, mais resistentes à ação mecânica. Há diminuição no rompimento dos grânulos. Portanto, menor sinerese, com redução na retrogradação.

A penetração do emulsificante, no interior das porções espiraladas das moléculas de amilose, também promove o aumento no tamanho dessas moléculas, que favorece o aumento na viscosidade da suspensão de amido.

4.1.3. Enzimas amilolíticas

Como o amido é um "corpúsculo" granular, sofre um ataque lento e pouco eficiente por parte das enzimas amilolíticas.. Assim sendo, esse ataque pode ser considerado nulo. Entretanto, se o amido sofrer algum tipo de tratamento que altere sua estrutura, tornar-se-á suscetível ao ataque enzimático. Essas mudanças na estrutura do grânulo são ranhuras, que permitem a penetração das enzimas no seu interior. No caso de alimentos que contêm amido e sofrem tratamento térmico em presença de água, o amido estará gelatinizado e, sob esta forma, será suscetível ao ataque enzimático.

No caso do pão, é adicionado o fermento (leveduras - *Saccharomyces cerevisiae*) que produz enzimas amilolíticas, as quais hidrolizam o amido produzindo CO₂, que participa na formação da estrutura do miolo do pão. Entretanto, para que essa ação enzimática ocorra é preciso que os grânulos de amido, presentes na farinha de trigo, tenham sofrido alterações na sua estrutura. Essas alterações (rompimento dos grânulos) ocorrem durante o processo mecânico de moagem dos grãos de trigo para produção da farinha. A porcentagem ideal de grânulos de amido rompidos, numa farinha de trigo destinada à panificação, é de 4%. Assim sendo, os rolos dos moinhos devem estar muito bem ajustados para que ao final da moagem a farinha apresente uma porcentagem de grânulos rompidos em torno de 4%.

Esta é a porcentagem ideal para o ataque enzimático e produção de CO₂ durante o processo de fermentação do pão. Quando a porcentagem de grânulos danificados numa farinha é superior a 4%, há um ataque enzimático severo com conseqüente produção de CO₂ em excesso, o que acarreta pro-

blemas na estrutura do pão. Entretanto, se a porcentagem de grânulos danificados é inferior a 4%, ocorre um ataque enzimático insuficiente e redução na produção de CO_2 . O pão produzido a partir desta farinha, não irá "crescer" adequadamente durante a etapa de fermentação.

Dentre as enzimas amilolíticas destacam-se as α e β amilases. A β -amilase é uma exoenzima que atua a partir da extremidade não redutora dos polímeros de glicose que compõem as cadeias de amilose e amilopectina. É capaz de atuar nas ligações do tipo α 1-4 fragmentando, assim, os polímeros de duas em duas moléculas de glicose. Quando a β -amilase atua sobre as moléculas de amilopectina e encontra as ligações do tipo α 1-6 (ramificações) ela interrompe sua atuação. Deste modo, ao final da hidrólise da amilopectina, serão produzidas várias moléculas de Maltose (2 moléculas de glicose unidas por ligação α 1-4) e um oligossacarídeo de alto peso molecular denominado dextrina limite. Entretanto, quando a β -amilase atua sobre a amilose, a hidrólise da cadeia é de, aproximadamente, 100%. Isto ocorre porque a amilose não possui ramificações. Portanto, a amilose é totalmente transformada em moléculas de maltose.

A β -amilase apresenta grupos SH em seu centro ativo. Assim sendo, os oxidantes e os íons pesados (íons de mercúrio por exemplo) são capazes de inibi-la. É capaz de atuar em temperaturas de até 60°C e o seu pH ótimo varia de 4,5 a 6,0. Entretanto, pode apresentar atividade em pHs próximos de 3,0.

Normalmente, a β -amilase é extraída da cevada, mas a maioria dos cereais, quando em fase de germinação, sintetiza altos teores dessa enzima.

A α -amilase é uma endoenzima que, também, só é capaz de hidrolisar as ligações do tipo α 1-4 presentes nos polímeros de amilose e amilopectina, que constituem o amido. Entretanto, não é limitada pelas ligações do tipo α 1-6. Quando as encontra, "salta" e continua atuando. Como sua atuação é indiscriminada, ou seja, atua de maneira desordenada sobre as ligações α 1-4, ao final da hidrólise teremos a produção de moléculas de glicose, maltose e dextrinas, de baixo peso molecular. A α -amilase é capaz de atuar em temperaturas de até 70°C e em pHs próximo de 7,0. Entretanto, não resiste em meio ácido (pHs baixos).

Dentre as enzimas amilolíticas encontra-se, ainda, a glicoamilase ou amiloglicosidase uma exoenzima capaz de hidrolisar tanto as ligações do tipo α 1-4 quanto as do tipo α 1-6 e a pululanase, produzida por fungos e que só é capaz de hidrolisar as ligações do tipo α 1-6.

4.2. As fibras

Cerca de 1,5% a 2,0% do grão de trigo, dependendo do genótipo, é constituído pelas fibras. Na composição das fibras estão presentes compostos que fazem parte da parede celular dos vegetais; substâncias pécticas (pectinas), que mantêm unidas as células vegetais; compostos estruturais (celulose, hemicelulose e lignina); e os compostos não estruturais (as gomas, mucilagens e substâncias pépticas). Em resumo, as fibras são todos os compostos heteropolissacarídeos não digeríveis no nosso trato gastrointestinal.

As fibras têm a propriedade de absorver grandes quantidades de água facilitando, assim, a ação das enzimas digestivas e contribuindo, de maneira positiva, para o processo da digestão dos alimentos e absorção de seus nutrientes.

As fibras também proporcionam redução no tempo de retenção do bolo alimentar no trato gastrointestinal, através do aumento dos movimentos peristálticos, do volume e da plasticidade do bolo fecal. Como consequência, há redução na probabilidade do aparecimento de doenças e distúrbios internos no trato gastrointestinal, tais como: constipação intestinal (prisão de ventre); alterações das células epiteliais, que podem com o tempo evoluir para um quadro de carcinoma intestinal; ruptura de vasos com hemorragias; hemorroidas e diverticulite.

As fibras também reduzem o teor de colesterol no bolo alimentar pois são capazes de absorvê-lo e, assim, o mesmo é eliminado nas fezes.

Na bile, produzida pelo fígado e armazenada na vesícula biliar, estão presentes os ácidos glicólico e taurocólico, sob a forma de seus sais glicolato e taurocolato. Estes compostos promovem a emulsificação dos lipídios durante o processo da digestão, para que sejam absorvidos pelo organismo. As bactérias da flora intestinal, através de contato prolongado com esses sais

biliares, podem sintetizar compostos derivados que são potencialmente cancerígenos. As fibras são capazes de absorver os excessos de sais biliares reduzindo, assim, a possibilidade de formação desses compostos.

A farinha de trigo integral é excelente fonte de fibras e, a partir dela, podem ser produzidos pães e bolachas com alto conteúdo deste componente.

5. LITERATURA CONSULTADA

ANDERSSON, R.A.; PFEIFER, V.F.; PEPLINSKI, A.J. Measuring wheat kernel hardness by standardized grinding procedures. **Cereal Science Today**, St. Paul, v.11, n.5, p.204-206, 208-209, 1966.

BARLOW, K.K.; BUTTROSE, M.S.; SIMMONDS, D.H.; VESK, M. The nature of starch-protein interface in wheat endosperm. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.50, n.4, p.443-454, 1973.

BARUCH, D.W. Wheat flour particle size distribution related to compressability and bridging tests. **New Zeland Journal of Science**, Wellington, v.17, p.21-32, 1974.

BEARD, D.H.; POEHLMAN, J.M. A study of quality, as measured by pearling test, in crosses between hard and soft wheats. **Agronomy Journal**, Madison, v.46, p.220-223, 1954.

BERG, S.O. Is the degree of grittiness of wheat flour mainly a varietal character? **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.24, p.274-283, 1974.

BOUR, B.; CAMBLIN, Ph. Techniques culturales et qualité des cereales. **Perspectives Agricoles**, Paris, v.106, p.41-43, 1986.

CREWE, J.; JONES, C.R. The thickness of wheat bran. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.28, p.40-48, 1951.

DANIELS, N.W.R.; FRAZIER, P.J. Wheat proteins Physical properties and baking functions. In: Norton, G. **Plant Proteins**. London: Butterwoths, 1976. p.239-316.

DICK, J.W.; QUICK, J.S. A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation of durum wheat breeding lines. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.60, p.315-318, 1983.

EL DASH, A.A. **Fundamentos da tecnologia de moagem**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio e Tecnologia, 1982. 400p. (Série Tecnologia Agroindustrial).

EL DASH, A.A.; CAMARGO, C.O.; DIAZ, N.M. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 1982. 349p. (Série Tecnologia Agroindustrial).

FARRAND, E.A. Flour-properties in relation to modern processes in the united kingdom with special reference to alpha-amylase and starch damage. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.41, p.98-111, 1964.

FARRAND, E.A. Potencial milling and baking value of home grown wheat. **Journal of the National Institute of Agricultural Botany**, Cambridge, v.12, p.464-470, 1972.

FRASER, J.R.; HOLMES, D.C. The analysis of carbohydrate fractions of different flour types. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Essex, v.7, p.589-594, 1956.

FRASER, J.R.; HOLMES, D.C. Analysis of wholemeal flour and some of its fractions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Essex, v.10, p.506-512, 1959.

- GASIOROWSKI, H.; POLISZKO, S. A wheat endosperm micro-hardness index. **Acta Alimentaria**, Budapest, v.6, n.2, p.113-117, 1977.
- GREENAWAY, W.T. A wheat hardness index. **Cereal Science Today**, St. Paul, v.14, n.2, p.4-7, 1969.
- GREER, E.N.; HINTON, J.J.C. The two types of wheat endosperm. **Nature**, London, v.165, p.746-748, 1950.
- GROSH, G.M.; MILNER, M. Water penetration and internal cracking in tempered wheat grains. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.36, p.260-273, 1959.
- HOOK, S.C.W. Specific weight and wheat quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Essex, v.35, n.10, p.1136-1141, 1984.
- HOSHINO, S.I.; TANIGUCHI, Y.; SATO, A. Studies on grain and flour quality of wheat in the tohoku district, II. Effect of grain size on wheat quality. **Japanese Journal of Crop Science**, Tokyo, v.63, n.3, p.21-25, 1994.
- HUEBNER, F.R.; GAINES, C.S. Relation between wheat kernel hardness, environment and gliadin composition. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.69, n.2, p.148-151, 1992.
- KENT, N.L.; JONES, C.R. The cellular structure of wheat flour. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.29, p.383-398, 1952.
- KENT, N.L. Wheats of world. In: Kent, N.L. **Technology of Cereals**. Oxford: Pergamon Press, 1980. p.74.

- KOSMOLAK, F.G. Grinding time - A screening test for kernel hardness in wheat. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.58, p.415-420, 1978.
- KRAMER, H.H.; ALBRECHT, H.R. The adaption to small samples of the pearling test for kernel hardness in wheat. **The Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v.40, p.422-431, 1948.
- LÓPEZ-BELLIDO, L. Calidad del trigo. **Agricultura**, Roma, v.583, p.45-51, 1981.
- LÓPEZ-BELLIDO, L.; FUENTES-GARCIA, M. Principios y metodos de la calidad del trigo. In: LÓPEZ-BELLIDO, L.; FUENTES-GARCIA, M. **Calidad de los trigos cultivados en Sevilla, Cordoba y Cadiz**. Sevilla: Camara Agraria Provincial de Sevilla, 1989. p.13-29.
- MANDARINO, J.M.G. Aspectos importantes para a qualidade do trigo. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1993. 32p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 60).
- MANGELS, C.E.; SANDERSON, T. Correlation of test of weight per bushel of hard spring wheat with flour yield and other factors of quality. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.2, p.365-369, 1925.
- MORRIS, V.H.; ALEXANDER, T.L.; PASCOE, E.D. Studies of the composition of the wheat krenel, III. distribution of ash and protein in central and peripheral zones of whole wheat kernels. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.23, p.540-547, 1946.
- MOSS, H.J. Factors determining the optimum hardness of wheat. **Australian Journal of Agriculture Research**, Melbourne, v.29, p.1117-1126, 1978.

- MOSS, H.J.; STENVERT, N.L. The determination and properties of the fibrous covering of wheat grain. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.22, p.247-251, 1971.
- MOSS, R. Conditioning studies on Australian wheat, II. Morphology of wheat and relationship to conditioning. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Essex, v.24, p.1067-1076, 1973.
- NEWTON, R.; COOK, W.H.; MALLOCK, J.G. The hardness of the wheat kernel in relation to protein content. **Science in Agriculture**, Pennsylvania, v.8, p.205-219, 1927.
- OBUCHOWSKI, W.; BUSHUK, W. Wheat hardness: comparison of methods of its evaluation. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.57, p.421-425, 1980.
- OLSON, R.A.; FREY, K.J. **Nutritional quality of cereal grains**. Madson: American Society of Agronomy, 1987, 551p.
- POMERANZ, Y. **Wheat chemistry and technology**. 2. ed. Westport: The AVI Publishing. 481p.
- POMERANZ, Y. **Advances in cereal Science and technology**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1976. v.1, 418p.
- POMERANZ, Y.; BOLLING, H.; ZWINGELBERG, H. Wheat hardness and baking properties of wheat flours. **Journal of Cereal Science**, London, v.2, p.137-143, 1984.
- SANDSTEDT, R.M. Photomicrographic studies of wheat starch, I. Development of starch granules. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.23, p.337-359, 1946.

- SHUEY, W.C.; GILLES, K.A. Milling evaluation of hard red spring wheats, V. Relation of wheat protein, wheat ash, bran pentose, and starch on bran to milling results. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.50, p.37-43, 1973.
- SHUEY, W.C.; SKARSAUNE, S.K. The relation between flour mineral content and flour color reflectance values. **Cereal Science Today**, St. Paul, v.18, p.229-230, 1973.
- STEWART, B.A. Quality requirements: milling wheat. In: GALLAGHER, E.J. **Cereal production**. London: Royal Dublin Society Butterworths, 1984. p.113-118.
- VOGEL, K.P.; MATTERN, P.J.; LENSER, G. Modified milling procedure for separating endosperm and non-endosperm portions of wheat kernel for protein and lysine analysis. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.686-690, 1976.
- WHISTHLER, R.L.; PASCHALL, E.F. **Starch: chemistry and technology**. New York: Academic Press, 1967. v.2, 733p.
- WICHSER, F.W.; SCHELLENBERGER, J.A. Methods for determining flour particle size distribution. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.25, p.155-167, 1948.
- WILLIAMS, P.C. Screening wheat for protein and hardness by near infrared reflectance spectroscopy. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.56, n.3, p.169-172, 1979.
- WILLIAMS, P.C.; FEGOL, K.S.W. Colorimetric determination of damaged starch in flour. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.46, p.56-62, 1969.

WORZELLA, W.W.; CUTLER, G.H. A critical study of technique for measuring granulation in wheat meal. **Journal of Agriculture Research**, Islamabad, v.58, p.329-341, 1939.

ZELENY, L. A simple sedimentation test for estimating the bread-baking and gluten qualities of wheat flour. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v.24, p.465-475, nov. 1947.

IMPRESSO PELO SETOR DE EDITORAÇÃO
do Centro Nacional de Pesquisa de Soja
Rod. Carlos João Strass (Londrina/Warta) Acesso Orlando Amaral
Fone: (043) 320-4166 - Fax: (043) 320-4186 - Telex 43208
Cx. Postal 1061 - 86.001-970 - Londrina, PR



 **GRANOTEC DO BRASIL**

Travessa Itália, 102 - Alto da Glória - Telefax: (041) 254-3161 - CEP 80030-080 - Curitiba - PR

**EM TRIGO E FARINHAS INTEGRAMOS
CONHECIMENTOS...**

