



FUNDAMENTOS DA TECNOLOGIA DE PANIFICAÇÃO

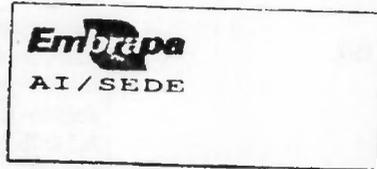


da Agricultura e do Abastecimento

CTAA
B4564
J997

Documentos Nº 21

ISSN -0103-6068
Junho. 1997



FUNDAMENTOS DA TECNOLOGIA DE PANIFICAÇÃO

Vera de Toledo Benassi
Edson Watanabe

Exemplares desta publicação podem ser solicitados à:

EMBRAPA/CTAA

Av. das Américas, 29.501 - Guaratiba

CEP: 23020-470 - Rio de Janeiro - RJ

Telefone: (021) 410-7400

Telex: 21 33267 EBPA BR

Fax: (021) 410-1090

Tiragem: 1.000 exemplares

Comitê de Publicações: Esdras Sundfeld
Maria Helena Lopes Cruz
Regina Isabel Nogueira
Rogério Germani
Ronoel Luiz de O. Godoy
Rosa Rabinovitci Szpiz
Tânia B. S. Corrêa

Equipe de Apoio: Cláudia Regina Delaia e
Renata M. A. Paldês

Embrapa	
Unidade:	AT - Seção
Valor aquisição:
Data aquisição:
N.º N. Fiscal/Fatura:
Fornecedor:
N.º OCS:
Origem:
N.º Registro:	00274/04

BENASSI, V.T; WATANABE, E. **Fundamentos da tecnologia de panificação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA - CTAA, 1997. 60 p. (EMBRAPA-CTAA. Documentos; 21).

1. Panificação - tecnologia. I. WATANABE, E. II. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos. III. Título. IV. Série.

AGRADECIMENTOS

O Comitê de Publicações da EMBRAPA Agroindústria de Alimentos registra seu especial agradecimento à **Secretaria de Desenvolvimento Rural - SDR**, do Ministério da Agricultura e do Abastecimento, pelo suporte financeiro que viabilizou a concretização dessa publicação.

Registra-se também seu agradecimento à **Delegacia Federal de Agricultura para o Estado do Rio de Janeiro - DFA-RJ**, pelo apoio administrativo à contratação dos serviços gráficos.

SUMÁRIO

1. O GRÃO E A FARINHA DE TRIGO	05
1.1. Características gerais do grão de trigo	05
1.2. Processamento do grão de trigo	07
1.2.1. Secagem e armazenamento	07
1.2.2. Condicionamento.....	08
1.2.3. Moagem.....	09
1.3. Características gerais da farinha de trigo	11
1.4. Principais componentes do grão e da farinha de trigo.....	12
1.4.1. Proteínas	13
1.4.2. Carboidratos	17
1.4.3. Lipídios	23
1.4.4. Enzimas.....	24
1.4.5. Vitaminas e minerais	28
2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PÃES.....	29
2.1. Etapas	29
2.1.1. Mistura.....	29
2.1.2. Fermentação	31
2.1.3. Assamento.....	34
2.2. Métodos.....	37
2.2.1. Convencionais	37
2.2.2. Rápido	39

2.3. Formulação	41
2.3.1. Ingredientes	41
2.3.2. Aditivos	44
3. FARINHAS MISTAS EM PANIFICAÇÃO	48
3.1. Efeitos da adição de farinhas sucedâneas	48
3.2. Limite de substituição da farinha de trigo.....	50
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

FUNDAMENTOS DA TECNOLOGIA DE PANIFICAÇÃO

Vera de Toledo Benassi
Edson Watanabe

1. O GRÃO E A FARINHA DE TRIGO

1.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DO GRÃO DE TRIGO

Os grãos de trigo têm peso e tamanho variável. Em média, medem 5-8 mm de comprimento e 2,5-4,5 mm de largura, pesando cerca de 37 mg. Seu formato é oval, com as extremidades arredondadas. Numa das extremidades, encontra-se o germe e na outra, cabelos finos. Ao longo do lado ventral nota-se uma reentrância, conhecida pelo termo em inglês "crease". A presença deste sulco é um fator que dificulta e particulariza o processo de moagem do trigo, uma vez que um processo simples de abrasão para a retirada da casca torna-se inviável.

O grão se divide, basicamente, em 2 partes. A parte mais externa é o **pericarpo**, que recobre toda a semente e é composto por 6 camadas (epiderme, hipoderme, remanescentes da parede celular ou células finas, células intermediárias, células cruzadas e células tubulares). A **semente** é formada pelo endosperma e o germe, que são recobertos por 3 camadas: testa (onde estão os pigmentos que dão cor ao grão), camada hialina e aleurona. Do ponto de vista botânico, a aleurona faz parte do endosperma, mas no processo de moagem ela constitui parte do farelo. A Figura 1 mostra o grão de trigo e suas partes.

A Tabela 1 mostra a composição média do grão de trigo, e a Tabela 2, o conteúdo de algumas vitaminas e minerais.

TABELA 1 - Composição centesimal média do grão de trigo (base seca)

	g / 100 g
Proteína	14,0
Lípidios	2,1
Cinzas	2,1
Amido	68,7
Açúcares	2,3
Pentosanas	7,7
Celulose	2,7

Os constituintes químicos não se distribuem uniformemente pelo grão. O pericarpo (cerca de 5% do peso do grão) é rico em pentosanas, celulose e cinzas. As camadas testa e hialina (aproximadamente 3%) contêm pentosanas, celulose, cinzas e proteína. A aleurona (7%) é uma camada rica em cinzas (fósforo, fitato), proteínas, lipídios, vitaminas (niacina, tiamina, riboflavina) e enzimas. O endosperma (82%) é composto basicamente de amido, e sua parte mais externa (subaleurona) contém uma maior concentração de proteína que a porção interna. O germe (3%) tem alto conteúdo de proteínas, lipídios, açúcares redutores e cinzas.

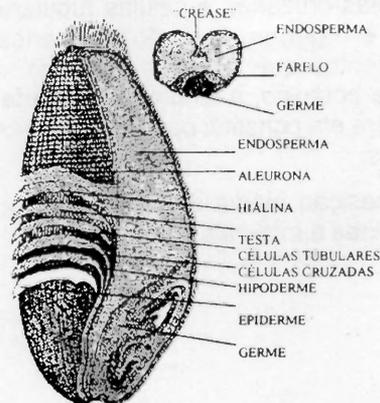


FIGURA 1 - Seções longitudinal e transversal de um grão de trigo
 Fonte: Hosney (1986)

Tabela 2 - Conteúdo médio de vitaminas e de minerais nos grãos de trigo (base seca)

MICRONUTRIENTES			
VITAMINAS ($\mu\text{g/g}$)		MINERAIS (mg/100g)	
Tiamina (B 1)	9,9	Fósforo (P)	407
Riboflavina (B 2)	3,1	Potássio (K)	367
Niacina	48,3	Cálcio (Ca)	32
Ácido Pantotênico	9,1	Magnésio (Mg)	166
Piridoxina (B 6)	4,7	Ferro (Fe)	4,5
Biotina	0,05	Cobre (Cu)	0,71
Ácido Fólico	0,56	Manganês (Mn)	4,4
Tocoferol	27	Zinco (Zn)	3,3
		Sódio (Na)	3,7

1.2. PROCESSAMENTO DO GRÃO DE TRIGO

1.2.1. SECAGEM E ARMAZENAMENTO

Produtos como cereais geralmente necessitam ser armazenados por longos períodos. Para que estes se preservem com um mínimo de deterioração, seja esta causada por fungos, insetos ou animais, é necessário que haja um adequado sistema de armazenamento, e que este seja devidamente monitorado.

Os cereais são comumente armazenados em silos, graneleiros ou sacaria. Nestas condições, é essencial que a umidade dos grãos seja suficientemente baixa para evitar o aparecimento de fungos e dificultar a proliferação de insetos.

Os grãos de trigo devem ser armazenados numa faixa de umidade entre 11 e 13%. Se estocados em umidade superior, a velocidade de deterioração irá depender do grau de limpeza inicial do material, temperatura e umidade relativa do ambiente, manuseio, etc. A estocagem dos grãos em umidade abaixo de 11% também é indesejável, pois os mesmos tornam-se quebradiços e, durante o transporte, armazenamento e outras operações de movimentação, promoverá uma elevada ocorrência de grãos quebrados.

A presença desses grãos no lote dificulta os processos subsequentes (condicionamento e moagem). Os grãos quebrados, na sua grande maioria, são removidos nas operações de limpeza anteriores à moagem, podendo acarretar perdas significativas.

1.2.2. CONDICIONAMENTO

A extração de farinha a partir do grão de trigo é alcançada através de etapas alternadas de moagem (em moinhos de rolos) e de peneiramento. O objetivo deste processo é a melhor separação possível entre o endosperma e o restante do grão, ou seja, a maximização do rendimento em farinha.

O endosperma tende a ser mais quebradiço e o pericarpo, mais elástico. Por isso, comportam-se diferentemente ao serem submetidos à moagem, ou seja, fraturam-se em pedaços de tamanhos distintos, o que facilita a separação entre ambos.

Estas características, porém, variam segundo a umidade do grão. Se a umidade está muito baixa, o pericarpo torna-se mais quebradiço; por outro lado, se a umidade é alta, o endosperma adquire características mais elásticas. Em ambos os casos, observa-se uma maior dificuldade na separação entre endosperma e pericarpo, prejudicando o rendimento e a qualidade da farinha obtida.

Deve-se, portanto, adotar um procedimento de ajuste da umidade, o qual permita obter grãos em condições ótimas para a moagem. A umidade ótima para moagem depende das características do grão. Quanto mais duro e vítreo ele for, mais alta a umidade exigida. Para trigos moles, geralmente se considera 14% de umidade, enquanto que, para trigos duros, até 16%.

Conhecendo-se a umidade do grãos de um determinado lote de trigo, calcula-se e adiciona-se a quantidade de água necessária que a umidade final recomendada seja atingida. Este procedimento, conhecido como **condicionamento** do grão, propicia uma separação mais eficiente entre farelo e endosperma durante a moagem, proporcionando a obtenção de farinha com baixo teor de cinzas e com umidade bem próxima à permitida pela legislação (14%), contribuindo para um melhor rendimento de moagem.

O tempo de condicionamento deve ser suficiente para que os grãos absorvam a água adicionada, a qual deve ficar uniformemente distribuída por todo o lote. Trigos mais duros absorvem água mais lentamente que trigos moles, sendo que a temperatura também é um fator a ser considerado. Em geral, 16 a 24 horas são suficientes para o condicionamento. No caso de grãos muito secos, em que a quantidade de água necessária está acima de 3%, é recomendável fazer o condicionamento em duas etapas, para evitar problemas de desenvolvimento de microrganismos.

Existem sistemas de condicionamento rápido, onde primeiramente se injeta vapor à baixa pressão, provocando uma condensação superficial que umidifica e aquece os grãos. A seguir, adiciona-se água, ao mesmo tempo em que há uma homogeneização. Neste sistema, o tempo de descanso varia de 1 a 4 horas.

1.2.3. MOAGEM

A **moagem** é constituída de três processos básicos: quebra do grão, redução do tamanho de partículas e separação entre partículas de diferentes tamanhos. Primeiramente, os grãos passam pelos rolos de quebra, um sistema de discos corrugados que, girando em sentido contrário e com velocidade diferencial, quebram os grãos. A seguir, os grãos quebrados passam por uma série de peneiras planas de diferentes espessuras, onde são separadas e retiradas as partículas mais finas (farinha de quebra) e as mais grossas (farelo), restando as partículas de tamanho intermediário. Essas partículas passam então pelos rolos de redução, um sistema de rolos lisos, cujo objetivo é reduzir o tamanho das partículas. Novamente é feito o peneiramento, separando-se aí a farinha de redução e o farelinho (fração que contém o germe). As peneiras separam as partículas por diferença de tamanho e também de densidade (as partículas relativamente mais leves nunca alcançam o fundo da peneira). Há, entretanto, partículas de farinha e de farelo que têm o mesmo tamanho e que precisam ser separadas de acordo com a diferença de densidade, usando-se para isso um sistema de purificadores ou sassores.

A moagem deve ser sempre realizada de modo gradual, para minimizar os gastos de energia e evitar o aquecimento do material. O aquecimento pode provocar tanto um escurecimento da farinha como excessiva perda de umidade.

Esta é uma descrição simplificada do processo de moagem, sendo que, na prática, cada moinho estabelece o seu próprio diagrama, de acordo com a capacidade, maquinário, características da matéria prima e dos produtos a serem produzidos. As frações separadas durante o processo são misturadas, de maneira a compor produtos diferenciados.

Além da umidade do grão e da eficiência do processo de moagem, o rendimento em farinha também é influenciado pela proporção entre o endosperma e as outras partes do grão, a qual depende de vários fatores, como variedade, tamanho e formato do grão, tratos culturais e condições do ambiente, etc.

A taxa de extração de farinha é expressa como a porcentagem de farinha extraída em relação ao peso inicial dos grãos. A Tabela 3 mostra a proporção de farelo, germe e endosperma em farinhas com diferentes taxas de extração.

Tabela 3 - Proporção de farelo, germe e endosperma em farinhas com diferentes taxas de extração.

FRAÇÃO	Taxa de Extração (%)			
	100	85	82,5	80
Farelo	12,0	3,4	2,0	1,4
Germe	2,5	1,9	1,7	1,6
Endosperma	85,5	79,7	78,8	77,0

Os moinhos controlam, por meio de análises de laboratório, o grau de eficiência de seu processo. A determinação da curva cumulativa de cinzas de um moinho é o método empregado para se conhecer com exatidão o resultado da qualidade de moagem.

As cinzas são resíduos minerais, provenientes principalmente do pericarpo. São um indicativo da quantidade de farelo incorporado à farinha, ou seja, do grau de extração de uma farinha.

Se determinarmos o rendimento de cada fração obtida no processo e o seu teor de cinzas, é possível construir uma curva onde se relaciona a porcentagem de cinzas com a porcentagem de extração. Através dela pode-se verificar a eficiência do processo e localizar problemas em determinadas passagens do moinho. Pode-se também saber, quais as frações que

deverão ser misturadas para compor uma farinha com determinado teor de cinza.

De maneira geral, as farinhas com baixo conteúdo de cinzas apresentam cores mais claras e vice-versa. No entanto, teor de cinzas e cor da farinha não estão diretamente correlacionados. Uma pequena diferença no conteúdo de cinzas pode levar a uma grande variação na cor, assim como uma cor mais escura nem sempre corresponde a um conteúdo maior de cinzas. Algumas passagens do moinho fornecem farinhas muito escuras e com baixo teor de cinzas, enquanto outras fornecem farinhas mais claras, porém com elevado teor de cinzas, como no caso daquelas que contêm frações ricas em células de aleurona.

1.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA FARINHA DE TRIGO

A qualidade de uma farinha depende diretamente do tipo de trigo do qual ela é proveniente, assim como do processo de produção.

Simplificadamente, pode-se classificar o trigo utilizado em panificação em dois tipos: duro e mole. Os trigos duros contêm teor de proteína elevado e apresentam boa qualidade para a produção de pães. Os trigos moles têm menor teor protéico e sua qualidade presta-se melhor à confecção de biscoitos e bolos.

Além da diferença causada pela qualidade da própria matéria-prima, as farinhas podem ter qualidade tecnológica e nutricional variável, dependendo das condições de moagem e do seu grau de extração. A farinha integral é uma farinha da qual não foi retirado o farelo, ou seja, ela é uma farinha com 100% de extração. As farinhas brancas encontradas no comércio têm grau de extração próximo a 78%.

As farinhas de alta extração contêm teor mais elevado de vitaminas e minerais, os quais localizam-se principalmente nas camadas mais externas do grão. Também contêm maior quantidade de fibras, elemento considerado de extrema importância na prevenção de doenças do trato intestinal. Porém, contêm também mais ácido fítico, substância que diminui a absorção de cálcio e ferro pelo organismo. Do ponto de vista tecnológico, essas farinhas são consideradas inferiores, pois têm cor mais escura e, além disso, as fibras enfraquecem a rede protéica da massa de pão, fornecendo produtos finais mais densos.

Quanto menor o grau de extração da farinha, ou seja, quanto mais do interior do endosperma a farinha tenha sido retirada, maior será a proporção de proteína formadora de glúten, o que aumenta sua qualidade tecnológica. Devido à baixa contaminação com farelo, a cor também se torna mais clara, o que geralmente é preferido pelo consumidor.

A Tabela 4 mostra a composição centesimal de farinhas com diferentes graus de extração.

Tabela 4 - Composição centesimal de farinhas com diferentes taxas de extração.

Taxa de Extração (%)	Proteína (%)	Lipídios (%)	Carboidratos (%)	Fibra Bruta (%)	Cinza (%)
100	12,2	2,4	64,1	2,00	1,55
85	12,1	1,6	69,8	0,40	0,76
80	11,7	1,4	70,2	0,21	0,60
70/72	11,3	1,1	72,0	0,10	0,41
40	10,0	0,8	74,5	traços	0,34

A qualidade tecnológica de uma farinha pode ser determinada através de uma série de análises e testes instrumentais específicos, realizados rotineiramente pelos laboratórios de controle de qualidade de farinhas. Uma vez avaliado o seu potencial tecnológico, é possível destinar cada farinha à fabricação de determinado(s) produto(s), cujos atributos de qualidade sejam favorecidos pelas características daquela farinha, garantindo um bom resultado final.

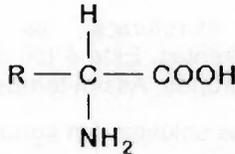
1.4. PRINCIPAIS COMPONENTES DO GRÃO E DA FARINHA DE TRIGO

As características e propriedades tecnológicas das proteínas, carboidratos, lipídios, enzimas e micronutrientes presentes nos grãos e na farinha de trigo serão descritas a seguir.

1.4.1. PROTEÍNAS

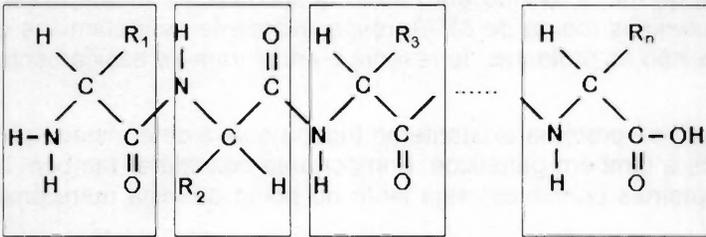
As proteínas são compostos de alto peso molecular, formados por aminoácidos ligados entre si por ligações peptídicas. Os aminoácidos são compostos orgânicos que contêm um grupo amino ($-\text{NH}_2$) e um carboxílico ($-\text{COOH}$).

Sua estrutura básica é:



onde R representa uma cadeia lateral. O que diferencia um aminoácido de outro é justamente essa cadeia lateral, que pode ser um grupo neutro (hidrofílico ou hidrofóbico), ácido ou básico.

A ligação peptídica é uma ligação (covalente) entre o grupo carboxílico de um aminoácido e o grupo amino de outro, formando peptídeos ou proteínas com a seguinte estrutura:



A seqüência dos aminoácidos de cada proteína é chamada de **estrutura primária** dessa proteína.

A **estrutura secundária** depende basicamente de pontes de hidrogênio entre o O da carboxila e o H do grupo amino envolvidos na ligação peptídica, causando a formação de dobras ou espirais na molécula. Geralmente, a estrutura tridimensional é uma hélice ou uma folha pregueada, mas também pode ter formato aleatório.

A **estrutura terciária** é a forma espacial que a proteína adota, através de vários tipos de ligações (iônicas, hidrofóbicas, pontes de hidrogênio) entre as

cadeias laterais dos aminoácidos. Dessa maneira, são neutralizadas as repulsões e atrações, estabilizando melhor a estrutura da proteína. Quando, por algum fator externo (aquecimento, agitação, mudança no meio), essa estrutura é destruída, diz-se que a proteína se **desnaturou**.

As estruturas **terciárias** também podem se aglomerar, formando as estruturas denominadas **quaternárias**.

Dependendo da(s) sua(s) estrutura(s), as proteínas tem diferente solubilidade em diferentes solventes. Este é um critério que permite separar e classificar as proteínas em grupos. Assim temos:

- as **albuminas** são proteínas solúveis em água;
- as **globulinas** são proteínas solúveis em soluções diluídas de sal (e insolúveis em água ou soluções salinas concentradas);
- as **prolaminas** são solúveis em soluções alcóolicas;
- as **glutelinas** são solúveis em soluções ácidas ou alcalinas diluídas.

O trigo, como os outros cereais, possui proteínas que se encaixam nessas 4 classes. As albuminas e globulinas (cerca de 15%) estão concentradas na aleurona, farelo e germe, existindo em menor quantidade no endosperma. As gliadinas e gluteninas (cerca de 85%), respectivamente as prolaminas e glutelinas do trigo, são as proteínas de reserva e encontram-se basicamente no endosperma.

Além da quantidade de proteína existente no trigo, a qual é determinada por fatores ambientais e também genéticos, é importante considerar também a qualidade das proteínas presentes, seja tanto do ponto de vista nutricional quanto funcional.

Diz-se que uma proteína é balanceada, em termos nutricionais, quando não contém nenhum aminoácido em quantidade muito superior aos demais. A proteína do trigo não é bem balanceada, pois cerca de 1/3 da proteína total é constituída de ácido glutâmico e 10-14% de prolina. O aminoácido limitante é a lisina, como ocorre nos cereais em geral. A Tabela 5 mostra a composição em aminoácidos do grão de trigo.

Tabela 5 - Conteúdo médio de aminoácidos do grão de trigo.

AMINOÁCIDOS	(g/100 g proteína)
Ácido glutâmico	30,8
Ácido aspártico	5,1
Alanina	3,5
Arginina	4,7
Cistina	2,3
Fenilalanina	4,6
Glicina	4,0
Histidina	2,3
Isoleucina	3,9
Leucina	6,8
Lisina	2,6
Metionina	1,7
Prolina	9,5
Serina	4,9
Tirosina	3,1
Treonina	3,0
Triptofano	1,3
Valina	4,8

As albuminas e globulinas tem um melhor balanceamento de aminoácidos que as prolaminas e glutelinas, e possuem também um teor relativamente mais alto de lisina, triptofano e metionina.

Enquanto as albuminas e globulinas são melhores nutricionalmente, as prolaminas e glutelinas são importantes e insubstituíveis do ponto de vista tecnológico, sendo responsáveis pelas características funcionais únicas das massas feitas com a farinha de trigo. A gliadina e a glutenina formam o **glúten**, que dá à massa características elásticas adequadas para a fabricação do pão.

As gliadinas tem um peso molecular (PM) médio de 40.000 e, quando hidratadas, são extremamente pegajosas. Apresentam pouca ou nenhuma resistência à extensão (fluem, escoam) e parecem ser responsáveis pela coesividade da massa.

As gluteninas são um grupo heterogêneo, com variação do PM de 100.000 até vários milhões. Esta proteína não tem um comportamento coesivo, mas elástico (retorna após a deformação), dando à massa a propriedade de resistência à extensão.

A diferença entre a estrutura da gliadina e da glutenina está relacionada com as ligações dissulfídicas (S-S) que se formam entre os aminoácidos sulfurados (principalmente cistina e cisteína). Na gliadina, as ligações são intramoleculares, o que resulta no seu baixo PM e na sua baixa elasticidade; na glutenina ocorrem também ligações intermoleculares, que justificam seu alto PM e alta elasticidade.

A alta quantidade de prolina interfere na estrutura das proteínas do glúten. Como este aminoácido tem um grupamento lateral volumoso (anel), as ligações com os outros aminoácidos ficam pouco flexíveis, determinando uma mudança de direção que impede a cadeia de adotar uma conformação espacial de alfa-hélice (posição de maior estabilidade). Talvez isso seja uma causa importante na determinação das características particulares do glúten.

As cadeias protéicas do glúten não contêm quase aminoácidos com cargas negativas ou positivas, o que faz com que as forças de repulsão ou atração dentro da molécula sejam baixas. Sendo assim, as cadeias estão livres para interagir prontamente entre si, o que parece ser importante para a formação da massa.

Quando se adiciona água à farinha, os grupos polares das proteínas, que têm afinidade com este solvente, ficam expostos e rodeados por moléculas de água. A mistura ou amassamento fornece a energia e a movimentação necessárias para que as cadeias protéicas entrem em contato umas com as outras e estabeleçam ligações que formarão a estrutura de rede que é o glúten.

A maneira como as gliadinas e gluteninas interagem entre si para formar o glúten ainda não está totalmente elucidada e há várias teorias a respeito. A teoria mais frequentemente aceita afirma que as ligações que sustentam essa rede são aquelas entre os grupos -SH dos aminoácidos sulfurados das proteínas formadoras de glúten. Essas ligações se quebram e se refazem à medida que prossegue a mistura até um ponto máximo, que é onde o glúten está melhor desenvolvido.

No entanto, esta teoria não explica tudo. A quantidade de grupos sulfidríla (-SH) na massa foi determinada e não parece ser suficiente para que a probabilidade deles se encontrarem e formarem ligações seja significativa. Por outro lado, o bloqueio desses grupos, utilizando reagentes químicos, não impediu a formação do glúten.

Outra teoria supõe que as pontes dissulfeto ocorreriam principalmente dentro da molécula e que cada molécula se ligaria à outra através de outros tipos de ligações, formando cadeias longas que se associariam em alguns pontos.

Sobre esse assunto ainda não há conclusões definitivas mas, provavelmente, além das ligações dissulfeto, devem também participar outros tipos de ligações (pontes de hidrogênio, ligações salinas, forças de Van der Waals), que são até mais prováveis de ocorrer durante a mistura.

O que importa é que o glúten forma uma rede com características viscoelásticas, ou seja, que tem capacidade de se deformar parcialmente sem se romper. Isto é necessário nos produtos de panificação, onde o gás gerado durante a fermentação deve ficar retido para que ocorra a expansão da massa, obtendo-se produtos aerados e leves.

O glúten, por ser constituído de proteínas não solúveis, pode ser obtido a partir de uma massa feita com farinha de trigo, a qual é "lavada" com água ou solução salina, até que todo o amido e proteínas solúveis tenham sido extraídos.

1.4.2. CARBOIDRATOS

Os carboidratos são compostos orgânicos formados de carbono, hidrogênio e oxigênio, que podem ser classificados em mono-, di-, tri-, oligo- e polissacarídeos. Na Tabela 6, vê-se a composição média em carboidratos das diferentes frações do grão.

Tabela 6 - Composição média em carboidratos (CH) das frações de trigo.

Componentes	% do componente em relação aos CH totais		
	Endosperma	Germe	Farelo
Açúcares	1,5	36,4	7,6
Amido	95,8	31,5	14,1
Hemicelulose	2,4	15,3	43,1
Celulose	0,3	16,8	35,2
Carboidratos totais	86,0	50,5	70,0

A distribuição dos carboidratos nas diferentes frações pode ser facilmente entendida se avaliada do ponto de vista agrônomo/biológico. O farelo, que é a parte mais externa, é formado principalmente por fibras, cuja função é impermeabilizar parcialmente e proteger a semente. O germe contém uma proporção de açúcares livres muito mais alta que as outras frações, pois precisa de substrato de rápida assimilação para o crescimento e germinação do embrião. Na germinação, o sistema enzimático completa o seu desenvolvimento e isto possibilita a utilização do amido, presente preferencialmente no endosperma, como fonte de energia, até que a planta possa fabricar seu próprio substrato através da fotossíntese.

No grão de trigo, os principais **açúcares** encontrados são: maltose, sacarose, frutose, xilose, rafinose e arabinose. Os açúcares são muito importantes no processo de panificação, principalmente nas etapas de fermentação e assamento. Na fermentação, eles constituem substrato para a ação das leveduras, que transformam os açúcares em gás carbônico, responsável pelo "crescimento" da massa. Os açúcares não transformados na fermentação participam da etapa de assamento do pão, produzindo cor e aroma pela reação de Maillard (reação de escurecimento não enzimático) que ocorre entre os açúcares e os aminoácidos das proteínas.

Celulose e hemicelulose são polissacarídeos estruturais. São os principais componentes das paredes celulares e, juntamente com a **lignina** (polímero não carboidrato), formam a chamada **fibra bruta** ou crua. A celulose, como o amido, é formada por unidades de glucose, as quais estão ligadas entre si por um tipo de ligação mais estável e difícil de romper (beta). Aliado a isso, os altos graus de ordenação e insolubilidade da celulose tornam-na resistente a muitos microrganismos e enzimas.

As hemiceluloses constituem uma categoria que agrupa diferentes compostos como as pentosanas, gomas e mucilagens. O principal polissacarídeo das paredes celulares do endosperma do trigo são as **pentosanas**, constituídas principalmente de arabinose e xilose. Esse componente tem grande capacidade de absorver água e suas funções em panificação ainda são alvo de muitos estudos.

O **amido** é um polissacarídeo de reserva e o principal encontrado no grão de trigo, tanto por sua quantidade (cerca de 64% do peso do grão), como por suas funções tecnológicas. O amido é constituído de dois componentes principais:

- **AMILOSE:** é um polímero essencialmente linear, formado por moléculas de glucose ligadas através de ligações glucosídicas na posição alfa-1,4, com peso molecular (PM) variando de alguns milhares a 150.000. Quando suspensa em água, a amilose forma uma estrutura helicoidal típica. Representa, no trigo, aproximadamente 25% do amido.
- **AMILOPECTINA:** constitui-se em uma estrutura ramificada, contendo cadeias lineares de glucose ligadas por alfa -1,4, que estão unidas entre si por ligações alfa-1,6. O PM é bastante variável, podendo chegar a 1 milhão. Representa cerca de 75% do amido.

A estrutura básica desses dois componentes pode ser vista nas Figuras 2 e 3.

O amido aparece no endosperma na forma de grânulos, com formato e tamanho típicos para cada fonte vegetal. O amido de trigo (assim como o de centeio e cevada), apresenta dois tipos de grânulos: um, pequeno e esférico e outro, grande e lenticular. Durante a formação do amido, a amilose e amilopectina são depositadas em camadas, formando regiões cristalinas (quando porções lineares ficam paralelas entre si e se associam mais fortemente) ou amorfas (regiões onde as associações são pequenas), que aparecem na forma de uma cruz de Malta, quando uma suspensão de amido é observada ao microscópio, sob luz polarizada.

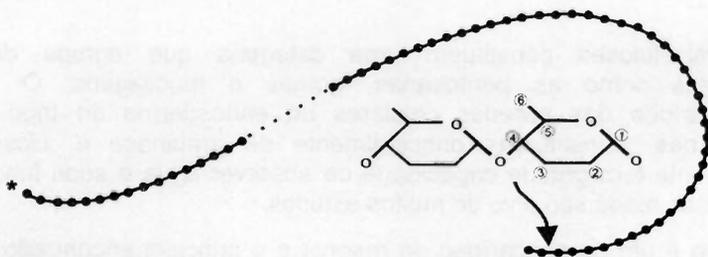


FIGURA 2 ESTRUTURA DA FRAÇÃO LINEAR DO AMIDO (AMILOSE)

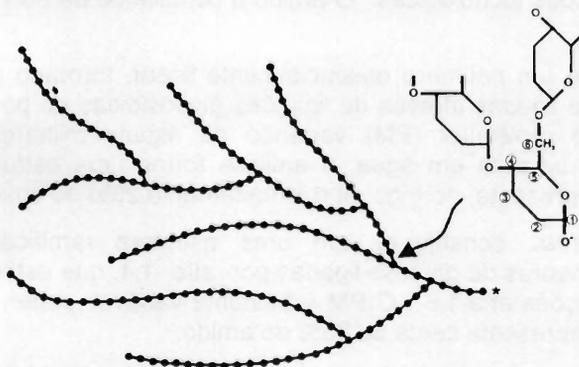


FIGURA 3 ESTRUTURA DA FRAÇÃO RAMIFICADA DO AMIDO (AMILOPECTINA)

Antigamente pensava-se que o grânulo de amido não absorvia água por ter uma parede celulósica (ou algo semelhante) envolvendo-o. Hoje, sabe-se que ele tem pouca capacidade de absorver água (aproximadamente 30% de seu peso) devido à sua estrutura altamente organizada, principalmente nas regiões cristalinas, onde a água tem dificuldade em penetrar.

Para que isso ocorra são necessárias algumas condições: que o grânulo sofra danos mecânicos, que causem fissuras por onde a água possa penetrar; ou que o grânulo sofra alterações físico-químicas na sua estrutura, quebrando as associações existentes entre as cadeias de amilose e/ou amilopectina, que permitam à água entrar dentro das regiões mais ordenadas e compactas do grânulo.

No primeiro caso, isso pode ocorrer sob determinadas condições de moagem, em maior ou menor extensão, dependendo de características dos grãos e da severidade do processo. A importância do teor de amido danificado nas farinhas e sua influência no processo de panificação serão posteriormente discutidas.

No segundo caso, as alterações podem ser causadas por agentes químicos, capazes de romper as pontes de hidrogênio; por exemplo, adicionando-se hidróxido de sódio (NaOH) a uma suspensão de amido, observa-se a absorção de água e o aumento de viscosidade da suspensão (gelatinização a frio). Por motivos óbvios, em sistemas alimentícios não são usados esses reagentes, mas sim o calor. A energia fornecida pelo aquecimento e agitação constante da suspensão de amido, quebram as pontes de hidrogênio e permitem que os grãos absorvam água e inchem.

Os grânulos não incham todos à mesma temperatura, mas numa faixa de temperatura, que é característica para cada tipo de amido, como se vê na Tabela 7.

Tabela 7 - Faixa de gelatinização dos principais amidos

Fonte de amido	Faixa de Gelatinização (°C)
Trigo	58-64
Triticale	55-62
Centeio	57-70
Cevada	51-60
Aveia	53-59
Milho	62-72
Sorgo	68-78
Arroz	68-78

Essas diferenças ocorrem devido ao tamanho dos grânulos, à proporção de amilose/amilopectina, ao peso molecular dessas frações, etc. Inicialmente, rompem-se as ligações mais fracas da região amorfa. À medida que os grânulos incham, aumenta o atrito entre eles, causando o aumento da viscosidade. Se o aquecimento prossegue e há água em quantidade suficiente, rompe-se a região cristalina e a água entra, fazendo o grânulo romper-se e perder a birrefringência, ou seja, não se visualiza mais a cruz de Malta sob luz polarizada.

O processo de entumescimento prossegue até um ponto de máxima viscosidade, a partir do qual qualquer energia extra fornecida (sob a forma de aquecimento ou agitação) será utilizada para "quebrar" o gel formado, fazendo diminuir a viscosidade. A gelatinização completa do amido só pode ocorrer quando o meio contém água em grande quantidade; em muitos sistemas alimentícios, como na massa de pão, isto não ocorre, e a gelatinização é apenas parcial.

O amido gelatinizado, seja parcial ou totalmente solubilizado, forma uma **pasta**. A medida que esta pasta esfria, forma-se o **gel** de amido. Por definição, o gel é um sistema líquido que apresenta propriedades de um sólido. Nele, uma pequena quantidade de sólidos mantém presa uma grande quantidade de água. O gel de amido pode ser visualizado como sendo formado por cadeias de amido entremeadas por camadas de água, interligadas por pontes de hidrogênio.

À medida que a temperatura vai diminuindo (na refrigeração ou congelamento, principalmente) as cadeias de amido tendem a interagir mais fortemente entre si, obrigando a água a sair. Este fenômeno é chamado **sinerese**.

O processo de recristalização das cadeias de amido, que é irreversível, chama-se **retrogradação**. Costuma-se atribuir a retrogradação principalmente à compactação das cadeias de amilose, explicando-se o fenômeno da seguinte maneira: durante a gelatinização, muitas moléculas da amilose saem do interior do grânulo e ficam suspensas no meio; com o resfriamento, essas moléculas se desenrolam e interagem entre si formando pontes de hidrogênio, quando então ocorre a saída da água que havia entre as moléculas e elas se compactam. A intensidade da retrogradação depende do tipo de amido, do grau de gelatinização, da proporção amilose/amilopectina, do uso de aditivos, entre outros fatores.

No processo de panificação é normalmente mais enfatizada a função do glúten, levando a pensar que o amido é apenas um "recheio" inerte dentro da estrutura protéica. No entanto, devido às suas propriedades, o amido desempenha importantes funções durante todo o processo de panificação.

1.4.3. LIPÍDIOS

Os lipídios são basicamente compostos por ácidos graxos que, ligando-se a diferentes estruturas, vem a constituir os glicerídeos, fosfolipídios, esfingolipídeos e as ceras.

Os ácidos graxos são ácidos orgânicos que possuem uma cadeia longa de carbono e hidrogênio (representada por R), com um grupo carboxílico terminal (-COOH). Quando a cadeia não possui duplas ligações o ácido graxo é dito saturado, e quando possui uma ou mais duplas ligações, insaturado. Os ácidos graxos apresentam uma região polar (COOH) e outra apolar (R), o que os torna capazes de estabilizar duas fases imiscíveis. Os mono e diglicerídeos, por possuírem uma razoável polaridade, também apresentam essa capacidade emulsificante. Os óleos e gorduras são constituídos de uma mistura de triglicerídeos que, à temperatura ambiente, se apresentam, respectivamente, na forma líquida ou sólida.

Os lipídios de cereais consistem de glicerídeos de ácidos graxos, principalmente o ácido palmítico (C 16:0), oléico (C 18:1) e linoléico (C 18:2). Contêm ainda cerca de 4% de fosfolipídios, como a lecitina, e também glicolipídios (no endosperma). Nos cereais, os ácidos graxos saturados constituem 11 - 26% do total, e os insaturados, 72 - 85%.

O conteúdo de lipídios no trigo varia entre 2 e 3%, distribuindo-se pelas diversas partes do grão. O germe contém 6 - 11% de lipídios; o farelo, 3 - 5%; e o endosperma, de 0,8 a 1,5%. A Tabela 8 mostra como eles se distribuem nas diferentes frações do trigo.

Tabela 8 - Composição média em lipídios das frações de trigo.

Componente	% do componente em cada fração		
	Farelo	Germe	Endosperma
Esteril ésteres	0,5	3,7	traços
Triglicerídeos	56,1	57,0	29,4
Ácidos graxos, esteróis, mono e diglicerídeos	25,1	17,8	17,1
Fosfo e glicolipídios	22,5	16,5	52,4

Ao contrário dos lipídios do farelo e do germe, constituídos basicamente de triglicerídeos, os lipídios do endosperma constituem cerca de 30% de triglicerídeos e mais da metade de fosfo e glicolipídios. Esses lipídios polares encontram-se ligados principalmente ao amido e ao glúten.

No grão inteiro, as enzimas e lipídios não entram em contato e, por isso, quando ocorre alguma degradação enzimática, esta é atribuída à ação de microrganismos. A partir do momento em que o trigo é moído, esse contato acontece e a farinha pode apresentar problemas de deterioração. A farinha contém os lipídios do endosperma e, em quantidades variáveis segundo o grau de extração, também os lipídios do germe e da camada de aleurona. Quanto maior a quantidade de lipídios na farinha, mais rápida a sua deterioração, daí a perecibilidade da farinha integral.

A deterioração pode ocorrer de duas maneiras: pela rancidez hidrolítica, causada pela enzima lipase (um tipo de esterase), que produz glicerol e ácidos graxos livres e aumenta a acidez da farinha; e também pela rancidez oxidativa, onde a enzima lipoxigenase (ou lipoxidase) catalisa a peroxidação de lipídios polinsaturados pelo oxigênio.

A farinha contém alguns antioxidantes naturais, como os tocoferóis, que protegem os ácidos graxos insaturados da oxidação. No entanto, quando se faz o branqueamento químico da farinha utilizando cloro (Cl_2), este composto interage também com os tocoferóis que, neste caso, deixam de atuar como antioxidantes.

1.4.4. ENZIMAS

As enzimas são proteínas com propriedades catalíticas, que participam de reações bioquímicas importantes em todos os sistemas vivos. Sua atividade continua mesmo nas fases de pós-colheita ou de pós-abate. Algumas reações enzimáticas são indesejáveis, do ponto de vista tecnológico (escurecimento, alterações no sabor e na textura, etc); outras são altamente desejáveis, e até mesmo provocadas pela adição de enzimas a certos processos.

A atividade das enzimas é bastante específica e sua intensidade depende das condições do meio, como atividade de água, pH, temperatura, concentração de substrato, etc. Como todas as proteínas, sua estrutura se altera com o aquecimento (desnaturação), sendo inativadas acima de uma dada temperatura.

O trigo contém um sistema enzimático próprio, normalmente inativo durante o armazenamento, desde que o grão esteja seco e livre de contaminação por insetos e fungos. Quando se aumenta a quantidade de água no grão e, principalmente, quando ele é transformado em farinha, as enzimas começam a atuar e a modificar as características desses produtos.

Os grãos de trigo contêm uma série de enzimas diferentes, podendo agir sobre diversos substratos. As mais importantes em panificação são as enzimas amilolíticas, principalmente aquelas que agem sobre o amido em suas ligações α -1,4; há também as enzimas chamadas desramificantes que agem sobre as ligações α -1,6 do amido. Outros carboidratos, como celulose e pentosanas, também podem ser modificados enzimaticamente. Além das enzimas que agem sobre os carboidratos, há também aquelas que atuam sobre as proteínas, lipídios e outros componentes menores.

- ENZIMAS AMILOLÍTICAS

A α -amilase age sobre as ligações α -1,4 da fração linear do amido, agindo ao acaso. Depois de algum tempo, produz unidades de maltose e glucose, deixando intacta a região das ramificações, que formam as chamadas dextrinas (de baixo peso molecular). Atua muito lentamente sobre os grânulos íntegros do amido e, mais rapidamente, sobre o amido danificado ou gelatinizado.

A β -amilase atua ordenadamente a partir da extremidade não redutora, liberando unidades de maltose e deixando como resíduo dextrinas de alto PM, conhecidas como dextrinas-limites.

Os grãos sadios possuem β -amilase em abundância, mas um baixo teor de α -amilase. Quando o grão germina, o teor de α -amilase aumenta consideravelmente. Por isso, farinhas produzidas a partir de grãos germinados, devido às más condições de colheita ou de armazenamento, possuem amilases em quantidade superior à desejada, podendo causar problemas em panificação.

O pH ótimo para a ação da α -amilase é próximo a 4,5 e para a β -amilase é ligeiramente mais alto. A β -amilase é ligeiramente mais sensível que a α -amilase à inativação pelo calor (desnatura à temperatura mais baixa). A ação combinada dessas duas enzimas resulta em cerca de 85% de conversão do amido em açúcares.

O conteúdo de açúcares fermentescíveis na farinha não é suficiente para conferir um bom volume à massa na fermentação. A presença de certa quantidade de amilase, principalmente a α -amilase, é importante para a produção de açúcares, que garantam a quantidade de substrato necessária para uma fermentação correta e também para a obtenção de uma boa cor e aroma no assamento. No entanto, se a quantidade for excessiva, haverá alta produção de dextrinas, fazendo com que seja retida muita umidade no miolo, o qual ficará gomoso.

Farinhas com excesso de α -amilase podem ser misturadas com outras farinhas que apresentem baixos níveis desta enzima. Quando, pelo contrário, o problema é a deficiência de α -amilase, a farinha pode ser suplementada com enzimas de outras fontes. A mais tradicional é o malte diastático ou diastásico, produzido a partir de grãos (geralmente de cevada) germinados. Podem também ser empregadas as α -amilases de origem fúngica ou bacteriana. Esta última é menos conveniente, pois sua temperatura de inativação é muito alta e, portanto, sua ação se prolonga por muito tempo no assamento, o que pode ser prejudicial.

- ENZIMAS DESRAMIFICANTES

Hidrolisam as ligações α -1,6, desfazendo as ramificações. As principais são a pululanase e a isoamilase. Encontram-se no endosperma e estão envolvidas no metabolismo de carboidratos durante o desenvolvimento do grão.

- CELULASES

Há diversas enzimas que podem atuar sobre a celulose, pentosanas e gomas do trigo. No entanto, estas enzimas estão geralmente presentes na camada que compõe o farelo e, por isso, não tem influência sobre a farinha branca. Quando se utiliza a farinha integral, pode haver algum efeito sobre as propriedades da massa, devido à redução da viscosidade das gomas presentes na referida farinha.

- ENZIMAS PROTEOLÍTICAS

As enzimas proteolíticas atuam sobre as ligações peptídicas (seja na parte interna ou mais externa das cadeias de proteína), com resultado semelhante àquele obtido com o uso de agentes redutores, embora a forma de atuação seja totalmente diferente.

As proteinases e peptidases do trigo não têm grande importância em panificação, pois o pH ótimo para sua atividade é bem mais ácido que o da massa. Normalmente, não se encontram altos níveis de proteinases nas farinhas, a menos que sejam derivadas de grãos germinados.

A ação dessas enzimas é geralmente considerada indesejável na panificação, pois isto enfraqueceria o glúten. No entanto, sua presença pode ser importante no caso de farinhas muito fortes, que produzam massa muito dura e pouco extensível.

Seu uso é particularmente útil na produção de biscoitos doces, quando se deseja uma massa extensível, para evitar deformações após o corte. Para o biscoito cracker, uma maior extensibilidade proporcionada pela ação enzimática, propicia boa textura e também volume. Quando é necessário suplementar a quantidade de proteinases da farinha, utilizam-se enzimas fúngicas de *Aspergillus oryzae* ou *Aspergillus niger*.

- ENZIMAS LIPOLÍTICAS

Embora com atuações bastante diferentes, as lipases e lipoxigenases agem sobre os lipídios, podendo ser desejáveis ou não no processamento. As modificações afetam mais o grão e a farinha integral, pois a farinha branca, livre de germe, contém baixo teor de lipídios.

As lipases são esterases que hidrolisam as ligações dos lipídios (especialmente se os grãos estiverem sujeitos a alta umidade), liberando ácidos graxos livres no grão ou farinha de trigo. A presença de ácidos graxos insaturados não afeta significativamente a panificação, a menos que sejam oxidados.

A lipoxigenase ou lipoxidase catalisa a peroxidação dos ácidos graxos insaturados. A destruição de ácidos graxos essenciais não chega a ser uma perda nutricional significativa nos produtos de panificação. Mas os lipoperóxidos produzidos nesta reação oxidam outros compostos, como os tocoferóis, ácido ascórbico e carotenóides.

A oxidação dos carotenóides é uma reação de interesse, pois a oxidação desses pigmentos torna a farinha mais branca. No trigo, a lipoxigenase está concentrada no germe, mas existe em quantidade muito pequena, não atuando significativamente sobre a cor da farinha. Uma boa fonte dessa enzima é a soja, que pode ser usada em adição ao trigo, quando necessário, na forma de farinha de soja enzima ativa (não tratada termicamente).

- **OUTRAS ENZIMAS**

Existem ainda outras enzimas no trigo, presentes em menor quantidade ou com uma função tecnológica menos expressiva como:

- * fitase, que age sobre o ácido fítico (composto antinutricional);
- * fenoloxidase, que age sobre os compostos fenólicos;
- * peroxidase e catalase, envolvidas em reações oxidativas, como o branqueamento de pigmentos e a polimerização de proteínas.

1.4.5. VITAMINAS E MINERAIS

A maioria dos cereais é fonte importante de vitaminas do grupo B, como tiamina (B1), riboflavina (B2), piridoxina (B6), niacina (PP) e ácido pantotênico, além de conter também tocoferol (precursor da vitamina E, com ação antioxidante). Estes compostos concentram-se principalmente no germe e na camada de aleurona.

No grão de trigo, os minerais estão principalmente no farelo (aleurona) e consistem, basicamente, de fosfatos e sulfatos de potássio, magnésio e cálcio. Outros elementos menores são o ferro, manganês, zinco e cobre.

Na farinha, os teores de vitaminas e minerais são menores, variando conforme o grau de extração. Algumas vitaminas são mais sensíveis e seu conteúdo diminui também sob condições inadequadas de estocagem ou no cozimento do pão.

2. PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PÃO

Os pães constituem uma ampla gama de produtos, que variam de acordo com a região, hábitos, tradições culturais, matérias-primas disponíveis no local, etc. As formas de preparo e as formulações são inúmeras, porém a produção da maioria dos pães apresenta características em comum. Serão descritas, a seguir, as etapas e os ingredientes básicos utilizados no processo, bem como algumas variações no método de panificação.

2.1. ETAPAS

2.1.1. MISTURA

A primeira fase do processamento de pães e outros produtos de panificação tem como objetivo a mistura de todos os ingredientes da formulação e o amassamento até um ponto considerado ideal. Até que a massa atinja este ponto ideal, ela passa por vários estágios. Sua aparência sofre alterações visíveis durante a mistura: de úmida e pegajosa no início, ela passa a apresentar um aspecto firme, liso e homogêneo.

Inicialmente, a farinha absorve água e a massa começa a se formar, apresentando-se bastante desuniforme. À medida que se fornece energia à massa, através da mistura, a rede de glúten vai se desenvolvendo pelo estabelecimento de interações químicas entre as cadeias protéicas. Estas ligações vão se quebrando e se restabelecendo continuamente, tornando a estrutura cada vez mais forte e elástica. No ponto de desenvolvimento máximo da massa, observa-se que ela apresenta a capacidade de ser finamente esticada sem se romper, tal a viscoelasticidade da rede de glúten formada. Se a mistura prossegue, após ter sido atingido o máximo desenvolvimento do glúten, o fornecimento contínuo de energia faz com que as ligações que mantêm a rede protéica comecem a se quebrar e não mais se refaçam, enfraquecendo o glúten. A massa, então, libera água e vai se tornando progressivamente mole e pegajosa.

Os grânulos de amido vão ficando incrustados na matriz protéica do glúten, à medida que este se desenvolve durante a mistura. Há estudos que afirmam que se forma entre eles um complexo, através de forças eletrostáticas relativamente fortes.

Outra função da mistura, além do desenvolvimento do glúten, é a incorporação de ar na massa, na forma de bolhas pequenas e bem

distribuídas, condição importante para obter uma boa granulometria do miolo no produto final.

Os misturadores utilizados podem ser de vários tipos: eixos verticais ou horizontais, lentos, rápidos ou semi-rápidos, etc. O "design" das pás visa realizar um bom trabalho sobre a massa (misturar, comprimir, dobrar, esticar) a fim de desenvolver bem a rede de glúten.

Quando se utiliza um misturador de alta velocidade, é possível desenvolver a rede de glúten até o seu ponto máximo, apenas na etapa de mistura. Porém, quando o misturador é de baixa velocidade, atinge-se nesta etapa apenas um desenvolvimento limitado, que irá se completar pela cilindragem da massa ou mesmo durante a fermentação.

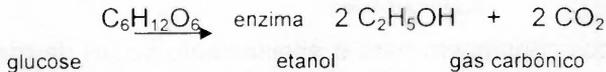
A duração da mistura depende, além do tipo de misturador utilizado, de outros fatores. Os ingredientes devem estar presentes em quantidades apropriadas; o tipo de formulação utilizado e mesmo a ordem de adição dos ingredientes afetam o tempo de mistura. Por exemplo, o sal aumenta o referido tempo, uma vez que fortalece o glúten; a gordura também aumenta o tempo de mistura pois, ao envolver o glúten, pode dificultar sua hidratação (por isso, deve ser adicionada por último); a adição de protease faz diminuir o tempo de mistura, porque "corta" cadeias protéicas em pedaços menores, facilitando as interações e a formação da rede. As farinhas com teor de proteína mais alto prolongam o tempo de mistura, pois demoram mais a se hidratar e desenvolver, além de resistir por mais tempo ao amassamento.

A água deve ser adicionada em quantidade suficiente para hidratar a farinha e fazer com que a massa atinja uma consistência adequada para ser manipulada. A absorção de água pelas farinhas é variável, dependendo bastante do teor de proteína e de amido da farinha. O amido tem grande influência sobre a absorção de água; sua capacidade de absorção e a velocidade em que isto ocorre dependem do teor de grânulos de amido danificados e, ao que parece, também do tamanho dos grânulos. Como regra geral, pode-se dizer que farinhas com alto teor protéico absorvem mais água, assim como aquelas com alto conteúdo de amido danificado.

2.1.2. FERMENTAÇÃO

A fermentação é uma etapa de descanso da massa, após os impactos mecânicos sofridos na(s) etapa(s) anterior(es). Seus objetivos são: a produção de gás (CO_2), a complementação do desenvolvimento do glúten e a produção de sabor e aroma na massa do pão.

Durante esta etapa ocorrem uma série de modificações, cujos principais responsáveis são as leveduras *Saccharomyces cerevisiae*. Estes microrganismos são adicionados à massa por que, ao se multiplicarem e realizarem seu metabolismo normal, produzem gás, que expande a massa e a torna mais aerada e leve. A levedura, usando seu sistema enzimático, consome os açúcares da massa, transformando-os em dióxido de carbono (CO_2) e álcool (etanol).



Os açúcares da massa podem ser provenientes da farinha, adicionados na formulação ou produzidos na própria massa pela ação das enzimas sobre o amido. No início da fermentação, as leveduras passam por uma fase de adaptação ao meio e, para facilitar e acelerar o seu metabolismo, costumam-se adicionar açúcar (sacarose) à massa. Este açúcar é imediatamente transformado pelas leveduras em glucose e frutose, açúcares mais simples, que são rapidamente metabolizados (a glucose ainda mais que a frutose).

Na fermentação, participam ativamente os grânulos danificados de amido, que são susceptíveis à ação enzimática. Durante este período, a enzima α -amilase (seja ela natural da farinha ou adicionada à formulação) começa a agir sobre as cadeias de amilose e amilopectina dos grânulos danificados. O resultado é a liberação de unidades de maltose na massa, que serão consumidas posteriormente, durante estágios mais avançados da fermentação. A ação da α -amilase, desde que não seja excessiva, é benéfica, uma vez que assegura o constante fornecimento de substrato e, assim, a fermentação não é interrompida.

O CO_2 produzido pelas leveduras se difunde pelos núcleos constituídos pelas bolhas de ar incorporadas durante a mistura, garantindo assim uma boa distribuição de gás pela massa e uma granulometria uniforme ao miolo do pão.

- **AUMENTO DA TEMPERATURA:** massa se aquece, principalmente quando o tempo de fermentação é longo (2 a 3° C em 18 horas de fermentação de esponja);
- **PERDA DE ÁGUA:** perda por evaporação pode ser evitada, mantendo-se a umidade relativa do ambiente próxima a 80%.
- **VARIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA:** massa passa de pesada e borrachenta para uma consistência menos densa e mais extensível;
- **AUMENTO DE VOLUME:** massa cresce até um determinado limite.

A temperatura interfere no tempo e no resultado da fermentação. Se a temperatura utilizada for muito alta, a produção de gás será muito rápida e o glúten não tem tempo para se desenvolver adequadamente; desse modo, a estrutura da massa não fica suficientemente elástica para reter o gás, diminuindo o volume do produto final. Se a temperatura usada for muito baixa, o glúten terá tempo de se desenvolver, mas a quantidade de gás e de outros produtos da fermentação (ácidos, aminoácidos) será pequena e a massa terá que ser fermentada por muito tempo para se obter volume e sabor.

A definição dos parâmetros tempo e temperatura da fermentação, portanto, deve ser adequada para equilibrar essas duas forças: produção e retenção de gás.

Um procedimento que pode ajudar a obter um melhor equilíbrio é a sova, ou seja um novo amassamento antes da fermentação final, para eliminar o excesso de CO₂, homogeneizar a massa e colocar novamente os ingredientes em contato. A sova não deve ser muito severa e só será benéfica se a farinha utilizada for forte o suficiente para suportar esse manuseio. A cilindragem, feita após um período de descanso da massa, tem efeitos similares aos da sova.

Alguns efeitos da fermentação só aparecerão após o assamento da massa. Quando as massas sofreram fermentação por um tempo menor que o ideal, o pão terá baixo volume, células muito fechadas, crosta grossa e de cor marrom avermelhada. Se a massa teve fermentação mais longa que a ideal, os pães apresentarão crosta de cor pálida, granulidade grosseira, textura ruim e sabor e aroma excessivamente ácidos.



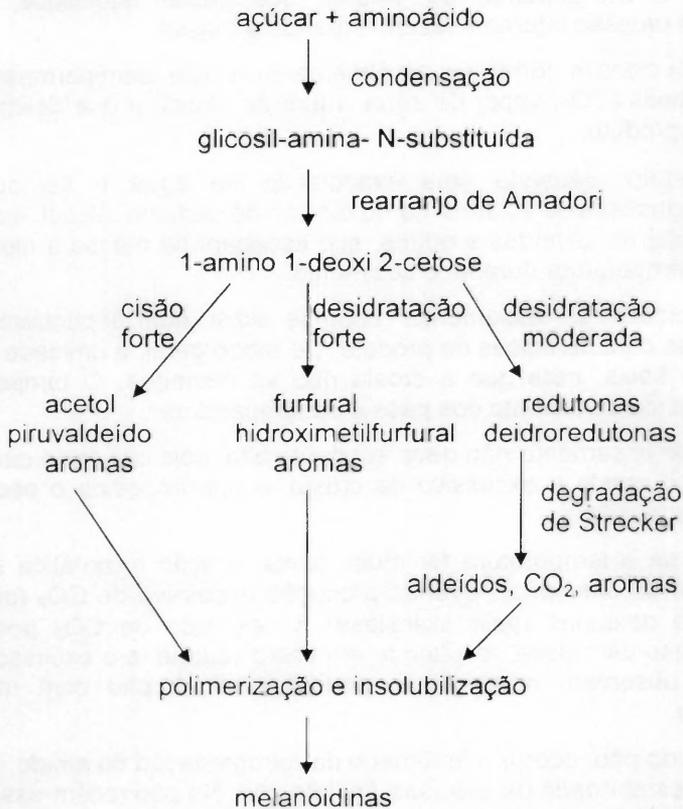
2.1.3. ASSAMENTO

Nesta etapa, a massa sofre uma transformação radical em suas características, pela ação do calor, apresentando-se ao final como um produto digerível, de aroma e paladar agradáveis.

As principais mudanças químicas ocorridas no assamento são:

- **DESNATURAÇÃO PROTÉICA:** com o aquecimento da massa (por volta de 70 °C), a rede de glúten se desnatura ou coagula, formando uma estrutura rígida porosa. Na desnaturação, há liberação de água da proteína, água essa que é utilizada na gelatinização do amido.
- **GELATINIZAÇÃO DO AMIDO:** quando a temperatura alcança uns 50° C, os grânulos de amido começam a absorver água e a intumescer. A água liberada após a desnaturação protéica, permite a continuação do processo. O amido parcialmente gelatinizado (em virtude da limitada quantidade de água disponível no sistema) fica incrustado no "esqueleto" protéico e, após o resfriamento, dará sustentação a essa estrutura.
- **AÇÃO/INATIVAÇÃO ENZIMÁTICA:** com o aquecimento, aumenta a ação enzimática, porém as enzimas se desnaturam e perdem sua atividade quando se atingem determinadas temperaturas. Grande parte dos açúcares da massa, sejam aqueles adicionados na formulação ou produzidos a partir da ação enzimática sobre o amido danificado, já foram consumidos na etapa de fermentação. A reposição dos açúcares, importante para que o produto apresente boa cor e aroma depois de assado, se faz pela ação enzimática (α -amilase) sobre o amido gelatinizado, no início do assamento.
- **PRODUÇÃO DE COR E AROMA:** a reação de escurecimento não enzimático, que produz também o aroma característico do pão assado, é conhecida como reação de Maillard. Todos os compostos responsáveis pelo "flavor" se formam durante o assamento, na região da crosta, e depois penetram no miolo, ficando nele solubilizados e podendo ser liberados pelo reaquecimento dos pães.

A reação de Maillard ocorre entre açúcares redutores e o grupo amino dos aminoácidos. Dependendo da quantidade de açúcares e de aminoácidos presentes, da variedade desses compostos, da umidade, pH e temperatura do assamento, variam os produtos finais da reação de Maillard. Resumidamente, as etapas desta reação são as seguintes:



Os compostos voláteis se polimerizam em parte, formando as melanoidinas, compostos escuros, de sabor amargo e pouco voláteis, cuja presença se nota nos produtos assados em excesso.

Embora a formação de todos esses compostos ocorra no assamento, não se pode obter pão com bom aroma sem a adequada fermentação, simplesmente pela insuficiência de açúcares, aminoácidos e da acidez do meio.

As mudanças físicas ocorridas durante o assamento são:

- **AUMENTO DE VOLUME DA MASSA:** ocorre como resultado do aumento da taxa de produção de CO_2 , da diminuição de solubilidade da fase gasosa na massa, e do aumento de volume dos gases aquecidos, que aumentam a pressão interna e fazem expandir a massa;
- **FORMAÇÃO DA CROSTA:** forma-se um filme na superfície, semipermeável à saída dos gases (CO_2 , vapor de água, vapor de álcool) e que delimita a estrutura do produto;
- **PERDA DE PESO:** causada pela evaporação de água e de outras substâncias gasosas ou voláteis, como dióxido de carbono, álcool, ácidos orgânicos, ésteres, aldeídos e outros, que escapam da massa à medida que sobe a temperatura durante o cozimento.

Sobre as condições de assamento, pode-se dizer que dependem da formulação e das características do produto. De modo geral, a umidade não deve ser muito baixa, para que a crosta não se resseque. O tempo de assamento depende do formato dos pães e da temperatura.

A temperatura de assamento não deve ser muito alta, pois isto pode causar um enrijecimento rápido e excessivo da crosta, o que impediria o pão de continuar sua expansão.

Por outro lado, se a temperatura for muito baixa, a ação enzimática será prolongada além do desejado, havendo produção excessiva de CO_2 (pelas leveduras) e de dextrinas (pela α -amilase). O excesso de CO_2 poderá causar um colapso da massa, resultando em baixo volume, e o excesso de dextrinas, que absorvem muita água, poderá produzir pão com miolo gomoso e úmido.

No resfriamento do pão, ocorre o fenômeno da retrogradação do amido, que contribui para a estabilidade da estrutura final do pão. No pão recém-assado e resfriado, as moléculas de amilose estão associadas e imobilizadas num firme gel retrogradado, não podendo participar das modificações subsequentes. É a vez então, das moléculas de amilopectina começarem a se associar, pelo entrelaçamento de suas ramificações. Isto diminui a flexibilidade do gel e parece ser a causa do endurecimento do miolo à medida que o pão envelhece.

2.2. MÉTODOS DE PANIFICAÇÃO

No processo de panificação podem ser empregados vários métodos, os quais podem ser classificados como convencionais ou rápidos, dependendo do tipo de equipamento utilizado.

2.2.1. MÉTODOS CONVENCIONAIS

- **MASSA DIRETA**

É um processo onde todos os ingredientes são misturados em uma única etapa. A mistura é realizada por um tempo variável, até que a massa adquira uma aparência lisa e boas características de elasticidade, determinadas pela sensibilidade e experiência do padeiro.

A ordem de adição dos ingredientes pode variar. Em geral, adicionam-se primeiramente os ingredientes secos, misturando um pouco para homogeneizá-los e, em seguida a levedura (de preferência, previamente dissolvida em água) e o restante da água. Há quem prefira colocar primeiramente parte da água e os ingredientes menores que devem ser nela dissolvidos (açúcar, nutrientes de fermento, leite em pó, malte, etc), adicionando depois a farinha e a suspensão de leveduras. Em qualquer dos casos, a gordura é geralmente adicionada após alguns minutos de mistura (cerca de 50% do tempo total).

A melhor temperatura para fermentação da massa é entre 25-26 °C. Quando se deseja acelerar a fermentação, podem-se usar temperaturas mais altas, porém não se recomenda ultrapassar os 28 °C.

O tempo de fermentação varia de 30 minutos a 4 horas, dependendo da temperatura, do tipo de pão, da força da farinha, etc. Para farinhas fortes, é possível prolongar a fermentação e, nesse caso, é benéfico realizar uma ou mais sovas. O amassamento feito na sova não precisa ser muito enérgico, bastando dobrar os lados da massa em direção ao centro, com o objetivo de:

- * reduzir o excesso de CO₂ na massa (que retarda a fermentação);
- * introduzir oxigênio (que estimula a atividade das leveduras);
- * uniformizar a temperatura por toda a massa;
- * colaborar no desenvolvimento do glúten, pelo amassamento, que aumenta a capacidade de retenção de gás na massa.

As vantagens deste método são: tempo e trabalho reduzidos, menor gasto de energia, menor requerimento de equipamentos e menores perdas na fermentação (que é geralmente curta).

Como desvantagem, pode-se citar sua pouca flexibilidade.

- MÉTODO ESPONJA

Este método se desenvolve em duas etapas: a primeira é chamada esponja e, na segunda, temos a massa, propriamente dita.

A principal ação fermentativa ocorre no pré-fermento ou esponja, que representa, normalmente, cerca da metade da massa total. A esponja não necessita muito tempo de mistura, apenas o suficiente para que o glúten seja capaz de reter parte do CO₂ produzido durante a fermentação. Depois a esponja é combinada aos demais ingredientes e a massa alcança seu desenvolvimento total durante a segunda etapa de mistura.

A esponja normalmente contém 50 a 75% da farinha e toda a levedura da formulação, além de água em quantidade suficiente para a obtenção de uma massa razoavelmente dura. Geralmente, a gordura e outros ingredientes são adicionados na segunda etapa. Procura-se facilitar a fase de adaptação dos microrganismos ao meio, evitando-se adicionar, nessa etapa, ingredientes inibidores da fermentação (sal, fungicidas e alto conteúdo de açúcar). No entanto, pode-se adicionar sal na esponja, nos casos em que a farinha apresenta excessiva atividade amilolítica, para ajudar no controle da fermentação. No caso oposto, pode ser adicionado um pouco de açúcar ou malte (enzima).

A temperatura para a fermentação da esponja deve ser de 23-26 °C e o tempo necessário é de aproximadamente 3,5-5 horas. Geralmente, a esponja alcança 4-5 vezes o seu volume original e depois decresce, sendo este ponto conhecido pelos termos em inglês "drop" ou "break". Para saber o tempo ideal de fermentação de uma esponja, basta considerar que o "break" representa 66-75% do tempo total requerido. Ao final desta etapa, a temperatura da esponja não deve ser superior a 30 °C.

No estágio de massa, a esponja é recolocada no misturador e se adicionam o restante dos ingredientes: primeiro os secos, depois os líquidos e, por último, a gordura. A massa é então desenvolvida e passa por uma segunda etapa de fermentação, mais rápida (20 minutos a 1 hora), até ser atingido o volume adequado para o assamento.

Como vantagens do método esponja, temos:

- * utiliza 20% menos de levedura que o método direto;
- * o pão desenvolve mais aroma e sabor, além de apresentar melhor volume, textura e granulometria;
- * é um método muito mais flexível, pois o tempo de fermentação da esponja pode ser prolongado, quando necessário, sem prejudicar a qualidade final.

Como desvantagens, podem ser citados os seguintes fatos: é um método mais caro (2 operações de mistura), mais demorado e apresenta maiores perdas (água e CO₂) por fermentação.

2.2.2. MÉTODO RÁPIDO

É um método que utiliza misturadores de alta velocidade. O método Chorleywood foi originalmente desenvolvido na Inglaterra, visando diminuir o tempo e os custos da produção comercial de pão.

Neste método, o tempo de mistura pode variar conforme a farinha, os ingredientes usados e a velocidade, porém não ultrapassa os 5 minutos. O glúten fica totalmente desenvolvido pela energia fornecida à massa durante a mistura e a necessidade de uma fermentação mais longa é eliminada.

Enquanto nos métodos convencionais as condições de fermentação devem ser tais que a produção ideal de gás se dê simultaneamente com o desenvolvimento adequado do glúten, no método rápido, a fermentação pode ser rápida, pois visa apenas à produção de gás.

Os equipamentos de alta velocidade (cerca de 420 rpm), especialmente desenvolvidos para essa finalidade, executam sobre a massa um trabalho mecânico vigoroso, homogeneizando rapidamente os ingredientes e fornecendo à massa a energia necessária para o total desenvolvimento da rede de glúten (estimada em aproximadamente 10-11 watt/hora/kg de massa). Essa energia é utilizada para fracionar as proteínas em porções menores, aumentando o teor de grupos reativos expostos e favorecendo a formação da rede.

Normalmente são realizadas algumas mudanças na formulação, para torná-la mais adequada ao método:

- * aumento na quantidade de água: devido ao maior número de grupos passíveis de hidratação, a água da formulação deve ser aumentada em cerca de 2-3 %. Utiliza-se água gelada, para que a temperatura da massa não aumente em excesso, devido à alta fricção a que a massa está submetida durante a mistura;
- * aumento na quantidade de fermento: uma vez que a fermentação não tem como objetivo o desenvolvimento do glúten, mas apenas a produção de CO_2 , ela pode ser abreviada, utilizando temperaturas um pouco mais altas e maior quantidade de fermento;
- * é recomendada também a utilização de agentes oxidantes, que colaboram na formação de pontes dissulfeto no glúten.

A partir do momento em que o glúten está totalmente desenvolvido, qualquer energia extra que seja fornecida à massa será prejudicial, pois as ligações rompidas não serão mais refeitas. Como o tempo de mistura é curto, é preciso estar atento para que a massa não seja supermisturada.

As vantagens do método rápido são:

- * redução do tempo do processo em 60-70%, o que lhe dá grande flexibilidade;
- * redução do espaço necessário em cerca de 20%, pois dispensa uso de câmaras de fermentação;
- * por ter tempo curto de fermentação, dispensa uso de amilases e também diminui as perdas na fermentação, aumentando o rendimento do pão;
- * redução do custo por unidade de pão (apesar de utilizar maior quantidade de fermento e de outros aditivos e do maior consumo de energia elétrica do misturador);
- * bom desenvolvimento da massa, mesmo com farinhas fracas;
- * melhor controle das condições higiênicas, pelo menor manuseio.

As desvantagens do método rápido estão no fato de requerer equipamento especial e produzir pão com sabor e aroma inferiores àquele produzido pelos métodos convencionais, devido à fermentação rápida.

2.3. FORMULAÇÃO

A formulação básica para a produção de pão compreende farinha, água, fermento e sal. Normalmente são utilizados também outros ingredientes

como açúcar, gordura e leite. Os aditivos são ingredientes menores que, mesmo empregados em pequena quantidade, produzem um efeito significativo. Esses compostos suplementares são utilizados como coadjuvantes, para melhorar a qualidade do pão em vários aspectos: nutricional, sensorial (sabor e aroma), volume, cor, maciez e vida de prateleira.

2.3.1. INGREDIENTES

- **FARINHA DE TRIGO**

A farinha de trigo empregada deve ser de qualidade apropriada para uso em panificação, como comentado anteriormente.

As características da farinha de trigo a ser utilizada dependem do produto a que se destinam. O pão francês, por exemplo, é um produto mais exigente, ou seja, necessita de farinha mais forte, de melhor qualidade que aquela requerida para um pão de forma. As formulações mais ricas em açúcar, gordura, etc. costumam ser menos exigentes, uma vez que estes ingredientes também colaboram no resultado final.

Um dos grandes problemas da farinha de trigo no Brasil está na sua falta de padronização, ou seja, na variação frequente de qualidade que se observa. Isto se torna uma dificuldade a ser contornada pelas indústrias e padarias, o que se faz através de misturas de farinhas ou do uso de aditivos, que permitam manter os produtos dentro de limites pré-estabelecidos de qualidade.

- **ÁGUA**

É um ingrediente imprescindível na formação da massa. A água é importante para a hidratação das proteínas e o desenvolvimento do glúten; para a hidratação e gelatinização do amido; para permitir a interação entre os ingredientes; para transportar nutrientes para o metabolismo do fermento.

Em panificação costuma-se usar qualquer tipo de água, desde que seja potável. Entretanto, sabe-se que sua qualidade influi no produto final, uma vez que a mesma contém certos minerais, dentre eles o cálcio e o magnésio, responsáveis pela chamada "dureza da água". Água muito dura retarda a fermentação e água mole tende a amaciar muito o glúten. A água moderadamente dura (50 a 100 ppm de sais de Ca e Mg) é considerada a mais adequada para panificação, pois os sais presentes têm efeito sobre o fortalecimento do glúten e atuam positivamente sobre o metabolismo das leveduras. Águas alcalinas também são indesejáveis, porque tendem a neutralizar a acidez desenvolvida na fermentação, necessária para a atuação das enzimas.

Produtos com falta ou excesso de água têm suas características prejudicadas. A quantidade ideal de água a ser adicionada numa massa é função da farinha e dos ingredientes utilizados, do tipo de misturador, do tipo de produto. Certos ingredientes como açúcar e leite em pó aumentam a absorção de água, enquanto o sal e a gordura a diminuem. Na prática, a quantidade de água costuma ser determinada pela experiência do padeiro.

- FERMENTO

O fermento é constituído de um microorganismo (levedura) denominado *Sacharomyces cerevisiae*, cuja função já foi bastante discutida anteriormente. Ele se apresenta sob diversas formas.

A mais comum é a levedura fresca prensada (cerca de 70% de umidade). Conservada sob refrigeração, pode durar algumas semanas, embora com certa perda de atividade.

A levedura na forma seca, granulada, tem cerca de 3-8% de umidade e pode ser estocada por longos períodos à temperatura ambiente. Sua atividade fica um pouco prejudicada pelo processo de secagem, possuindo, em média, 70% da atividade da levedura prensada. Este tipo de fermento necessita ser previamente reidratado antes de ser empregado.

Existe também a levedura seca instantânea, que não necessita pré-hidratação e pode ser diretamente adicionada à massa, bastando aumentar a quantidade de água na formulação. Sua atividade é 80-90% daquela da levedura prensada.

- SAL

O sal (normalmente o cloreto de sódio, NaCl) é utilizado em panificação com 3 principais objetivos:

- * contribuir para o sabor: o pão sem sal é totalmente insípido, sendo apenas tolerado pelas pessoas que necessitam fazer dieta livre de sal;
- * diminuir a taxa de fermentação: desejável nos casos de difícil controle da temperatura, para controlar melhor o processo;
- * fortalecer o glúten: através de associações (pontes salinas) com as proteínas e do controle sobre as enzimas proteolíticas, o sal reforça a estrutura do glúten.

- GORDURAS

Os óleos ou gorduras usados em panificação podem ser tanto de origem animal como vegetal. Atualmente a maioria das gorduras usadas na fabricação de pães é do tipo vegetal hidrogenada. Suas funções principais na massa são:

- * contribuir no sabor;
- * promover o aumento do volume: atua como "selante" e ajuda na retenção de gás;
- * amaciar a textura: camadas de gordura ficam entremeadas na rede de glúten, facilitando a mastigação do pão;
- * melhorar a conservação: interação entre a gordura e o amido, dificultam a recristalização (retrogradação) entre as cadeias e o envelhecimento é retardado.

Quantidades excessivas de gordura são prejudiciais, pois dificultam a hidratação e o desenvolvimento do glúten.

- LEITE

O leite usado em panificação é geralmente desengordurado e desidratado (leite em pó desnatado). Sua adição resulta numa maior absorção de água pela farinha e deixa a massa mais tolerante à mistura. Também melhora a cor da crosta, a estrutura do miolo e a textura do pão, aumentando seu tempo de conservação. Além disso, aumenta o valor nutricional do produto final.

- AÇÚCAR

A adição de açúcar à massa tem como finalidade facilitar a adaptação da levedura ao processo de fermentação, e colaborar com o sabor, o aroma e a cor do produto final. É geralmente empregado o açúcar de cana (sacarose), mas podem também ser usados o xarope de milho ou o açúcar invertido.

- MALTE NÃO DIASTÁSICO

O malte é o produto da germinação de grãos de cereais, geralmente cevada. O xarope de malte ou malte não diastásico é um produto que foi submetido à alta temperatura, tendo ocorrido a inativação de suas enzimas. É usado como fonte de açúcares, principalmente para dar sabor e cor mais acentuados aos produtos assados.

2.3.2. ADITIVOS

- ENZIMA (α -AMILASE)

A função da α -amilase já foi bastante discutida anteriormente. Nos casos em que a farinha não contenha naturalmente esta enzima em quantidade suficiente, isto pode ser facilmente corrigido, suplementando-a com α -amilase de outras fontes. A mais tradicional é o malte diastásico (grãos germinados, geralmente de cevada) mas também são empregadas a α -amilase fúngica e a bacteriana.

- SURFACTANTES

Este é um nome genérico que agrupa compostos que tem diferentes funções em panificação. São comumente conhecidos como emulsificantes, mas podem também receber denominações específicas, conforme as funções desempenhadas.

Os amaciantes permitem conservar o miolo macio por mais tempo. Estes compostos retardam a perda de umidade do pão e diminuem a taxa de envelhecimento. Os principais amaciantes são os mono e diglicerídeos, que se complexam principalmente com a amilose, dificultando sua recristalização (retrogradação) e a perda da água liberada nesse processo.

Os condicionadores ou reforçadores de massa interagem principalmente com o glúten e aumentam a tolerância da massa à mistura, possibilitando um melhor desenvolvimento e a obtenção de produtos com melhor volume e qualidade global. Os principais condicionadores são o estearoil-2-lactil lactato de sódio (ELS) ou de cálcio (ELC), polissorbatos, monoglicerídeos succinilados e etoxilados.

A lecitina (fosfatidil colina) é um surfactante natural, extraído da soja. Geralmente, é um produto não padronizado, constituído de uma mistura indiscriminada de fosfolipídeos. Por isso, suas propriedades funcionais não são bem definidas, podendo atuar como amaciante e/ou como condicionador, dependendo da composição da amostra. Os resultados obtidos são crosta mais macia, miolo com células finas e textura uniforme, proporcionando melhores características de armazenamento do produto final.

- AGENTES OXIDANTES

São compostos que fortalecem a massa, alterando suas características de elasticidade e extensibilidade. Eles interagem com o glúten, oxidando os grupos sulfidril e formando pontes dissulfídicas entre as cadeias de proteína, que aumentam a tolerância à mistura e a capacidade de retenção de gases durante a fermentação. Os principais são os seguintes:

- * **Bromato de potássio (KBrO₃):** é um oxidante eficiente e de ação lenta, intensificada com o aquecimento. Apesar de sua toxicidade (LD₅₀ de 320 mg/kg), muitas pesquisas demonstraram que todo ele é destruído durante a etapa de assamento. Entretanto, há polêmica em torno do residual de bromato em pães, visto que os métodos de detecção ainda não são suficientemente sensíveis para possibilitar sua utilização com total segurança. Seu uso em panificação é da ordem de 50 ppm, mas a legislação brasileira, assim como a de vários outros países, não permite seu uso. Seus principais substitutos são o ácido ascórbico e a azodicarbonamida
- * **Ácido ascórbico (vitamina C):** é uma substância redutora que pode atuar como um oxidante, desde que na massa haja a presença de oxigênio e de uma determinada enzima da farinha. Nessas condições, o ácido ascórbico passa a ácido deidroascórbico, este sim um agente oxidante de ação média. A legislação brasileira não estipula limites para o uso deste composto, porém normalmente se utiliza de 30-120 ppm.

- * **Azodicarbonamida (ADA):** é um oxidante de ação rápida, ou seja, atua fortalecendo a massa já durante a mistura. Este composto é rapidamente consumido, sendo bom para processos rápidos de mistura. No Brasil, seu uso fica restrito aos moinhos, que podem adicionar este produto à farinha até o limite máximo de 45 ppm (como agente maturador da farinha).

É interessante o uso de um oxidante rápido em conjunto com outro mais lento, pois quando o primeiro já tiver sido consumido, o outro entrará em ação. Na impossibilidade de utilizar o bromato, uma mistura de ácido ascórbico (30 ppm) e ADA (10 ppm) tem sido usada com sucesso no Canadá, em substituição a 15 ppm de bromato.

Há outros compostos que têm ação oxidante, seja sobre os grupos sulfidril como sobre os pigmentos da farinha, e que são mais empregados como agentes branqueadores de farinha, como o hipoclorito e o peróxido de benzoila. Este último tem seu uso restrito também aos moinhos, podendo ser adicionado até a quantidade máxima de 40 ppm.

- AGENTES REDUTORES

Os agentes redutores agem de modo oposto aos oxidantes, ou seja, eles atuam sobre as pontes dissulfeto, rompendo-as. Dessa maneira, enfraquecem o glúten e diminuem o tempo de desenvolvimento da massa. São mais frequentemente usados na produção de biscoitos, quando a farinha é forte demais e se deseja reduzir sua elasticidade.

São agentes redutores a L-cisteína e o bissulfito de sódio, compostos cuja adição não é permitida em biscoitos no Brasil. As enzimas proteolíticas ou proteases, embora não tenham o mesmo mecanismo de atuação que os redutores citados, também agem sobre as cadeias protéicas, enfraquecendo o glúten e dando mais extensibilidade à massa. Seu uso é permitido pela legislação brasileira, como coadjuvante de tecnologia de fabricação de biscoitos, produtos de panificação e de confeitaria.

- AGENTES CONSERVANTES

Utilizados para prolongar a vida de prateleira dos produtos de panificação, inibindo o crescimento de microrganismos. O ácido propiônico e os propionatos de sódio, cálcio e potássio são agentes fungicidas: eliminam os fungos e não tem ação sobre as leveduras, podendo ser adicionados na própria mistura da massa, sem prejudicar a fermentação.

O ácido sórbico e os sorbatos de sódio, cálcio e potássio são agentes fungistáticos, que inibem o desenvolvimento de fungos e de leveduras. Por isso não são utilizados na massa, mas ao final do processo, em aplicação superficial sobre os produtos prontos para serem embalados.

A legislação brasileira permite o uso de propionato até 0,20 g/100 g de farinha e o de sorbato, 0,10 g/100 g de produto.

3. FARINHAS MISTAS EM PANIFICAÇÃO

A farinha de trigo, devido à presença de glúten, possui a capacidade de formar, quando misturada com água, uma massa com características particulares, que nenhuma outro cereal consegue igualar. Por isso, não se pode substituir totalmente a farinha de trigo por outras farinhas, pois o resultado não seria o mesmo. É possível, no entanto, fazer a substituição de parte da farinha de trigo, até um nível onde o efeito sobre as características tecnológicas e sensoriais dos produtos não seja prejudicial. À medida que se acrescentam outras farinhas, de composição e propriedades bem diferentes, à farinha de trigo, o glúten passa a representar uma menor porcentagem na massa, o que causa modificações nas suas características.

Os principais derivados de farinha de trigo são os pães, bolos, biscoitos e as massas alimentícias. Os produtos fermentados (pães e alguns biscoitos) são aqueles cuja qualidade depende diretamente de um bom desenvolvimento do glúten e, por isso, estes produtos são os mais afetados pela adição de outras farinhas. Já os bolos, biscoitos em geral e as massas, têm uma tolerância muito maior à substituição da farinha de trigo.

Serão apresentados a seguir alguns efeitos da adição de farinhas sucedâneas (ou seja, de farinhas substitutas à de trigo) na produção de pães, os fatores que afetam o nível máximo de substituição, bem como alguns resultados obtidos em trabalhos realizados com farinhas mistas pela Embrapa Agroindústria de Alimentos.

3.1. EFEITOS DA ADIÇÃO DE FARINHAS SUCEDÂNEAS

As farinhas sucedâneas podem ser classificadas em dois grupos, as protéicas e as amiláceas, que produzem diferentes alterações de ordem tecnológica e nutricional nos pães. Na primeira categoria, encontram-se os derivados de leguminosas, com especial ênfase nos produtos de soja. O segundo grupo compreende os produtos derivados de outros cereais (milho, sorgo, arroz, etc) e de raízes e tubérculos (batata, mandioca, inhame, etc).

A substituição parcial da farinha de trigo provocará modificações nas características de mistura da massa, determinadas no farinógrafo ou equipamento similar. Poderá ser notado um aumento ou uma diminuição da absorção de água durante a mistura, de acordo com a quantidade adicionada e a capacidade de absorver água de determinada farinha sucedânea. As farinhas amiláceas geralmente absorvem menos água que a

de trigo, a menos que tenham sofrido algum processo de cozimento (gelatinização do amido); apresentam tempo de mistura menor, já que há menor quantidade de glúten a ser desenvolvido. As farinhas com alto teor protéico têm maior capacidade de absorver água e requerem maior tempo de mistura, uma vez que o tempo necessário para a hidratação das proteínas e o desenvolvimento do glúten aumenta. A estabilidade da massa, em ambos os casos, diminui.

As características viscoelásticas da massa também serão alteradas. Quanto maior a quantidade de farinhas amiláceas adicionada, menor será a elasticidade, podendo a extensibilidade manter-se ou decrescer. As farinhas protéicas diminuem a extensibilidade da massa. Se o equilíbrio entre estas duas forças (elasticidade x extensibilidade) for prejudicado, isto acarretará uma queda no volume do pão.

As características de fermentação poderão se alterar, dependendo do teor de açúcares, de amido danificado e de enzimas presentes na farinha adicionada, bem como da capacidade da massa em reter o gás produzido. No caso de adição de farinhas protéicas, normalmente a quantidade de amido e açúcares disponíveis na massa é proporcionalmente reduzida, tornando-se necessário aumentar o tempo de fermentação para a obtenção do mesmo volume do pão.

Podem-se visualizar modificações na qualidade do pão produzido com farinhas mistas, a partir de um certo nível de substituição. As alterações podem ocorrer em vários parâmetros de qualidade:

- **VOLUME:** tenderá a diminuir com o aumento do nível de substituição, bem como a "quebra" ou "pestanda";
- **COR DA CROSTA:** será tanto mais intensa quanto maior a quantidade de proteína e de açúcares existentes nas farinhas sucedâneas;
- **COR DO MIOLO:** será tanto melhor quanto mais clara for a farinha sucedânea (sem pigmentos, contaminações com farelo/casca ou escurecimento enzimático por processamento inadequado). No caso particular da soja, se a farinha utilizada for do tipo enzima-ativa, a cor do miolo poderá ficar mais branca, devido à ação da enzima lipoxigenase sobre os pigmentos da farinha de trigo;
- **GRANULOMETRIA:** o miolo tenderá a ficar mais irregular, devido ao enfraquecimento do glúten;
- **TEXTURA:** o miolo poderá manter-se igual, piorar (ficando pesado e úmido, em caso de absorção de água muito alta ou excessiva ação de alfa-amilase) ou mesmo melhorar (no caso de pequenas quantidades de

farinha de soja). Dependendo da granulometria da farinha sucedânea, poderá também ficar mais grosseira;

- SABOR E AROMA: sofrerão modificações, mais ou menos acentuadas dependendo da farinha utilizada e do nível de substituição.

Do ponto de vista nutricional, sabe-se que a adição de farinhas amiláceas diminui a porcentagem de proteína presente no pão. As farinhas provenientes de outros cereais praticamente não afetarão o equilíbrio de aminoácidos dessas proteínas. Já a adição de farinha de raspa de mandioca, poderá melhorar este balanço, através do acréscimo de lisina, aminoácido em que o trigo é deficiente. Quanto aos derivados de soja, sua adição representa um enriquecimento nutricional ao pão, tanto pelo alto teor de proteínas como pela presença de lisina.

3.2. LIMITE DE SUBSTITUIÇÃO DA FARINHA DE TRIGO

O nível de substituição máximo da farinha de trigo por farinhas sucedâneas é definido em função das alterações na qualidade tecnológica e sensorial que a adição de uma determinada farinha causa ao produto final. Essa alteração é aceitável até um determinado nível (limite de substituição), e é influenciada por uma série de fatores.

O primeiro fator é a qualidade da própria farinha de trigo. Não existe no mercado brasileiro uma matéria-prima padronizada e diferenciada para a utilização em diferentes produtos. Quanto maior a quantidade e a qualidade do glúten, mais tolerante será esta farinha à adição de outras farinhas, o que permitirá empregar níveis mais altos de substituição.

Em relação ao método de panificação, deve-se optar por aqueles que se adaptam melhor a farinhas fracas. O método esponja é o mais tolerante à adição de farinhas sucedâneas, as quais devem ser adicionadas na segunda fase, na mistura da massa. O método rápido (desenvolvimento mecânico) também pode fornecer bons resultados, apenas tomando-se o cuidado de não misturar excessivamente a massa.

O tipo de pão produzido e a formulação utilizada também tem influência, sendo que, quanto mais rica a formulação (maior porcentagem de açúcar, gordura, leite, ovos) maior a tolerância à substituição. O uso de aditivos (emulsificantes, condicionadores, oxidantes) será benéfico para o fortalecimento da massa.

Além disso, as características das próprias farinhas sucedâneas irão afetar o resultado final. Devem ser usadas matérias-primas de boa qualidade,

preferencialmente de cor clara e de granulometria semelhante à da farinha de trigo. Os produtos gelatinizados não são indicados para uso em panificação. Outras características importantes dessas farinhas (como a quantidade de proteína, de amido danificado, de fibras, de açúcares e de enzimas) devem ser conhecidas, de modo a orientar as adaptações de formulação e/ou processamento, quando estas se fazem necessárias.

A Embrapa Agroindústria de Alimentos realizou um estudo utilizando misturas de farinha de trigo com diversas farinhas sucedâneas: raspa de mandioca, soja (desengordurada), sorgo e milho (desengordurada). Os testes foram primeiramente realizados a nível de laboratório e depois estendidos para a planta piloto, sendo também efetuados em padarias e plantas industriais.

No laboratório, fizeram-se testes com substituição parcial da farinha de trigo por 5, 10, 15 e 20% de cada uma das farinhas acima citadas, fazendo-se a avaliação por comparação com um pão padrão (100% trigo). Os parâmetros utilizados foram volume, características da crosta e do miolo, sabor e aroma. Foram determinados os seguintes limites de substituição: 15% para as farinhas de milho desengordurada e de raspa de mandioca, 10% para a farinha de sorgo e 5% para a farinha de soja desengordurada.

Em outras padarias e indústrias, foram feitos testes com pães de forma, nos quais se substituiu 20% da farinha de trigo pelas farinhas citadas (com exceção da de soja). Foi realizado teste sensorial com todos os produtos e os resultados foram os seguintes: os pães com adição de farinha de milho desengordurada, cujo sabor característico foi considerado agradável e benéfico ao produto, foram preferidos ao padrão; a farinha de mandioca praticamente não causou alteração perceptível no sabor; a farinha de sorgo, no entanto, acrescentou um ligeiro sabor amargo ao produto. O nível de substituição, possivelmente, foi um pouco alto, conforme indicado pelos resultados obtidos em laboratório.

Os resultados apresentados, embora válidos, servem apenas como indicativo, já que refletem as condições específicas em que os testes foram realizados. Cada padaria ou indústria trabalha em condições próprias e, devido aos inúmeros fatores que influem na qualidade do produto, não é possível sugerir uma fórmula única que, seguida à risca, fornecerá sempre bons resultados. Aquele que desejar trabalhar com farinhas mistas deverá fazer seus próprios experimentos com a matéria-prima de que dispõe, utilizando seus equipamentos e formulações habituais, tirando suas conclusões a respeito do nível mais adequado de substituição, bem como realizar as adaptações de formulação e processamento que se fizerem necessárias.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONN, E.E.; STUMPF, P.K. **Introdução à bioquímica**. 3. ed. São Paulo: Edgard Bluchner, 1975. 447 p.
- EL-DASH, A.A.; CAMARGO, C.O.; DIAZ, N.M. **Fundamentos de tecnologia de panificação**. São Paulo: Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. 1982. 349 p. (Série Tecnologia Agroindustrial, 6)
- HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**: student edition. St. Paul: AACC, 1986. 327 p.
- EL-DASH, A.; CABRAL, ;C.; GERMANI, R., ed. **Tecnologia de farinhas mistas**: uso de farinha mista de trigo e soja na produção de pães. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CTAA, 1994. 89 p.
- LORENZ, K.J.; KULP, K. , eds. **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. 882p.
- EL-DASH, A.; MAZZARI, M.R.; GERMANI, R. ed. **Tecnologia de farinhas mistas**: uso de farinha mista de trigo e mandioca na produção de pães. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CTAA, 1994. 88 p.
- EL-DASH, A.; MAZZARI, M.R.; GERMANI, R. ed. **Tecnologia de farinhas mistas**: uso de farinha mista de trigo e milho na produção de pães. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CTAA, 1994. 81 p.
- EL-DASH, A.; CAMPOS, J.E.; GERMANI, R. ed. **Tecnologia de farinhas mistas**: uso de farinha mista de trigo e sorgo na produção de pães. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CTAA, 1994. 97 p.
- MATZ, S. A. **Bakery technology and engineering**. 2. ed. Westport: AVI, 1972. 598 p.
- POMERANZ, Y., ed. **Wheat chemistry and technology**. 2. ed. St. Paul: AACC, 198 . 821 p.

PYLER, E. J. **Baking: science and technology.** 3. ed. Chicago: Siebel, 1973.
v. 1-2, 1240 p.

SULTAN, W. J. **Practical baking.** 3. ed. Westport: AVI Publishing Co.,
1984. 599 p.



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

APOIO:

