

Trigo: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado

Foto: Martha Z. de Miranda



Martha Z. de Miranda¹



Introdução

A produção de trigo representa cerca de 30% da produção mundial de cereais. O cultivo do trigo é tão disseminado pelo mundo inteiro que em qualquer mês do ano ele é colhido em alguma parte de nosso planeta. Dos tipos de trigo cultivados, o trigo comum, por sua importância, representa mais de 90% da produção mundial. No Brasil, cultiva-se genericamente o trigo comum, *Triticum aestivum*, L.

Da produção total de trigo, 65% é consumido por humanos, principalmente na forma de farinha branca (72-80% de extração) usada na produção de pães, massas alimentícias, bolos, biscoitos ou como ingrediente na elaboração de inúmeros produtos alimentares. Cerca de 20% é usado para alimentação animal e os restantes 15% são usados como semente e em usos industriais, pequena mas significativa proporção é perdida durante manuseio e processamento pós-colheita (Bushuk, 1986).

A farinha branca possui fraco valor nutricional porque é pobre em vitaminas e minerais e suas proteínas são deficientes em aminoácidos essenciais, o que para populações de países pobres e em desenvolvimento, pode representar um problema, uma vez que a principal fonte alimentar provém de vegetais. Poderia ser feito o enriquecimento e/ou fortificação desta farinha com nutrientes, ou usar processos como a germinação para aumentar o seu valor nutricional.

Em vista da deficiência geral de alimentos no mundo, e mais especificamente da baixa qualidade protéica, é importante pesquisar procedimentos que possam melhorar o valor nutricional e tecnológico de suprimentos alimentares disponíveis, como qualquer tipo de grão de cereal (Dalby & Tsai, 1976).

¹ Pesquisadora da Embrapa Trigo (Parte integrante da Tese de Doutorado na UNICAMP da autora). Caixa Postal 451, Rod. BR 285, km 294, 99001-970 Passo Fundo, RS.

Betschart (1988) afirma que um caminho para elevar o valor nutricional da farinha de trigo é através do aumento da taxa de extração e/ou uso de farinha de trigo integral. Teríamos assim, o efeito benéfico das fibras alimentares e aumento do teor de vitaminas, porém, haveria menor digestibilidade protéica e aumento de fatores antinutricionais, como os fitatos, que se encontram nas camadas periféricas do grão, diminuindo a disponibilidade dos minerais. Contudo, embora a porcentagem de disponibilidade de minerais seja menor na farinha integral do que na farinha de trigo, a quantidade absoluta disponível é maior.

Outra opção, seria a germinação, que é possivelmente, um dos processos mais antigos, simples e econômicos para melhorar o valor nutricional de cereais e leguminosas. Os brotos de vários cereais são usados há muitos séculos em alimentos tradicionais do Oriente e vem se tornando cada vez mais populares no mundo Ocidental (Kumar & Chauham, 1993). Estudos dos benefícios do trigo germinado para a saúde humana (baixando o colesterol plasmático - LDL-colesterol - em pacientes com hipercolesterolemia e atuando na função imune pela redução da resposta inflamatória), e seu uso no desenvolvimento de suplementos alimentares e produtos nutracêuticos vem sendo realizados na Universidade de Alberta, no Canadá. Sugerem também que o trigo germinado possa se tornar um importante ingrediente em gomas de mascar e em outros alimentos (Basu, 1997).

No Brasil, embora a produção de trigo seja voltada para o consumo humano, as freqüentes ocorrências de chuvas no período da colheita, tem mostrado alta incidência de grãos germinados, principalmente na região sul do país, fazendo com que este seja classificado como "Abaixo do Padrão" para a indústria de panificação, sendo descartado ou utilizado para alimentação animal (Brasil, 1994).

A extrusão é uma tecnologia versátil no desenvolvimento de inúmeras variedades de produtos alimentares de baixo custo (Anderson et al., 1971) e oferece a possibilidade de usar trigo germinado, o qual possui fracas propriedades de panificação (Singh et al., 1987; Sekhon et al, 1992). Na extrusão ocorre o processo tecnológico de cocção e os processos químicos de gelatinização do amido e de desnaturação protéica, com conseqüências sobre as características funcionais e nutricionais dos produtos extrusados.

A combinação das tecnologias de germinação e de extrusão, pode ser uma alternativa de aproveitamento para o trigo nacional, tornando possível o emprego das farinhas integrais extrusadas de trigo germinado, como ingrediente ou aditivo alimentar.

O trigo

O *Triticum* é, desde a pré-história, o mais importante dos cereais, sendo provavelmente, a mais antiga planta cultivada. Serviu de sustento de civilizações da Mesopotâmia e do Nilo, e conquistou a Europa (Carvalho & Nakagawa, 1988). Devido a sua adaptação a muitos tipos de solo e climas, sua faixa de cultivo estende-se entre 30 a 60° da latitude Norte e 20 a 40° da latitude Sul, em condições particulares encontra-se também no equador e no círculo polar (Quaglia, 1991).

Os principais produtores de trigo mundiais são China, EUA, Índia, Rússia e França e os maiores exportadores são EUA, Canadá, Comunidade Econômica Européia, Austrália e Argentina (Grain, 1992). No Brasil, o estado do Paraná é o maior produtor nacional, seguido pelo Rio Grande do Sul, representando juntos 94% do total. A produção brasileira de trigo que é cerca de 3 milhões de toneladas anuais, não supre completamente o nosso consumo e mais uma vez em função das chuvas, a safra brasileira de trigo foi reduzida no ano de 1997, alcançando o total final de 2,33 milhões de toneladas contra 3,24 milhões no ano anterior. O Brasil importa trigo, principalmente da Argentina, Canadá, EUA e Europa para suprir o consumo interno, que ultrapassa 8

milhões de toneladas anuais (Germani et al., 1993; Brum, 1998).

Estrutura e composição química

Os cereais assim como os demais membros da família *Poaceae* (antiga nomenclatura *Gramineae*), chamados cariopses ou grãos, produzem frutos secos. No grão identificam-se duas partes muito distintas: o pericarpo e a semente. O pericarpo, recobre a semente e se adere firmemente à capa da semente (testa). Na semente predomina o endosperma ao qual está aderido o germe ou embrião, o conjunto é recoberto pela fina camada de aleurona. A cariopse de todos os cereais se encontra envolta por diversas camadas celulósicas denominadas em conjunto glumas (Hoseney, 1986).

Do ponto de vista tecnológico, o grão de trigo pode ser dividido em três partes distintas: o endosperma (83%), farelo (14%) e germe (3%). Cada parte compreende dois ou mais tecidos anatomicamente diferentes. O endosperma inclui o endosperma amiláceo e a camada de aleurona, o farelo consiste de pelo menos seis tecidos diferentes e o germe geralmente inclui o escutelo e o embrião (Bushuk, 1986).

Os constituintes não se distribuem uniformemente pelo grão. O pericarpo é rico em pentosanas, celulose e cinzas. A aleurona é uma camada rica em cinzas (fósforo, fitato), proteínas, lipídios, vitaminas (niacina, tiamina, riboflavina, piridoxina e ácido pantotênico, além de tocoferol) e enzimas. O endosperma é composto basicamente de amido, mas sua parte mais externa (subaleurona) contém mais proteínas que a porção interna. O germe tem alto conteúdo de proteínas, lipídios, açúcares redutores e cinzas (Germani et al., 1993).

Germinação

Conforme Meredith & Pomeranz (1985) deve-se distinguir entre germinação no campo, maltagem e germinação em laboratório. As condições físicas e as mudanças fisiológicas resultantes diferem nos três tipos de germinação e, segundo estes autores é perigoso transferir conclusões de um tipo de germinação para os outros tipos. Quando o grão começa a germinar na planta de trigo na época de colheita, denomina-se germinação no campo. As terminologias maltagem e germinação são usadas alternadamente na literatura, para descrever o processo de embebição ou maceração com água, de grãos de cereais secos até que eles estejam saturados, seguido pela germinação sob condições controladas por um período específico (Chavan & Kadan, 1989).

De modo genérico a maltagem é uma germinação controlada, seguida pela secagem controlada de uma semente (Hoseney, 1986), como a de trigo, por exemplo. Na maltagem, empenha-se em minimizar o crescimento da semente para evitar a perda de açúcares, causada pelo crescimento e respiração. Ao mesmo tempo é maximizada a degradação do endosperma e a formação de enzimas (Munck, 1981). Estas diferenciações ainda não são aceitas oficialmente e a maioria dos autores usam estes termos indistintamente (Hwang & Bushuk, 1973; Dronzek et al., 1974; Lukow et al., 1985; Sharma et al., 1988; Leelavathi et al., 1990; Sur et al., 1993).

Apesar da germinação ser um fenômeno amplo e complexo, pode ser definida como o processo pelo qual, sob condições apropriadas, o eixo embrionário da semente (como a de trigo), dá prosseguimento ao seu desenvolvimento, que tinha sido interrompido por ocasião da maturidade fisiológica (Carvalho & Nakagawa, 1988).

Para uma semente viável germinar, certas condições devem ser favoráveis: fornecimento adequado de água, temperatura desejável, certa composição de gases na atmosfera, luz (certas sementes) e ausência de inibidores da germinação, as duas primeiras condições são os fatores mais cruciais (Lorenz, 1980). Conforme Mayer &

Poljakoff-Mayber (1989) a faixa ideal de temperatura para a germinação de trigo está compreendida entre 15 e 31°C. Porém, para White (1973) citado por Chavan & Kadan (1989) encontra-se entre 70-80°F (21-27°C), durante 3-4 dias.

A germinação é um processo que envolve tanto reações catabólicas, como a degradação de substâncias de reservas, quanto reações anabólicas na produção de novas células e organelas do embrião (Metivier, 1979). A semente madura e seca (como a de trigo), em estado de quiescência, caracteriza-se pelo baixíssimo nível de atividades metabólicas. Para que a semente abandone este estado e inicie sua germinação, ela passa por um "despertar". Este consiste fundamentalmente de eventos que podem ser sumarizados como: reidratação, em que ocorre a embebição de água pelas células do embrião e endosperma; formação e liberação de enzimas, com a reativação das organelas celulares e macromoléculas e metabolismo das substâncias de reserva, com geração de energia metabólica através do sistema citocromo, levando, ao crescimento e divisão da célula (Meredith & Pomeranz, 1985; Popinigis, 1985).

No processo de absorção de água, embebição máxima durante a maceração das sementes é vantajosa. Porém, água demasiada pode quebrar a casca e afetar a capacidade de germinação (Chavan & Kadan, 1989). O processo de embebição caracteriza-se pelo aumento do volume da semente (o volume de água absorvida é grande em relação ao peso da matéria seca da semente), desenvolvimento de considerável pressão, que é acompanhada pela liberação de calor durante o início da absorção de água (é um processo exotérmico) e o volume final é menor que a soma dos volumes originais da água e da semente. A embebição diminui com o aumento da concentração do soluto na água, devido a efeitos osmóticos. Isto é devido principalmente às proteínas que absorvem a água durante a germinação. A celulose também pode contribuir para o entumescimento, enquanto o amido não tem efeito. A embebição de água pelas sementes reflete em alguma extensão a composição da semente (Levary, 1960 citado por Lorenz, 1980; Popinigis, 1985).

Durante a germinação e o crescimento da semente (como a de trigo), o embrião produz e secreta giberelinas naturais para o endosperma. Estes hormônios induzem o desenvolvimento de enzimas hidrolíticas. A camada de aleurona é a sede da síntese de importantes enzimas que participam na degradação das reservas que se encontram no endosperma. Os primeiros dois dias de germinação coincidem com o máximo movimento de giberelinas do embrião para a aleurona, e por isso a manutenção da umidade é essencial (Meredith & Pomeranz, 1985).

O eixo embrionário da semente possui reservas suficientes para as atividades metabólicas das primeiras 24 horas de germinação. Estas reservas perfazem aproximadamente 20% de seu teor de matéria seca e são constituídas por sacarose, rafinose, lipídios e aminoácidos (Popinigis, 1985). À medida que a germinação progride, o peso total da matéria seca da plântula diminui, acusando perda correspondente à energia empregada nas transformações metabólicas e de transporte, somada às perdas de energia ocorridas durante o processo (Metivier, 1979).

O processo de germinação (como o do trigo), diminui o teor de amido da semente, devido sua transformação em glicídios, porém estes não acumulam, são utilizados em grande parte na respiração, para produção de energia, bem como na síntese de outras moléculas complexas (Popinigis, 1985). Os cereais apresentam quantidades relativamente pequenas de lipídios, basicamente triglicerídios (Drapron et al., 1969); que na germinação são hidrolisados e também não acumulam na semente, sendo utilizados para os processos metabólicos.

As proteínas, por sua vez, são armazenadas em partículas protéicas ou grãos de aleurona. Durante a germinação, ocorre a hidrólise catalisada por proteases. Os aminoácidos resultantes são translocados para os pontos de crescimento, onde são

utilizados diretamente na formação de novas proteínas, ou são oxidados para liberação de energia no Ciclo de Krebs (Popinigis, 1985).

Métodos de germinação

Existem poucos estudos científicos com grãos de trigo germinados no campo (Beléia & Grossmann, 1990; Pieniz et al., 1996; Lima et al., 1998) devido sua complexidade. Alguns caracterizam o material de partida como porcentagem de grãos germinados, contudo os grãos germinados variam muito na quantidade de enzimas. Assim, o mais comum é a utilização de métodos de germinação caseiros e/ou de laboratório (Kruger, 1994).

Diferentes métodos tem sido usados para produzir cereais germinados por processo caseiro, mas basicamente as sementes secas são maceradas em água (1:3 p/v) até que estejam completamente saturadas e após, o excesso de água é drenado e as sementes colocadas em um recipiente ou amarradas em pano para que germinem (Chavan & Kadan, 1989).

Nos experimentos de laboratório tem sido usados condições ideais de germinação e períodos de maceração, germinação e secagem pré-determinados (tabela 1). Assim, pode-se escolher as condições desejadas, como realizar pré-tratamento ou não, macerar ou não os grãos, utilizar o processo de germinação entre papéis, em placas de Petri ou em bacias/bandejas; ou ainda realizar secagem em diferentes temperaturas.

Efeito da germinação na composição química e na qualidade nutricional

A germinação de grãos de cereais causa aumento na atividade enzimática, perda na matéria seca total, mudança na composição em aminoácidos, diminuição do amido, aumento de açúcares, leve aumento em lipídios, fibra bruta e em certas vitaminas e minerais (Morad & Rubenthaler, 1983). O aumento de nutrientes reflete a perda da matéria seca, principalmente sob a forma de carboidratos devido a respiração do grão (Lorenz, 1980). Embora as mudanças quantitativas sejam consideradas aparentes, qualitativamente são mais evidentes e com grande importância nutricional.

Marero et al. (1990) investigaram a quebra do amido em maltoligossacarídeos através do processo de germinação. Os açúcares totais nas amostras de farinha diminuíram após o período de germinação de 4 dias (96 horas) devido a atividade da α -amilase. Os açúcares solúveis aumentaram nas farinhas, isto pode ser atribuído ao aumento da taxa de mobilização de carboidratos solúveis no endosperma dos cereais durante a germinação. Dronzek et al. (1974) observaram consideráveis aumentos nos açúcares livres durante a germinação de trigo e que, mesmo após 8 dias de germinação, nem todos os grânulos de amido foram atacados pelas amilases, havia ainda um grande número de grânulos intactos. Os grânulos de amido próximos a camada de aleurona do grão foram atacados em um estágio inicial e mais severamente que os grânulos no interior do endosperma, sugerindo uma maior atividade da α -amilase na camada de aleurona. A maioria dos ataques foram em grânulos tipo A (grandes), nos estágios iniciais da germinação, diferentemente dos grânulos tipo B (pequenos e esféricos), sugerindo que estes grânulos diferem na estrutura física. Segundo Lineback & Ponpipom (1977) as células da parede do endosperma pareciam ter sofrido hidrólise que não foram observadas durante os estágios posteriores de germinação, quando a degradação dos grânulos de amido no endosperma foram mais extensas.

Tabela 1. Germinação do trigo: pré-tratamentos, maceração, germinação e secagem, segundo diferentes autores.

AUTORES	Pré-Tratamento	Maceração (até %U / duração)	Temperatura de Germinação	Tempo de Germinação	Umidade e Relativa	Secagem (T °C / duração)	Umidade Final	Observações
Bartnik & Szafrńska (1987)	---	---	20°C	6, 16, 26, 48, 72 e 96h	---	38°C	---	---
Corder & Henry (1989)	NaOCl 1% / 20 min.	---	16°C	72h	---	---	---	---
Dalby & Tsai (1976)	etanol 70% / 1 min. + clorox 10% / 3min.	---	28°C - escuro	120h	---	---	---	---
Dronzek et al. (1974)	---	48h	20°C	48, 96 e 192h	---	---	---	Remoção de raízes e coleóptilo
Finney & Rubenthaler (1979)	---	42%U	25°C	23, 30, 38, 44 e 55h	---	45°C / 8-12h	7-9%	Farinha integral
Hamad & Fields (1979)	---	48h	20°C	72h	---	50-55°C / 48h	---	Germinalão entre papéis / farinha integral / sementes não germinadas descartadas
Kruger & Matsuo (1982)	---	2h	18°C	72-120h	100%	22°C	10,5%	---
Leelavathi et al. (1990)	---	16h / 25°C	25-27°C	24, 48 e 72h	60-65%	35°C	10%	armazenamento a 4°C
Lukow & Bushuk (1984)	NaOCl 2%/ 15 min.- 20°C	16h / 4°C	21°C	18, 35 e 54h	67%	---	---	Remoção de raízes e coleóptilo
Lukow et al. (1985)	NaOCl 2%/ 15 min.- 20°C	16h / 4°C	21°C	18, 35 e 54h	67%	---	---	---
Marsh et al. (1988)	12,5 g.L ⁻¹ NaOCl / 2h	---	30°C - escuro	48h	---	---	---	Germinação entre papéis
Sethi & Bains (1978)	solução de CaO 0,05%	42%U / 20°C	20°C	72, 120 e 168h	---	40°C	---	Raízes removidas
Sharma et al. (1988)	---	8h / 30°C	30°C	24 e 48h	80%	32°C	14%	---
Singh & Sosulski (1985)	---	44%U / 72h / 15°C	15°C	48, 120 e 192h	95%	85°C/4h e resf.20°C 55°C/20min,	---	Raízes removidas
Singh et al. (1987)	---	8h / 32°C	32°C	24 e 48h	75%	80°C / 15min.	12%	---
Singh & Bains (1988)	---	44%U / 25h	15°C	120h	95%	50°C / 20h	---	---
Tkachuk (1979)	NaOCl 1,25% / 15 min.- 20°C	21h / 16,5 e 25°C	16,5 e 25°C	24 e 122h	98%	---	6-8%	---

OBS: %U= porcentagem de umidade; NaOCl= solução de hipoclorito de sódio; CaO= solução de óxido de cálcio; --- = não citado

Os teores de fibra alimentar em farinhas de trigo sem germinar foram estudados por Nyman et al. (1984) que investigaram os teores fibra alimentar em farinhas de trigo vermelho duro de inverno, com diferentes taxas de extração pelo método enzimático-gravimétrico de ASP, encontrando 12,1% de fibra alimentar total na farinha com 100% de extração, sendo o conteúdo de fibra solúvel cerca de 1,3%, independente do grau de extração, mostrando que os polissacarídios solúveis provém essencialmente do endosperma. Os principais componentes da fibra alimentar da farinha com 100% de extração foram: xilose (36%), glicose (33%) e arabinose (24%), contudo a composição foi similar nas diferentes taxas de extração, sugerindo que a razão xilose-arabinose no endosperma e nas camadas mais externas é similar. Porém, estas proporções variam nas diferentes variedades de trigo.

Em estudo interlaboratorial os teores de fibra alimentar em farinha integral de trigo determinados através de método enzimático-gravimétrico, variaram de 5,33 a 16,98%, sendo o valor médio das análises de 30 laboratórios, 12,92% (Prosky et al., 1984). Prosky et al. (1985) verificaram um teor de 12,57% de fibra alimentar total em farinha integral de trigo e Ranhotra (1994) encontrou 10,2%.

Não foram encontrados dados de literatura sobre os teores de fibra alimentar em farinhas de trigo germinado. Contudo, Ranhotra et al. (1977) encontraram um aumento na fibra bruta de 2,70% na farinha controle para 4,30%, macerando o trigo por 2 dias e deixando germinar por 4 dias a 23°C. Kumar & Chauham (1993) também relataram que o teor de fibra aumentou proporcionalmente ao período de germinação e que o desaparecimento do amido, o desenvolvimento de radículas e seu crescimento adicional, podem resultar em tecido fibroso aumentando assim o conteúdo de fibra dos brotos.

Danisová et al. (1994) sugeriram que os componentes das matérias-primas que contém fibra na sua composição (lignina, celulose) são construídos dos polissacarídios (principalmente amido), uma vez que o conteúdo de carboidratos solúveis diminuiu durante a germinação em pelo menos 1%. Entretanto, para Lorenz (1980) e Chavan & Kadan (1989) o aumento no conteúdo de fibra pode ser explicado com base na degradação da parede celular durante a germinação, não havendo nenhuma evidência de que os componentes da fibra como celulose e lignina sejam sintetizados dos carboidratos durante a germinação.

Proteínas

As diferenças na composição em aminoácidos do trigo e proteínas da farinha são afetadas pela taxa de extração da farinha, sistema de moagem e também em menor proporção pelas propriedades de moagem de trigos de várias classes e variedades (Shoup et al., 1966). Entre os fatores que podem contribuir para as variações no conteúdo de proteína de farinhas de cereais germinados estão: espécies e cultivares, temperaturas de germinação, método de germinação, tempo de maceração e porcentagem de germinação (Chavan & Kadan, 1989).

Beresh (1969) citado por Hwang & Bushuk (1973) mostrou que a degradação das proteínas do glúten durante a germinação ocorre primariamente como resultado da quebra das ligações peptídicas. Subseqüentemente, isto poderia levar a uma quebra de ligações secundárias (iônicas, de hidrogênio e hidrofóbicas), conhecidas por contribuírem para a estrutura física do glúten. Na maioria dos estudos a proteína total aumentou durante a germinação de cereais. Isto tem sido atribuído a perda de matéria seca através da respiração durante a germinação ou a uma alteração das substâncias nitrogenadas, ao invés de aumento real de proteínas (Lorenz, 1980).

Dalby & Tsai (1976) estudaram a mudança no teor de proteínas de vários cereais germinados por 5 dias a 28°C no escuro, encontrando um aumento no conteúdo de

proteína, proporcional ao tempo de germinação. Resultados semelhantes foram obtidos por Ranhotra et al. (1977) que verificaram o aumento no teor de proteína em farinha de trigo germinado, obtida pela maceração do trigo em água destilada por 2 horas, germinação por 3 a 5 dias a 23°C no escuro, liofilização e moagem.

Nielsen et al. (1978) citados por Chavan & Kadan (1989) encontraram teores aumentados de proteína com o aumento do tempo de germinação, teores de 12,9% de proteína (N x 5,7) em trigo sem germinar aumentaram para 13,5; 13,3 e 14,7% em trigo germinado à 20 °C por 48, 96 e 240h, respectivamente. Lemar & Swanson (1976) obtiveram concentrações de proteína e cinzas aumentadas em relação a farinha controle em farinhas integrais de trigo vermelho duro de inverno, germinado por 1 e 3 dias.

Em farinhas brancas de trigo mole germinado por 48 e 96 horas, Lorenz & Valvano (1981) obtiveram teores de cinzas e proteína aumentados em relação a farinha sem germinar e Leelavathi et al. (1990) encontraram aumentos significativos nos teores de proteína e cinzas em farinhas brancas de trigo macerado por 16 horas e após germinado por 24, 48 e 72 horas. Hwang & Bushuk (1973), no entanto, encontraram uma pequena perda de proteína, em farinha de trigo macerada por 2 dias e então germinada por 2, 4 e 8 dias a 20°C. A diminuição no teor de proteínas foi atribuído a perda de compostos nitrogenados de baixo peso molecular, por aumento da atividade proteolítica devido ao longo período de maceração dos grãos. Assim o tempo de maceração explicaria as diferenças no conteúdo protéico como resultado da germinação. Observaram também que durante a germinação na hidrólise das prolaminas, aminoácidos como a prolina e o ácido glutâmico são convertidos em lisina.

Sharma et al. (1988) também encontraram diminuições significativas nos conteúdos de proteína e cinzas de farinhas brancas produzidas de trigo germinado por 24 e 48 horas a 30°C. Contudo, os teores de proteína, cinzas e lipídios dos grãos de trigo germinados dos quais foram produzidas estas farinhas pouco se alteraram. A diminuição de proteína foi atribuída ao processo de moagem de grãos germinados que levou a menores recuperações, quando comparados com a amostra controle e/ou a perda de compostos de nitrogênio de baixo peso molecular (ou seja, a solubilização de proteínas durante a maceração), já os menores teores de cinzas podem ter sido consequência de perdas na lavagem no processo de maceração e ao uso dos ions inorgânicos durante a respiração.

Danisová et al. (1994) embora não tenham verificado aumento significativo no teor total de proteína durante a germinação do trigo por 48 e 96 horas, observaram aumentos nos conteúdos de aminoácidos essenciais (5-23%) e totais (para alguns aminoácidos acima de 50-100%), comprovando, que no processo de germinação a degradação de proteína ocorre, tornando o alimento mais facilmente digerível. Segundo Mayer & Poljakoff-Mayber (1989), as sementes secas (como as de trigo), possuem poucos aminoácidos livres. O crescimento do embrião na semente em germinação, depende de um fornecimento de aminoácidos para a síntese protéica e a principal fonte para esta síntese são as proteínas de armazenagem, mas sua relação de aminoácidos não é necessariamente igual a proteína recentemente sintetizada e, aparentemente ocorre interconversão de aminoácidos. Os principais caminhos para esta interconversão são as reações de transaminação e desaminação.

Durante a germinação no escuro, as proteínas são hidrolisadas em aminoácidos, parte destes aminoácidos são desaminados oxidativamente e o esqueleto carbono entra em vários ciclos respiratórios e carbônicos. A amônia formada pela desaminação é detoxificada pelo processo de formação de amida. As principais amidas formadas são a glutamina e asparagina, dependendo da planta. Porém, nem todos os aminoácidos são desaminados, parte é utilizada para a síntese de proteínas na região de crescimento da semente (Mayer & Poljakoff-Mayber, 1989).

As mudanças no conteúdo de aminoácidos durante a germinação de cereais têm sido muito estudadas. Chavan & Kadan (1989) afirmaram que a maioria dos aminoácidos essenciais diminuem com a germinação, exceto a lisina, que aumenta notavelmente. Tsai et al. (1975) observaram um grande e rápido aumento dos aminoácidos limitantes em cereais, lisina e triptofano, durante os 4 primeiros dias de germinação de milho normal e o teor destes aminoácidos foi comparável aos valores encontrados em milhos com alto teor de lisina.

Sementes de sorgo e milho germinadas a 25, 30 e 35°C apresentaram níveis aumentados de lisina, metionina e triptofano quando comparadas com sementes não germinadas (Wang & Fields, 1978). Tkachuk (1979) determinou os níveis de aminoácidos livres em sementes de trigo germinado por 2, 4, 12, 24, 48, 72, 100 e 122 horas, encontrando que a germinação prolongada causa grandes aumentos nos níveis de todos aminoácidos livres, com exceção do triptofano e ácido aspártico. Explicou que este aumento nos aminoácidos livres se deve ao acréscimo nos níveis de enzimas proteolíticas durante a germinação. Os maiores aumentos foram exibidos pela prolina e glutamina.

Miller (1978) citado por Chavan & Kadan (1989) relataram um aumento no conteúdo de lisina de 15 a 27% após 7 dias de germinação com aumento maior em trigos com baixos teores protéicos e menor em variedades de altos teores protéicos. Tais variações nos resultados podem ser atribuídos as variações nos procedimentos usados para germinação, porcentagem de germinação e vigor das sementes. A variação no conteúdo protéico devido a fatores agrônômicos ou causa genética pode também ser importante na extensão do aumento de lisina nos grãos durante a germinação.

A extensão do aumento de lisina parece estar diretamente relacionado com a quantidade de prolaminas presente e sua taxa de mobilização (Chavan & Kadan, 1989). Dalby & Tsai (1976) notaram que, durante a germinação de trigo por 5 dias, o teor de lisina aumentou e de prolamina diminuiu, sugerindo uma aparente correlação entre o conteúdo de prolamina, sua taxa de mobilização e a extensão de aumento de lisina.

Miladi et al. (1972) encontraram para o trigo, 2,47 g/100g de lisina e 2,82 g/100g de treonina e teor de amônia de 3,73 g/100g, e WU et al. (1984) obtiveram para trigo branco mole de inverno, 3,2 g/100g de lisina e 3,3 g/100g de treonina. Entretanto, Danisová et al. (1994) obtiveram teores mais elevados, para o trigo foi encontrado 3,42g/100g de lisina e 3,02g/100g de treonina e para o trigo germinado, 4,06 e 3,59 g/100g, respectivamente. Os resultados obtidos por Marero et al. (1988ab) mostraram que a combinação de farinhas de cereais e leguminosas na proporção 70:30 fornecia eficiente complementação de aminoácidos, próximos aos valores de referência da FAO, exceto para os aminoácidos sulfurados, treonina, lisina e triptofano.

A análise química dos aminoácidos livres nos hidrolisados ácidos de um alimento pode fornecer uma boa estimativa da quantidade total de cada aminoácido que ele contém. Contudo, as quantidades que podem realmente ser de valor nutricional são menores, devido a uma fraca digestibilidade da proteína, e também, possivelmente, porque os aminoácidos individuais estão presentes em ligações químicas (isto é., na forma ligada) que são liberadas por digestão à quente em presença de ácido forte, mas não pelas enzimas digestivas no intestino. O segundo tipo de problema ocorre particularmente com unidades de lisina que ainda tem grupo amino primário reativo quando ligado a uma cadeia peptídica. Durante o processamento de alimentos, este grupo pode sofrer reações de Maillard com açúcares redutores ou outros compostos aldeídicos e, sob condições mais severas, formar imidas com compostos que tenham grupos carboxila livres. Isto pode ser de importância nutricional uma vez que a lisina é o primeiro aminoácido limitante nos cereais (Carpenter et al., 1989).

Quando o teor de lisina da dieta é insuficiente, limita o crescimento de animais. Em muitos alimentos, a lisina é o aminoácido limitante não somente pelas pequenas quantidades que são incorporados das proteínas durante a biossíntese, mas também em consequência de mudanças químicas secundárias devido a fatores como luz, calor, álcali e açúcares redutores tornando a lisina nutricionalmente indisponível. A lisina é nutricionalmente disponível quando o grupo α -amino está livre. Se este grupo estiver bloqueado através de uma ligação química, o segmento da proteína próximo ao resíduo de lisina afetado pode não ser digerido (Holguin & Nakai, 1980).

Miladi et al. (1972) obtiveram para o trigo o escore químico de 35 e 91% de disponibilidade de lisina (2,47 g/100g de lisina e 2,25 g/100g de lisina disponível), próximo da faixa de 89 a 94% encontrada por Taverner & Farrell (1981a) para grãos de trigo de variedades diferentes. Já Taverner & Farrell (1981b) encontraram valores médios de 86% de lisina disponível no trigo.

As mudanças que ocorrem durante a germinação são causadas por várias enzimas presentes na semente seca e tornam-se ativas no momento da embebição de água. As enzimas hidrolíticas predominam durante os primeiros estágios do processo de germinação. Estas incluem, enzimas que degradam carboidratos, como α e β -amilases, endo- β -glucanase, dextrinase limite, proteases e lipases. Entre as enzimas que hidrolisam carboidratos, a α -amilase é a principal enzima que hidrolisa amido (Chavan & Kadan, 1989). Corder & Henry (1989) avaliaram enzimas que degradam carboidratos durante a germinação de trigo, notando que a atividade enzimática (α -amilase, β -glucanase e β -xilanase) aumentou após 4 dias de germinação. Porém, a atividade diminuiu quando os grãos foram secos a 30°C. Temperaturas mais altas podem inicialmente acelerar a produção de algumas enzimas até que a umidade ou temperatura tornem-se limitantes, reduzindo assim a aparente perda de atividade.

No estudo da atividade lipolítica no decorrer da germinação observou-se que a atividade lipolítica ocorre no coleóptilo; durante a germinação no escuro, a degradação de lipídios pela lipase fornece uma importante fonte de energia, compensando assim em parte a falta de energia radiante; a 30°C a atividade lipolítica dos grãos germinados no escuro foi bem maior do que a 15°C (Drapron et al, 1969).

O método de germinação pode ser uma maneira de converter proteínas vegetais de fraca qualidade nutricional em proteínas de melhor qualidade, para uso humano e animal. No entanto, segundo Lorenz (1980), os resultados neste sentido não têm sido encorajadores. A maioria dos estudos em animais não mostraram diferenças significativas de ganho de peso, quando se comparou animais (gado, porcos e frangos) alimentados com cereais germinados e os que usaram cereais não germinados na alimentação. Enquanto experimentos com outros animais não mostraram tais melhoras e dados com humanos não são disponíveis, a maioria dos experimentos "in vitro" com *Tetrahymena* e com ratos, indicaram melhoras nutricionais através da germinação (Chavan & Kadan, 1989).

A qualidade protéica dos alimentos depende não somente de sua composição em aminoácidos mas também da disponibilidade destes aminoácidos. A lisina é o aminoácido limitante do trigo. O valor nutritivo relativo (RNV), medido por *Tetrahymena pyriformis* e o conteúdo de lisina disponível, medida por hidrólise com *Pediococcus cerevisiae*, para farinha integral de trigo feita de trigo germinado à 20°C por 3 dias, foram significativamente mais altos do que para farinha de trigo não germinado, indicando assim, uma melhora na qualidade protéica (Hamad & Fields, 1979).

Quanto mais longo o período de germinação de cereais e leguminosas, maior a digestibilidade de suas farinhas. Desta maneira, o aumento da digestibilidade protéica "in vitro" foi causado pela redução efetiva de fatores antinutricionais através da germinação, em adição aos tratamentos de calor durante a preparação de farinhas e elaboração dos alimentos (Abbey & Mark-Balm, 1988; Marero et al., 1991a).

Lipídios e estabilidade ao armazenamento

Wu & Wall (1980) não observaram mudanças no conteúdo de lipídios durante a germinação de grãos de sorgo. Contudo, Lemar & Swanson (1976) e Ranhotra et al. (1977) encontraram maiores teores de lipídios em FITG por 3 e 5 dias, respectivamente, o que atribuíram ser consequência da síntese de lipídios é oriunda da degradação do amido.

Diferenças no tempo de maceração e condições de germinação podem causar mudanças no produto armazenado. Entretanto, em todos os estudos com trigo, o conteúdo final de lipídios de grãos germinados foi superior ao de grãos não germinados. O aumento no conteúdo de lipídios tem sido atribuído a síntese destes originada da degradação do amido (Lorenz, 1980).

O grão saudável, armazenado adequadamente conserva-se como uma fonte alimentar por meses ou mesmo anos. O trigo germinado e armazenado em condições inadequadas pode induzir a mudanças que levam a problemas de rancidez nas matérias-primas ou em produtos feitos delas (Galliard, 1983).

As mudanças deteriorativas nos grãos podem ser oxidativas, resultando em odores e sabores de rancidez típicos, ou hidrolíticas, resultando na produção de ácidos graxos livres. Os grãos contêm antioxidantes ativos que protegem contra os efeitos do oxigênio, assim a rancidez oxidativa raramente é um problema em grãos armazenados. Porém, a farinha de trigo integral pode ser mantida por um período relativamente curto, porque rapidamente rancifica devido sua maior quantidade de lipídios (Pomeranz, 1974).

A rancidez pode ser conceituada como uma avaliação organoléptica subjetiva da qualidade do alimento. Os "off-flavours" relacionam-se às mudanças que resultam da reação com o oxigênio atmosférico, isto é, rancidez oxidativa, ou pelas reações hidrolíticas catalisadas pelas lipases do alimento ou dos microrganismos. Os efeitos das reações hidrolíticas podem ser minimizados pelo processamento e armazenamento adequados, já a rancidez oxidativa ou autooxidação, é uma reação química com baixa energia de ativação (4-5 kcal.mole⁻¹ para o primeiro passo e 6-14 kcal.mole⁻¹ para o segundo passo), em que a velocidade da reação não é significativamente diminuída pelas condições de processamento e armazenamento (Hamilton, 1983).

Sur et al. (1993) verificaram que o teor de lipídios de farinhas controle e de trigo germinado por 24 e 48 horas não apresentou diminuição significativa com o armazenamento por 0, 45, 90 e 135 dias. Contudo, os ácidos graxos livres em farinhas germinadas estocadas aumentaram significativamente após 135 dias de armazenamento e o aumento foi mais pronunciado do que nas farinhas não germinadas, mostrando que as primeiras deterioram mais rapidamente durante um longo período de estocagem. Foi sugerido que o aumento na acidez pode ser devido a quebra enzimática dos lipídios.

Molteberg et al. (1995) notaram que a acidez titulável aumentou significativamente com o aumento da umidade relativa e o tempo de armazenamento de aveia branca processada. Usaram o hexanal, o principal produto volátil da oxidação lipídica com a maior alteração durante o armazenamento e processamento, como um indicador do conteúdo total de produtos de oxidação. A concentração de hexanal nas amostras de aveia aumentou durante o armazenamento, paralelamente ao aumento nos níveis de ácidos graxos livres.

Fritsch & Gale (1977) na determinação de hexanal em produtos cereais com trigo (cereais matinais) encontraram no tempo zero, 0,03 ppm e após 20 e 32 semanas, 0,72 e 3,97 ppm de hexanal, respectivamente. Concluíram que a velocidade de oxidação lipídica de produtos desidratados é afetada não somente por sua composição

mas também pelo teor de umidade, condições de processamento, área de superfície e outros fatores desconhecidos. Observaram que outros picos apareceram no cromatograma e aumentaram proporcionalmente a deterioração.

Cinzas e minerais

O aumento do teor de cinzas durante a germinação (de sementes, como as de trigo), é considerado aparente, devido à diminuição do conteúdo total de amido, já um decréscimo pode ser atribuído a perdas durante a maceração e lavagens. As mudanças quantitativas em um elemento mineral individual e sua forma química durante a germinação, podem ser mais importantes que as mudanças no teor de cinzas total. Um aumento em todos os elementos minerais é, claramente devido a perda de peso seco e, portanto, pode ser tratado como aparente (Chavan & Kadan, 1989).

AHMAD et al. (1994) no estudo da concentração de elementos traços em grãos de trigo encontraram 0,36 % de potássio; 38,9 ppm de ferro, 2,6 ppm de cobre e 24,2 ppm de zinco (ou 360; 3,89; 0,26; 2,42 mg/100g, respectivamente). Van Dokkum et al. (1982) mostraram que, com exceção do cálcio, o balanço mineral, o qual reflete a disponibilidade, é significativamente maior na farinha integral do que na farinha de trigo.

Danisová et al. (1994) encontraram decréscimo de ferro (30-60%) e de cálcio (8-12%) e um acréscimo de fósforo (9-16%) em trigo germinado por 48 e 96 horas. Ranhotra et al. (1977) na avaliação de minerais em trigo germinado, encontraram aumentos nos teores de cinzas totais, cálcio e zinco; já os teores de ferro e magnésio diminuíram até o terceiro dia, voltando a aumentar a partir do quarto dia de germinação.

A germinação de feijão cowpea levou a aumentos significativos nos teores de fósforo (20%); zinco (4,5%) e magnésio (3,5%). Uma diminuição foi observada para o cálcio (5,1%) e ferro (3,5%), porém, estas reduções não foram estatisticamente significativas. O aumento de fósforo devido a germinação pode ser explicado pelo aumento de atividade da enzima fitase, que hidrolisa o fosfitato liberando o fósforo. As diminuições observadas no cálcio e ferro, bem como no potássio, podem ser devido a utilização para o crescimento do broto ou perdas na água durante a maceração. A redução no fitato pode aumentar a biodisponibilidade de cobre, magnésio, ferro, manganês e zinco, que formam complexos com fitato (Akinlosotu & Akinyele, 1991).

Vitaminas

O trigo germinado é rico em vitaminas do complexo B e também contém alguma pró-vitamina A e vitaminas D e E (Pomeranz & Robbins, 1971 citados por Chavan & Kadan, 1989). A farinha de trigo não contém quantidades detectáveis de ácido ascórbico, enquanto o trigo germinado possui pequenas quantidades desta vitamina (Lorenz, 1980).

Foram verificados que os aumentos significativos nos teores de vitamina C (834%), provocados pela germinação, ocorreram devido à produção desta vitamina para o crescimento dos brotos. Notou-se também um aumento no teor de niacina (237%) após 96 h de germinação (Akinlosotu & Akinyele, 1991). Contudo, Lemar & Swanson (1976) não encontraram ácido ascórbico na farinha de trigo germinado, verificando somente aumentos significativos nos teores de tiamina e riboflavina em relação ao controle. Concluíram que o aumento na concentração de vitaminas devido a germinação é de importância nutricional para pessoas que preferem intensificar os nutrientes para o enriquecimento do alimento.

Marero et al. (1991a) verificaram que a germinação diminuiu o conteúdo de tocoferóis de cereais, especialmente o de δ -tocoferol. Sugerem que os tocoferóis podem ter sido concentrados na área do germe e utilizados durante a germinação.

As variações nos teores de vitaminas dependem do tipo de cereal, cultivar, qualidade da semente e condições de maceração e germinação. A maioria dos trabalhos, concordam que a germinação geralmente melhora o valor vitamínico. Porém, o aumento quantitativo em cada vitamina pode ser pequeno e o significado prático, em se encontrar os requerimentos nutricionais para as dietas com base em cereais é difícil de ser avaliado, em ensaios de alimentação (Chavan & Kadan, 1989).

Outros constituintes

O fitato está presente em todos os cereais, contém de 50-85% do conteúdo total de fósforo e afeta negativamente a biodisponibilidade de muitos elementos essenciais, tais como cálcio, ferro e zinco. O fósforo fitato não está disponível para absorção humana a menos que os grupos fosfato tenham sido removidos da molécula de inositol (Ravindran et al., 1994 citados por Fredlund et al., 1997). A fitase está inativa no cereal seco, mas é ativada quando a umidade aumenta, sua atividade ótima é a 55°C e pH 5,1 (Bartnik & Szafranska, 1987). Assim, processos como maceração e germinação freqüentemente levam a degradação do fitato e aumento na disponibilidade de minerais (Sandberg, 1991 citado por Fredlund et al., 1997).

Visto que o ácido fítico está concentrado no germe e camada de aleurona ou no pericarpo das células dos grãos de cereais, este antinutriente é, portanto, destruído durante a germinação, porque o germe está envolvido fisiologicamente no crescimento da planta. Marero et al. (1991a) observaram que na preparação da farinha, o conteúdo de ácido fítico diminuiu significativamente devido ao processamento e, o cozimento, para preparação de mingau elaborado com cereais germinados por 96 horas, eliminou totalmente o ácido fítico. As mudanças nas atividades da fitase e o conteúdo de fitato em cereais foram determinados durante a germinação por Bartnik & Szafranska (1987). O teor de fosfitato em trigo foi de 2,84-3,45 mg/g. Este valor diminuiu após 72 horas de germinação para 2,32-2,61 mg/g. A atividade da fitase no trigo aumentou aproximadamente 4,5 vezes, após 4 dias de germinação.

Fredlund et al. (1997) verificaram redução de 46% do fitato (inositol hexafosfato) em grãos integrais de trigo após incubação em água (pH 6-7) a 55°C por 24 horas e quando tampão acetato (pH 4,8) foi usado ocorreu a redução de 91% e Mellanby (1950) citado por Fredlund et al. (1997) encontraram que o fitato em grãos integrais de trigo foi reduzido em 84% após maceração em tampão acetato, pH 4,5 a 45 °C por 12 horas. Em trigo moído incubado nas mesmas condições o fitato foi completamente degradado dentro de 1 hora.

Zhou & Erdman (1995) estudaram os efeitos do ácido fítico na saúde, verificando que este tem alguns efeitos protetores, como diminuição do risco de câncer de cólon e redução do colesterol do soro e dos triglicerídios, em ensaios com animais. Além de ser considerado um antioxidante natural e ter funções potenciais na redução da peroxidação lipídica e como preservativo em alimentos.

Os polifenóis e taninos são conhecidos por inibirem várias enzimas hidrolíticas, como a tripsina, quimiotripsina, amilases, celulase e β -galactosidase. Em adição, eles se ligam com proteínas formando complexos proteína-tanino, tornando a proteína indisponível. (Salunkhe et al., 1982 citados por Chavan & Kadan, 1989). Os cereais contém quantidades muito pequenas de taninos, mesmo assim, a atividade antitriptica de arroz e milho diminuiu significativamente ($p < 0,05$) durante a germinação por 96 horas. Nenhuma atividade foi encontrada nas amostras de farinhas de arroz e somente traços na farinha de milho. A mais alta atividade antitriptica foi encontrada em leguminosas

sem germinar, porém, esta atividade diminuiu significativamente após 96 horas de germinação. O cozimento destruiu a atividade de inibidores de tripsina das farinhas (Marero et al., 1991b).

Respostas positivas de atividade fitohemaglutinina foram encontradas em amostras de arroz, milho e leguminosas sem germinar em uma titulação de 100.000 µg de amostra/ml. Amostra germinadas por 24 horas mostraram resultados negativos, exceto o milho. Em todos os estágios posteriores de germinação (48, 72 e 96 h) nenhuma atividade de hemaglutinação foi observada (Marero et al., 1991b).

Com base nas mudanças na composição centesimal, aumentos nos teores de certos aminoácidos essenciais e vitaminas do grupo B, degradação parcial de proteínas e amido, diminuição de fatores antinutricionais, melhora da PER (taxa de eficiência protéica) e RNV (valor nutritivo relativo), bem como melhora no valor biológico e utilização de nitrogênio em ratos, pode ser razoavelmente aceito que o valor nutritivo de cereais seja melhorado pela germinação (Chavan & Kadan, 1989).

Efeito da germinação na qualidade tecnológico

O processo de germinação resulta em muitas mudanças fisiológicas, sendo que duas destas mudanças são tecnologicamente muito importantes do ponto de vista do processamento de alimentos. Uma delas é a formação de enzimas, através da síntese de novo ou reativação de enzimas pré-existentes em estado latente, que causa excessiva degradação dos componentes bioquímicos necessários para produzir um produto final satisfatório, como pão e manifesta seus efeitos diretamente durante o processamento. A segunda mudança é a degradação das reservas de armazenagem da planta "in situ" e significa que componentes bioquimicamente importantes foram danificados antes do processamento iniciar, por exemplo, se as proteínas do glúten foram danificadas, é comum que ocorra uma deterioração na qualidade do pão (Kruger, 1994).

A maioria dos estudos em relação ao trigo cita a preocupação com a germinação pré-colheita e os efeitos deletérios na farinha usada para panificação. A germinação no campo tem como principal consequência a perda quantitativa de rendimento e a deterioração da qualidade da farinha (Lukow & Bushuk, 1984; Sharma et al., 1988). A diminuição no rendimento de farinha total quase sempre ocorre. Leelavathi et al. (1990) verificaram uma queda de 68,3 para 62,8 devido a germinação por 72 horas e Lukow & Bushuk (1984) e Hwang & Bushuk (1973) obtiveram resultados semelhantes. Singh et al. (1987) relataram um aumento de aproximadamente 2% no rendimento de farinha na germinação por 48 horas e Sharma et al. (1988) concluíram que a germinação por 48 horas não afetou o rendimento.

Beléia & Grossmann (1990) no estudo da germinação pré-colheita de trigo observaram um progressivo aumento da produção de farinha de quebra com o aumento do nível de germinação, devido à hidrólise do endosperma tornar o grão mais friável, permitindo que mais farinha seja produzida pela ação dos rolos de quebra. Quando a germinação foi superior a 20%, as massas tornaram-se pegajosas e difíceis de manusear, resultando em pães com miolo úmido, células do miolo muito abertas e crosta excessivamente escura, o que pode ser atribuído à excessiva degradação do amido, com liberação de açúcares e dextrinas. Conforme Singh et al. (1987), a alta produção de gás, a partir dos açúcares fermentáveis, aliada à fragilidade do glúten, seria a responsável pelas células abertas.

A cor do miolo de pães tornou-se mais escura e a textura granulosa com níveis mais altos de germinação. O miolo de pães feitos com farinhas de trigo extensivamente germinado foi descrito como pegajoso e gomoso devido a uma excessiva quebra de amido (Ibrahim & d'Appolonia, 1979 citados por Lorenz, 1980).

Farinhas de trigo de grãos germinados, tem mostrado efeitos prejudiciais na massa, nas propriedades do pão e pastas alimentícias. Estes problemas são atribuídos ao excesso de atividade de α -amilase formada durante a germinação (Lorenz, 1980). Houve uma diminuição na qualidade de pães feitos com 100% de farinha de trigo germinado, o volume e a qualidade global do pão diminuíram proporcionalmente com o aumento do período de germinação. A adição de 5% de farinha germinada, no entanto, melhorou o volume do pão sem afetar outras características (Ranhotra et al., 1977).

Sharma et al. (1988) germinaram trigo em laboratório por 24 e 48 horas, produzindo misturas com farinha de trigo comercial em várias proporções. A mistura com 10-30% de grãos germinados produziu substancial melhora no volume de pães e bolos, porém, biscoitos não foram afetados pela mistura.

Bartnik & Szafranska (1987) sugeriram a possibilidade de utilização de grãos de cereais germinados como uma fonte potencial de fitase para aumentar a hidrólise de fitato durante a panificação, especialmente de pães preparados com materiais ricos em fitato, como farinha com alta taxa de extração, farelo, germe, farinha de soja, concentrados de soja e trigo, etc. Porém, concluíram que embora a atividade da fitase aumente extensivamente durante a germinação dos grãos, esta atividade não causa uma correspondente hidrólise do fitato porque durante a fermentação da massa (pH 6,7/ 30°C), nem o pH, nem a temperatura são ótimas para a atividade da fitase (pH 5,1/ 55°C).

A capacidade de absorção de água dá uma indicação da quantidade de água disponível para a gelatinização. Uma menor capacidade de absorção é desejável para tornar o produto mais fino quando disperso em água (Kulkarni et al., 1991). Leelavathi et al. (1990) observaram pelas características farinográficas de farinhas brancas de trigo que ocorreu uma redução na capacidade de absorção de água de 62,3 para 55,0% durante a germinação por 72 horas.

Lorenz & Kulp (1981) propuseram a modificação de amidos de milho, cevada e triticale pela germinação dos grãos antes do isolamento do amido. A extensão da modificação dependeu do tempo de germinação. A capacidade de ligar água dos amidos diminuiu inicialmente e então aumentou novamente com tempos de germinação mais longos. O poder de entumescimento diminuiu, enquanto a solubilidade e a suscetibilidade enzimática dos amidos aumentaram com a germinação. Estes amidos gelatinizaram numa temperatura mais baixa e numa faixa mais estreita do que os amidos de cereais não germinados. Valores de "Falling Number" (FN) e viscosidade amilográfica diminuíram devido a germinação dos grãos antes do isolamento do amido.

Leelavathi & Haridas-Rao (1988) obtiveram valores de FN de 422 para farinha integral de trigo e 62 para FITG e Leelavathi et al. (1990) observaram que os valores de FN diminuíram suavemente na maceração do trigo por 16 horas, de 492 para 301 e a germinação por 24 horas diminuiu o valor para o mínimo de 62. Lorenz & Valvano (1981), Lukow & Bushuk (1984) e Shashikumar et al. (1993) também chegaram as mesmas constatações.

As farinhas de cereais germinados apresentam baixa viscosidade, porque, os carboidratos complexos são hidrolisados em açúcares mais simples durante a germinação. Os açúcares são facilmente disponíveis para a absorção e a quantidade de energia e densidade total de nutrientes obtida por unidade de volume de alimento aumenta. Isto pode ser benéfico para pessoas com limitada capacidade digestiva e que não podem comer muito para ter suas necessidades de nutrientes (Asiedu et al., 1993).

Em países em desenvolvimento, os alimentos infantis são geralmente muito espessos e portanto, freqüentemente diluídos com água antes de serem dados às crianças, a conseqüente baixa densidade energética de tais alimentos levam a reduzida ingestão

de calorias e proteína e é uma importante causa do baixo crescimento na infância (dos 6 meses aos 2 anos de idade) (Latta & Eskin, 1980).

A viscosidade das farinhas germinadas pode ser reduzida a qualquer nível desejado dependendo da extensão da germinação, tornando o processo especialmente adequado para elaboração de alimentos para crianças que estão passando de uma dieta líquida (leite materno) à uma dieta semi-sólida branda (Desikachar, 1980; Moussa et al., 1992). A viscosidade dos alimentos infantis dentro da faixa de 1000 e 3000 cps (centipoises), na qual o mingau varia de um estado líquido a semi-sólido, isto é, “free-flowing”, é considerada ideal para alimentação de crianças após o desmame (Moshá & Svanberg, 1983 citados por Marero et al, 1988b).

Gopaldas et al. (1988) estudaram a produção de um alimento rico em amilase à base de trigo, observando que o processo é simples e barato podendo ser facilmente transferido do laboratório para nível caseiro em regiões pobres. Contudo, a tostagem (804 °C) dos grãos germinados foi necessária e a farinha rica em amilase tostada teve capacidade amilolítica mais do que suficiente para reduzir a densidade dos mingaus tradicionais.

Outros autores também produziram farinhas ricas em amilase a partir de grãos germinados para adição em alimentos infantis com redução da viscosidade: John & Gopaldas (1988) e Wahed et al. (1994) à base de trigo; Pedersen et al. (1989) à base de cevada; Gopaldas et al. (1988) à base de arroz e Malleshi et al. (1989) e Kulkarni et al. (1991) à base de sorgo e “cowpea”.

A germinação torna o grão mais friável e o tamanho de partícula da farinha diminui. Conforme Kulkarni et al. (1991) o tamanho de partícula é um aspecto importante de qualquer mistura granular que requer reconstituição com água. Nos tamanhos de partículas menores, a área mais superficial está disponível para a absorção de água. Um pó mais fino tende a formar mais grumos e tomar mais tempo e energia para fazer uma boa dispersão. As partículas muito grandes tornam a dispersão mais grosseira. Uma ótima distribuição do tamanho de partícula é essencial para que se obtenha a melhor aceitabilidade. Assim, os alimentos infantis comerciais produzidos com tamanhos de partícula maiores que 250 μ produziram menos grumos do que tamanhos menores quando misturados em água.

Além disso, segundo Larsson & Sandberg (1995) o “flavour” desenvolvido pelos procedimentos de maceração de cereais é também importante na produção de alimentos mais atraentes: um gosto mais aceitável pode ser desenvolvido.

Farinha integral de trigo germinado

A farinha integral é o produto resultante da moagem do cereal limpo, com extração máxima de 95% e teor máximo de cinzas de 1,75% (BRASIL, 1978).

Finney & Rubenthaler (1979) empregaram farinha integral de trigo maltado como suplemento na produção de pães. O aumento do tempo de germinação diminuiu o tempo de fermentação e o tempo de descanso. O volume do pão e outras propriedades de panificação diminuíram com o aumento dos níveis de farinha integral de trigo germinado.

Leelavathi & Haridas-Rao (1988) utilizaram farinha integral de trigo germinado para produzir “chapati” (produto panificado semelhante a uma “panqueca chata”, consumido na Índia e Paquistão). Observaram pela granulometria, que o trigo tornou-se mais friável com a germinação (maior quantidade de partículas finas). As características químicas da farinha mostraram que o conteúdo de glúten foi reduzido durante a germinação de 9,4 para 8,8 %, provavelmente, devido à degradação durante a germinação; os açúcares redutores e a atividade diastática aumentaram no trigo

germinado. A farinha obtida de trigo germinado necessitou menos água (59,4%) do que a farinha integral controle (68,6%) para preparar a massa de “chapati”; conseqüentemente, o rendimento de “chapati” foi menor. A menor absorção de água foi, possivelmente, devido à degradação do glúten bem como da perda de carboidratos. Chapati feito com trigo germinado armazenado por 4 dias apresentou melhor textura e aceitabilidade global, provavelmente devido ao maior teor de açúcares e dextrinas que conferem maior capacidade de reter água.

Os pesquisadores da Embrapa-CNPISA de Concórdia-SC, usaram o trigo germinado no campo (cultivar EMBRAPA 16) para rações de suínos e aves, não encontrando interferência do grau de germinação no desempenho dos animais (Pieniz et al., 1996 e Lima et al., 1998). A composição química em base úmida do trigo com 14% de grãos germinados foi: 86,99% de matéria seca (88,45% do trigo controle), 12,82% de proteína bruta (11,03% controle), 1,35% de extrato etéreo (1,57% controle) e 3,20% de fibra bruta (2,91% controle).

Extrusão

Entre os processos empregados industrialmente para produção de farinhas pré-cozidas destaca-se a extrusão termoplástica. O processo de extrusão H.T.S.T. (altas temperaturas, tempos curtos) é uma tecnologia que teve origem na indústria de plásticos e muitos dos modelos e teorias foram desenvolvidos com polímeros (Harper, 1981).

O extrusor de rosca única foi primeiramente aplicado no processamento de alimentos em 1935, para extrusão contínua de pastas alimentícias. Desde então, tem sido aumentado grandemente o uso de extrusão na indústria de alimentos, particularmente naqueles processos que requerem cozimento ou gelatinização em algum estágio, como na preparação de "snacks", cereais, pastas, produtos de confeitaria, alimentos animais, suplementos protéicos e análogos a carne (Rossen & Miller, 1973).

O extrusor de alimentos tem sido descrito como um reator de fluxo contínuo que trabalha a altas temperaturas e pressões em combinação com a força de cisalhamento e, conteúdos de umidade relativamente baixos, capaz de processamento de biopolímeros e misturas de ingredientes (Chen et al., 1991).

De acordo com El-Dash (1981), a extrusão termoplástica de alimentos é definida como o processo contínuo no qual o cisalhamento mecânico é combinado com calor para gelatinizar amido e desnaturar materiais protéicos, como conseqüência eles são plastificados e reestruturados para obtenção de produtos com novas texturas e formas. As funções do extrusor de alimentos incluem, além da gelatinização/cozimento, quebra molecular, mistura, esterilização, dar forma e inflamento/secagem (Rossen & Miller, 1973).

O uso do processo de extrusão apresenta inúmeras vantagens: versatilidade, alta produtividade, baixo custo, produtos com formas variadas, alta qualidade por evitar perdas de nutrientes, produção de novos produtos e principalmente, não produzem efluentes (Harper, 1979). Através de simples passagem pelo aparelho, materiais brutos podem ser convertidos em produtos completamente expandidos ou em produtos semi-acabados, se necessário (Flickinger, 1991). Os resultados dependem do tipo de extrusor usado, do tipo de produto extrusado e dos parâmetros de extrusão considerados (Andersson et al., 1981).

Apesar das muitas vantagens do processo de extrusão, o seu controle é complicado devido a natureza complexa dos alimentos e às inúmeras variáveis envolvidas (Vilela & El-Dash, 1987). As variáveis do processo de extrusão que controlam diretamente os atributos de qualidade do produto são chamadas variáveis independentes ou fatores, já as variáveis dependentes ou respostas, mudam como conseqüência das variáveis

independentes (Huber, 1991). Portanto, certas características do produto final podem ser melhor controladas por uma escolha adequada dos parâmetros de extrusão (Meuser, 1994).

As variáveis independentes compreendem os ingredientes alimentares, umidade da matéria-prima, geometria do parafuso, configuração da matriz, velocidade do parafuso, temperaturas das jaquetas, pré-condicionamento (aquecer com vapor ou umedecer) e taxa de alimentação e as variáveis dependentes incluem viscosidade, taxa de cisalhamento, taxa de fluxo, pressão, energia, tempo de residência, temperatura e características do produto (Harper, 1981).

Entre as características do produto encontramos, conteúdo de umidade final (que afeta a vida de prateleira e estabilidade), expansão (que afeta volume, tamanho e forma), solubilidade (influenciada pela aderência e coesão), absorção (de água, leite, gordura), cor (clareza), sabor (forte, suave, rançoso) (Huber, 1991), densidade (razão da massa pelo volume), textura (sensação na boca, estrutura da célula, é a combinação de propriedades como fraturabilidade, dureza, coesividade, adesividade, elasticidade, gomosidade e mastigabilidade) (Harper, 1981).

Os modelos de extrusores são variados, como também é variado o tipo de produto que eles produzem. Apesar destas diferenças, o processo de extrusão HTST pode ser pensado, como ocorrendo em 3 fases, as quais correspondem as seções ou zonas apropriadas do parafuso do extrusor. O material a ser extrusado entra primeiro na seção de mistura. Nenhum cozimento é iniciado, nesta fase ocorre a mistura do material alimentado, que é comprimido para preencher os espaços que circundam o parafuso e conduzir uniformemente o material. A próxima seção é a de transição. A pressão, taxas de cisalhamento e temperatura aumentam rapidamente nesta seção, no final o material está com 100°C ou mais. Na última seção em geral as temperaturas geralmente continuam a aumentar. O parafuso comprime e mistura adicionalmente o produto, para assegurar que ele deixará a matriz homogênea. A rápida saída para temperatura ambiente e queda da pressão causam evaporação da umidade do extrusado, expandindo o produto. A quantidade de água perdida durante o processo varia, dependendo primariamente da temperatura da última seção e da geometria da matriz. Em geral, aproximadamente 7 a 8% de umidade é perdida (Faubion et al., 1982).

Na figura 1 pode-se observar o desenvolvimento de farinha de trigo na zona de cozimento.

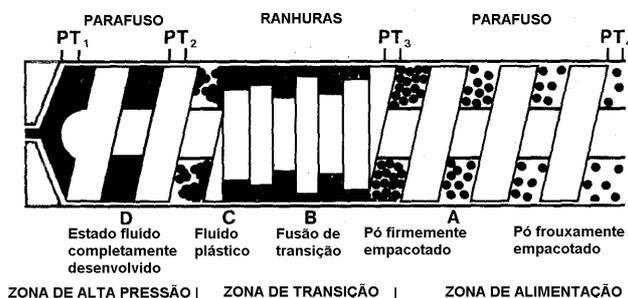


Fig 1. Observação do desenvolvimento de farinha de trigo na zona de cozimento.
FONTE: Adaptado de Guy (1989).

Efeito da extrusão na composição química e na qualidade nutricional

As influências da extrusão na composição química e na qualidade nutricional de alimentos e rações alimentares pode ter efeitos positivos e negativos. Revisões sobre as mudanças químicas que afetam a nutrição durante a extrusão foram publicadas por

Cheftel (1986), Camire et al. (1990), Kokini (1993). A Tabela 2 resume estas mudanças.

Tabela 2. Efeitos da extrusão termoplástica

EFEITO EM:	POSITIVO	NEGATIVO
Carboidratos	Modificação do amido Aumento da digestibilidade Desenvolvimento de “flavour”	Reação de <i>Maillard</i> (não enzimático) Hidrólise
Proteínas	Aumento da digestibilidade Desnaturação	Destruição de aminoácidos Reação de <i>Maillard</i> , ligações cruzadas Formação de lisinoalanina
Lipídios	Aumento da digestibilidade Formação de complexo lipídio-amido	Aumento da rancidez Destruição de PUFAS
Fibras	Aumento da digestibilidade Decréscimo de volume Destruição de fitatos	Aumento da digestibilidade Decréscimo de volume
Vitaminas		Destruição
Minerais	Aumento da biodisponibilidade	
Microrganismos	Destruição	
Enzimas	Inativação, p.ex. lipase, peroxidase, lipoxigenase, mirosinase, urease	Inativação, p.ex. amilase, fitase
Fatores antinutricionais	Inativação, p.ex. inibidores de tripsina, lectinas	
Componentes tóxicos	Inativação, p.ex. glucosinolato, gossipol, glicoalcalóides, aflatoxina	
“Flavour”	Redução de “flavours” indesejáveis	Perda de “flavours” desejáveis

FONTE: Killeit (1994).

Amido

O amido é o principal componente de alimentos a base de cereais, que são produzidos por diferentes processos, entre eles a extrusão. Neste processo, os grânulos de amido são gelatinizados e/ou retrogradados e tem grande efeito na qualidade, especialmente na textura.

Os grânulos de amido sofrem gelatinização e fusão, por ação do calor e umidade nas pontes de hidrogênio entre as cadeias polissacarídicas firmemente ligadas na estrutura do grânulo. Sob condições de excesso da água, as pontes de hidrogênio nas regiões amorfas do grânulo, menos ordenadas, são rompidas primeiro, permitindo que a água se associe com grupos hidroxila livres. Isto é notado pela mobilização da cadeia polimérica e pode ser chamado transição vítrea, Tg. A água leva ao entumescimento e à aberturas adicionais da estrutura do grânulo. A fusão da fração cristalina resulta num desaparecimento completo da birrefringência, a qual é irreversível. O colapso final do grânulo é notado pela liberação dos conteúdos gelatinizados dentro do meio de cozimento. A viscosidade do meio aumenta rapidamente até que a maioria dos grânulos esteja desmanchada, resultando em um produto opaco (Camire et al., 1990).

Em resumo, a principal mudança que ocorre no amido durante o processo de extrusão é a ruptura de regiões cristalinas no grânulo, seguida pela perda de integridade e, no caso dos amidos de cereais, a formação de complexos lipídio-amilose (Mitchell & Areas, 1992), que diminuem a digestibilidade e a solubilidade dos amidos cozidos (Galloway et al., 1989).

Os lipídios polares interagem com as cadeias lineares de amilose para inibir o entumescimento e a hidratação do grânulo. Este efeito está relacionado ao comprimento da cadeia hidrocarbonada: cadeias curtas de lipídios polares podem acelerar a taxa de gelatinização, enquanto cadeias médias e longas inibem o entumescimento dos grânulos (Camire et al., 1990). Extrusados completamente gelatinizados podem ter solubilidade de 80 a 90%, o que pode apresentar uma sensação de goma no paladar. O uso de lipídios na extrusão parece ter algum

potencial para melhorar a textura dos extrusados à base de amido, por diminuir a solubilidade em água e modificar o perfil de viscosidade (Mercier & Feillet, 1975; Cheftel, 1986).

Os conteúdos de amilose e amilopectina são conhecidos por terem um amplo efeito na expansão do extrusado. Cereais com baixos níveis de amilose tem propriedades de expansão superiores aos ricos em amilose. As proteínas podem influenciar a gelatinização do amido, assim o glúten de trigo aumenta a absorção de água e a gelatinização é maior (Camire et al., 1990).

De acordo com Cheftel (1986), as modificações físico-químicas nos grânulos de amido e constituintes devido a extrusão, levam a mudanças reológicas e texturais e, aumento da digestibilidade e disponibilidade como uma fonte de energia.

Proteínas

De acordo com Mitchell & Areas (1992), durante o processo de extrusão as mudanças estruturais nas proteínas ocorrem na seguinte sequência: desnaturação, associação, ruptura de algumas ou todas associações pelo calor e cisalhamento para formar uma solução concentrada ou fase fundida, possível formação de algumas ligações covalentes a altas temperaturas, formação de ligações não covalentes e pontes dissulfeto sobre resfriamento e, transição de regiões amorfas para o estado vítreo se o conteúdo de umidade for suficientemente baixo.

A melhora na digestibilidade protéica devido a desnaturação é a principal modificação físico-química e a diminuição da disponibilidade de lisina devido a reações de Maillard é a principal mudança química que ocorre devido a extrusão (Cheftel, 1986).

A desnaturação é qualquer mudança na conformação de uma proteína que não envolve quebra de ligações peptídicas. Tipicamente, grupos hidrofóbicos são expostos durante a desnaturação, resultando numa diminuição da solubilidade da proteína em soluções aquosas. A desnaturação expõe novos sítios para o ataque enzimático, melhorando assim a digestibilidade.

A reação química entre açúcar redutor, como glicose, frutose, lactose ou maltose e, um grupo amino livre ou um aminoácido, geralmente do grupo ϵ -amino de lisina, tem importantes consequências nutricionais e funcionais. Esta reação conhecida como escurecimento não enzimático, é na realidade uma série de reações com uma ampla variedade de compostos resultantes. Durante a extrusão, estas reações são favorecidas pelas condições de alta temperatura e cisalhamento, em combinação com baixa umidade. O amido e açúcares não redutores, como a sacarose podem ser hidrolisados durante a extrusão para formarem açúcares redutores. Isto foi sugerido de ser a causa da perda de lisina nas farinhas extrusadas (Camire et al., 1990).

O efeito do processo de extrusão no valor nutricional das proteínas de farinha de trigo e farinha integral de trigo foi estudada por Björck & Asp (1984), que encontraram pela análise de aminoácidos uma retenção de lisina de 63 a 100%. Sugerem que a perda de lisina sob condições severas de processamento é consequência da formação de carboidratos redutores através da hidrólise do amido (ou seja, devido a dextrinização do amido), que podem participar da Reação de Maillard.

De acordo com Andersson et al. (1981) um aumento na taxa de cisalhamento durante a extrusão de uma mistura amido/glúten/farelo levou também a um aumento do gosto de queimado, o que pode corresponder a níveis mais altos de compostos de Maillard e, consequentemente menores teores de lisina.

Kokini et al. (1994) desenvolveram diagramas de estado para proteínas de cereais que permitem predizer as fases do material que podem ser esperadas durante o processo de extrusão. Estes diagramas descrevem o conteúdo de umidade e região de

temperatura na qual cada componente protéico pode sofrer a reação apropriada, assim em produtos em que a crocância é necessária pode-se conhecer a região vítrea, pode-se saber também os estados físicos da glutenina durante a extrusão e o armazenamento.

Lipídios

Teores elevados de lipídios previnem a expansão dos alimentos extrusados, que contém, na maioria das vezes, menos de 6 a 7% de lipídios logo após a extrusão. Níveis baixos (aproximadamente 5%) promovem uma extrusão constante e melhoram a textura (Cheftel, 1986).

Quando lipídios ou alimentos contendo lipídios são aquecidos na presença de oxigênio, sofrem oxidação devido a degradação dos ácidos graxos. Os radicais livres produzidos nestas reações de oxidação podem reagir com proteínas, vitaminas ou outros constituintes e reduzir a qualidade nutritiva do alimento. Contudo, a destruição de sabor e cor por estas reações são as principais perdas nutricionais que podem ocorrer (Lillard, 1983).

Assim, o valor nutricional dos lipídios poderia ser afetado durante a extrusão, como resultado de oxidação, hidrogenação, isomerização ou polimerização. De acordo com Maga (1978) citado por Cheftel (1986), a extensão de hidrogenação e isomerização cis-trans de ácidos graxos durante a extrusão é muito pequena para ser nutricionalmente significativa. A inativação de lipase e lipoxidase durante a extrusão ajuda a proteger contra a oxidação durante o armazenamento, mas a porosidade dos extrusados é prejudicial com respeito a rancidez. A extrusão reduz a extratibilidade de lipídios, o que pode ser em parte devido a formação de complexos lipídio-amilose (Cheftel, 1986).

Outros constituintes

Os açúcares tendem a ligar a água necessária para a gelatinização do amido. Portanto, o tempo e a temperatura necessários para gelatinizar os amidos em produtos extrusados pode aumentar. O açúcar pode também complexar-se com proteínas, causando reações de escurecimento, contudo as temperaturas de extrusão são normalmente baixas o suficiente e as umidades altas o bastante para que as reações de escurecimento não sejam um problema durante a extrusão. Os açúcares podem também ser usados para controlar a atividade de água em produtos extrusados devido sua natureza hidrofílica (Huber, 1991).

A biodisponibilidade dos minerais é variável e a extensão pela qual a extrusão pode afetar sua biodisponibilidade é ainda incerta. A influência da extrusão na absorção mineral é complexa devido a muitos fatores que afetam a absorção (Camire et al., 1990). As mudanças químicas nos constituintes das fibras são complicadas pelos muitos métodos de análise. Entretanto, a extrusão não muda os níveis significativamente, apenas tem-se notado um leve aumento na fibra solúvel (Björck & Asp, 1984).

Enquanto a fibra possui efeitos nutricionais benéficos, consumo em excesso pode levar a balanço negativo de minerais. Os fitatos são comumente associados com a fibra alimentar e têm sido mostrado que as fibras podem complexar quantidades significativas de minerais sob certas condições de pH (Camire et al., 1990). Foi encontrada uma redução de 13-35% no conteúdo de fitato, após a extrusão de uma mistura de glúten, amido e farelo de trigo (Andersson et al., 1981).

As enzimas dos farelos de sementes (contém lipases, peroxidases e outras enzimas), são inativadas com sucesso pela extrusão, o que é crucial para o uso dos farelos em

alimentos. Em geral, aumentando a temperatura de extrusão, diminui a atividade enzimática, mas há diferenças nos padrões de inativação de enzimas termolábeis e termoestáveis (Killeit, 1994).

O mesmo autor verificou em relação às vitaminas que considerável degradação pode ocorrer. A retenção de vitaminas durante a extrusão diminuiu com: aumento da temperatura e da velocidade do parafuso e diminuição da umidade e do diâmetro da matriz. As vitaminas hidro e lipossolúveis são caracterizadas pela variabilidade de seu comportamento frente ao calor, oxigênio e luz (Gueriviere et al., 1985). As vitaminas mais sensíveis ao processo de extrusão são A, E, C, B1 e ácido fólico, enquanto B2, B6, B12, niacina, pantotenato de cálcio e biotina são mais estáveis (Schlude, 1987).

Entre as vitaminas lipossolúveis, a vitamina A ou retinol parece ter sua estabilidade favorecida com o aumento da velocidade do parafuso do extrusor. Notou-se destruição mínima de tocoferol em extrusados de farinha de soja rica em gordura. Os tocoferóis podem também ser adicionados antes da extrusão para proteger materiais sensíveis a oxidação durante o processo (Camire et al., 1990).

As vitaminas hidrossolúveis são sensíveis ao calor e mudança de pH. Porém, conforme Harper (1988) citado por Camire et al. (1990) as perdas destas vitaminas devem ser pequenas porque materiais termolábeis são capazes de resistir às condições de extrusão HTST. As vitaminas B6 e B12, niacina, pantotenato de cálcio e biotina, parecem ser afetadas minimamente pelas condições de extrusão. A vitamina C é facilmente destruída, devendo ser adicionada após a extrusão (Camire et al., 1990).

Os alimentos extrusados são considerados microbiologicamente estáveis devido sua reduzida umidade e sua baixa atividade de água (Likimani et al., 1990). De acordo com Camire et al. (1990), o calor produzido durante a extrusão destrói os microrganismos presentes no material cru. A extrusão é muito efetiva na redução da contagem total em placa especialmente no número de *Escherichia coli* por 100 g. Testes de sobrevivência de esporos de *Bacillus stearothermophilus*, que é usado como um indicador da habilidade de um processo térmico para destruir bactéria, comprovaram o efeito esterilizante da extrusão.

A extrusão reduz a alergenicidade dos alimentos por desnaturação das proteínas que causam reações alérgicas (Camire et al., 1990). Também diminui os níveis de alquilresorcinóis, compostos isolados de grãos cereais, que inibem o crescimento em várias espécies animais (Lorenz & Al-Ruqaie, 1992). Nutricionalmente, este processo tem efeito positivo na digestibilidade dos alimentos e na inativação de substâncias indesejáveis e/ou fatores tóxicos. É usado na preparação de alimentos nutricionalmente enriquecidos ou balanceados (Camire et al., 1990).

Efeito da extrusão na qualidade tecnológica

Os componentes dos alimentos são muito importantes para a qualidade tecnológica dos produtos extrusados. As proteínas são importantes para a elasticidade, retenção de gás e estrutura celular, adesividade, extensibilidade, absorção de água, ligação e mesmo expansão. Os amidos são importantes principalmente para adesão, coesão e expansão. Os lipídios são críticos para densidade volumétrica e expansão. A fibra é usada para controle da densidade e da textura em adição ao seu especial valor nutritivo (Shukla, 1998).

Segundo Mercier & Feillet (1975), a temperatura de extrusão e a umidade da matéria-prima, são as mais importantes variáveis do processo que afetam as características do produto. Na extrusão de griz de milho observaram que à medida que a temperatura de extrusão aumentou, o índice de solubilidade em água (ISA) aumentou. As mudanças no índice de absorção de água (IAA) e na expansão foram similares com valor máximo entre 180 e 200°C. Com o aumento do conteúdo de umidade da matéria-prima (de 10,5

para 28,5%), aumentou o IAA e diminuíram o ISA (de 35 para 20) e a expansão (de 6,2 para 1,5).

Whalen et al. (1997) observaram que a principal mudança em um material contendo amido durante a extrusão é alguma parte refletida por sua solubilidade e absorção em água. Verificaram uma forte correlação entre os dados de viscosidade medida pelo RVA e o torque, bem como com a expansão de produtos à base de cereais.

Segundo Lewis (1993) a densidade aparente de um produto depende de uma série de fatores como a densidade de seus componentes, a geometria, o tamanho, as propriedades de superfície e o método de medida.

Bhattacharia & Hanna (1985) relataram que amidos com uma mistura de 50% amilose e amilopectina apresentaram as melhores características de expansão. Quando o conteúdo de amilose diminuiu, a densidade volumétrica também diminuiu, indicando que a expansão global aumentou.

Alvarez-Martinez et al. (1988) verificaram na extrusão de sêmola de milho em temperaturas de 150 à 170°C, uma redução na expansão radial e aumento na axial. Lue et al. (1990) notaram que a adição de fibra, resultou em fraca formação e baixa retenção de bolhas de ar. Conseqüentemente, houve diminuição da expansão radial e um aumento da densidade volumétrica dos produtos.

As mudanças na viscosidade necessitam ser levadas em conta, particularmente quando se utilizam processos que implicam aquecimento, esfriamento e homogeneização, porque a viscosidade pode mudar consideravelmente nestas operações. A medida da viscosidade definida como a resistência em fluir é, importante para o controle de qualidade (Lewis, 1993).

Moore et al. (1990) mostraram que a viscosidade aparente de massa à base de farinha de trigo extrusada não variou significativamente quando a concentração de farelo aumentou de 0 para 16%, mas diminuiu notavelmente quando o conteúdo de sacarose aumentou de 0 para 18%. Wang et al. (1993) determinaram a viscosidade a 37°C no RVA em suspensões de trigo integral sem extrusar e extrusado, verificando que as primeiras foram menos viscosas do que as últimas.

A resistência à ruptura do extrusado está relacionada a evaporação de água superaquecida na saída da matriz. Quando esta é instantânea, antes da solidificação da estrutura, confere ao produto uma textura porosa e expandida. Quando é lenta, permite uma solidificação da estrutura antes que ocorra um grau adequado de expansão, o que limita a expansão do produto que tem a sua estrutura compactada (Chang, 1989).

Um maior teor de fibra produz um extrusado mais compacto com paredes celulares espessas e células de ar pequenas, conseqüentemente, uma maior força de cisalhamento é observada. Para Jin et al. (1995) a força de cisalhamento dos extrusados pode estar relacionada a sua microestrutura. Geralmente, a espessura da célula da parede parece corresponder bem a textura do produto; células da parede mais espessas produzem maior força de cisalhamento.

Li & Lee (1996) encontraram uma dureza de $5,473 \pm 0,407$ kg em extrusados de farinha de trigo comercial (branca) com 14% de proteína, produzidos em extrusor de dupla rosca, com 16% de umidade, 185°C e umidade da farinha após a extrusão 3,87%. Isto pode indicar que os extrusados de farinha integral de trigo germinado são mais duros que estes, provavelmente, em conseqüência das modificações decorridas da germinação.

Extrusão de farinha de trigo

Wang et al. (1993) extrusaram farinha integral de trigo encontrando pequenas reduções na fibra alimentar total (determinada através de método enzimático-gravimétrico nº 32-07) (American, 1995). A solubilidade protéica diminuiu nas amostras extrusadas, já os teores de amido digerível enzimaticamente e de absorção de água foram mais altos nas amostras extrusadas do que nas sem extrusar. Embora a viscosidade à 95°C da suspensão de trigo integral (determinada no RVA - Rapid Visco Analyser) tenha sido muito mais baixa nas amostras sem extrusar, o mesmo não aconteceu a 37°C, onde foi muito mais viscosa.

Ryu & Walker (1995) observaram o efeito das condições de extrusão em extrusor Brabender, de laboratório de rosca única nas propriedades físicas de extrusados de farinha de trigo. Encontraram um aumento significativo na expansão com o aumento do conteúdo de umidade de 18 para 25%. Faubion (1980) citado por Ryu & Walker (1995) sugere que os componentes remanescentes da farinha, lipídios e proteína (glúten), poderiam exercer dois efeitos sobre a expansão de farinha de trigo, competindo com o amido pela água disponível ou interferindo com a capacidade de fusão termoplástica do amido, para expandir ou manter células de ar grandes com paredes finas na saída da matriz do extrusor. Além disso, notaram que a força de quebra diminuiu significativamente com o aumento da temperatura do processo e a densidade volumétrica aumentou quando a temperatura foi elevada de 120 para 130°C, e então dramaticamente declinou nas temperaturas do processo de 140 a 160°C. Esta redução pode ter resultado de um aumento na natureza plástica do glúten acima de 140°C.

Dahlin & Lorenz (1993b) estudaram a digestibilidade protéica “in vitro” de grãos de cereais extrusados. Foi usado um extrusor Brabender de rosca única, com matriz de 4,76 mm de diâmetro e taxa de compressão de 3:1. Os produtos de trigo mais digeríveis, foram produzidos nas seguintes condições de extrusão: 15% de umidade, temperatura de extrusão de 80/100°C e velocidade do parafuso de 100 rpm. A melhora na digestibilidade “in vitro” do trigo, não foi influenciada pela umidade, houve somente efeito da temperatura de extrusão. Em geral, o aquecimento melhora a digestibilidade das proteínas pela desnaturação, expondo novos sítios para o ataque enzimático.

A digestibilidade de carboidratos “in vitro” de trigo extrusado não respondeu uniformemente aos níveis de umidade e temperatura. Combinações específicas de condições operacionais do extrusor produzem a mais alta digestibilidade. Uma interação significativa entre temperatura e umidade indicou que o aumento mais favorável da digestibilidade para o trigo ocorreu em temperatura do processo de 100/150°C e conteúdo de umidade de 25% (Dahlin & Lorenz, 1993a).

Kim & Rottier (1980) verificaram a modificação de semolina de *Triticum aestivum* em extrusor de rosca única. Notaram que a matéria solúvel e a solubilidade dos carboidratos da farinha aumentaram significativamente com o aumento da temperatura e as proteínas hidrossolúveis diminuíram. A mais alta temperatura de extrusão correspondeu a maior capacidade de absorção de água. Sugerem a aplicação das farinhas extrusadas como ligante para produtos cárneos, em croquetes de carne e em bolos com grande quantidade de ovos.

Farinha integral extrusada de trigo germinado

Em patente alemã de 1980, foi descrito que, grãos de cereais, por exemplo, trigo para panificação, foram germinados, secos em temperatura inferior a 60°C até 18-22% de umidade, moídos grosseiramente e extrusados a aproximadamente 160°C. O produto obtido pode ser misturado com farinha comum para ser usado como aditivo para panificação (Werner & Mertz, 1980).

Singh et al. (1994) estudaram o efeito da temperatura (145, 160, 175 e 190°C) no comportamento de extrusão de farinhas de trigo sem germinar e germinado por 24 e 48 horas, concluindo que as farinhas de trigo germinado podem ser usadas com vantagem na produção de extrusados. Os extrusados de farinha de trigo germinado, apresentaram-se mais macios na textura, tiveram escores de aceitabilidade global significativamente mais altos, maior expansão e menor densidade do que os extrusados de farinha de trigo sem germinar. Por outro lado, aumentando a temperatura além de 160°C, houve uma grande redução no diâmetro de todos os extrusados. A mais alta expansão dos extrusados produzidos com farinha de trigo germinado pode ser devido a hidrólise de proteínas por enzimas proteolíticas e amido por enzimas amilolíticas durante a germinação (Singh et al., 1987), produzindo viscosidade mais baixa no fundido pseudoplástico dentro do extrusor e, conseqüentemente maior expansão na saída da matriz Sekhon et al. (1992).

Miranda (1998) estudou o efeito do tempo de germinação do trigo (32, 48, 72, 96 e 112h), do teor de umidade (16, 18, 21, 24 e 26%) e da temperatura de extrusão (106, 120, 140, 160 e 174°C) através de delineamento central composto rotacional (DCCR), da metodologia de superfície de resposta (MSR), na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral. Observou que o processo de germinação do trigo provocou diminuição da qualidade tecnológica do trigo para panificação, porém melhora na qualidade nutricional, demonstrada pelo aumento no teor de proteína, cinza, açúcares, lisina, riboflavina e piridoxina, além da produção de substâncias antioxidantes (mostrado pela maior estabilidade da farinha a rancificação). Com o processo de extrusão ocorreu melhora na digestibilidade, devido ao pré-cozimento, sendo a umidade da farinha e a temperatura de extrusão as variáveis que mais afetaram as características tecnológicas do produto. Concluiu que o processo de germinação combinado ao de extrusão tornou possível a obtenção de farinhas integrais extrusadas de trigo germinado com características tecnológicas diversificadas, com ampla aplicação em alimentos, por exemplo, podem ser usadas como ingrediente em formulações ou como aditivo alimentar, ou mesmo na forma de mingaus, neste último caso necessitando apenas da adição de água. Como foram obtidas farinhas semelhantes em condições experimentais de germinação e extrusão diferentes, possibilita selecionar aquelas mais viáveis economicamente, também poderá servir para abrir portas para estudos futuros empregando o trigo germinado no campo, aumentando o seu valor agregado, pois comumente este é usado para ração animal ou descartado.

Referências bibliográficas

ABBEY, B. W.; MARK-BALM, T. Nutritional quality of weaning foods prepared from composite flours of maize, ungerminated and germinated cowpea. **Nutrition Reports International**, v. 38, n. 3, p. 519-526, 1988.

AHMAD, S.; WAHEED, S.; MANNAN, A.; FATIMA, I.; QURESHI, I. H. Evaluation of trace elements in wheat and wheat by-products. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists International**, v. 77, n. 1, p. 11-18, 1994.

AKINLOSOTU, A.; AKINYELE, I. O. The effect of germination on the oligosaccharide and nutrient content of cowpeas (*Vigna unguiculata*). **Food Chemistry**, v. 39, n. 2, p. 157-165, 1991.

ALVAREZ-MARTINEZ, L.; KONDURY, K. P.; HARPER, J. M. A general model for expansion of extruded products. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 2, p. 609-615, 1988.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Aproved methods**. 9. ed. Saint Paul, 1995. Não paginado.

ANDERSSON, Y.; HEDLUND, B.; JONSSON, L.; SVENSSON, S. Extrusion cooking of a high-fiber cereal product with crispbread character. **Cereal Chemistry**, v. 58, n. 5, p. 370-374, 1981.

ANDERSON, R. A.; PFEIFER, V. F.; BOOKWALTER, G. N.; GRIFFIN, E. L. Instant C.S.M. food blends for worldwide feeding. **Cereal Science Today**, v. 16, p. 5-11, 1971.

ASIEDU, M.; NILSEN, R.; LIE, O.; LIED, E. Effect of processing (sprouting and/or fermentation) on sorghum and maize. I. Proximate composition, minerals and fatty acids. **Food Chemistry**, v. 46, n. 4, p. 351-353, 1993.

BARTNIK, M.; SZAFRANSKA, I. Changes in phytate content and phytase activity during the germination of some cereals. **Journal of Cereal Science**, v. 5, n. 1, p. 23-28, 1987.

BASU, T. **Studies of health benefits from germinated wheat and its use in development of value added products**. 1997. Alberta Agriculture, Food and Rural Development Home Page. <http://www.agric.gov.ab.ca/research/ari/matching/97-98/97m105.html>. Acesso em: 20 Out. 1997.

BELÉIA, A.; GROSSMANN, M. V. E. Germinação pré-colheita de trigo: efeitos na qualidade do grão e da farinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 12, p.1797-1804, 1990.

BETSCHART, A. A. Nutritional quality of wheat and wheat products. In: POMERANZ, Y. **Wheat: chemistry and technology**. 3. ed. Saint Paul: A.A.C.C., 1988. v. 2, p. 91-129.

BHATTACHARYA, M.; HANNA, M. A. Extrusion processing of wet corn gluten meal. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 1508-1509, 1985.

BJÖRCK, I.; ASP, N.-G. Protein nutritional value of extrusion-cooked wheat flours. **Food Chemistry**, v. 15, n. 3, p. 203-214, 1984.

BRASIL. Decreto nº 12.486, de 20 de outubro de 1978. Aprova normas técnicas especiais à produção de alimentos e bebidas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 24 jul. 1978. Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. **Norma de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do trigo (*Triticum aestivum*, L.)**: texto legal. Porto Alegre: EMATER-RS, 1994. 12 p.

BRUM, A. L. Avaliação de quatro das nossas principais culturas. **Óleos & Grãos**, n. 40, p. 25, jan./fev. 1998.

BUSHUK, W. Wheat: chemistry and uses. **Cereal Foods World**, v. 31, n. 3, p. 218-226, 1986.

CAMIRE, M. E.; CAMIRE, A.; KRUMAR, K. Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 29, n. 1, p. 35-57, 1990.

CARPENTER, K. J.; STEINKE, F. H.; CATIGNANI, G. L.; SWAISGOOD, H. E.; ALLERD, M. C.; MACDONALD, J. L.; SCHELSTRAETE, M. The estimation of 'available lysine' in human foods by three chemical procedures. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 39, n. 1, p. 129-135, 1989.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424 p.

CHANG, Y. K. Efeito da concentração de ácido, umidade e temperatura na hidrólise de amido de mandioca por extrusão termoplástica, visando a produção de álcool. 1989. 183 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas.

- CHAVAN, J. K.; KADAM, S. S. Nutritional improvement of cereals by sprouting. **Critical Reviews in Food Science and Technology**, v. 28, n. 5, p. 401-437, 1989.
- CHEFTEL, J. C. Nutritional effects of extrusion cooking. **Food Chemistry**, v. 20, n. 4, p. 263-283, 1986.
- CHEN, J.; SERAFIN, F. L.; PANDYA, R. N.; DAUN, H. Effects of extrusion conditions on sensory properties of corn meal extrudates. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 1, p. 84-89, 1991.
- CORDER, A. M., HENRY, R. J. Carbohydrate degrading enzymes in germinating wheat. **Cereal Chemistry**, v. 66, n. 5, p. 435-439, 1989.
- DAHLIN, K. M., LORENZ, K. J. Carbohydrate digestibility of laboratory-extruded cereal grains. **Cereal Chemistry**, v. 70, n. 3, p. 329-333, 1993a. Antes era b
- DAHLIN, K. M.; LORENZ, K. J. Protein digestibility of extruded cereal grains. **Food Chemistry**, v. 48, n. 1, p. 13-18, 1993b. Antes era a
- DALBY, A.; TSAI, C. Y. Lysine and tryptophan increases during germination of cereal grains. **Cereal Chemistry**, v. 53, n. 2, p. 222-226, 1976.
- DANISOVÁ, C.; HOLOTNÁKOVÁ, E.; HOZOVÁ, B.; BUCHTOVA, V. Effect of germination on a range of nutrients of selected grains and legumes. **Acta Alimentaria**, v. 23, n. 3, p. 287-298, 1994.
- DESIKACHAR, H. S. R. Development of weaning foods with high caloric density and low hot-paste viscosity using traditional technologies. **Food and Nutrition Bulletin**; v. 2, n. 4, p. 21-23, 1980.
- DRAPRON, R.; ANH, N. G. X., LAUNAY, B., GUILBOT, A. Development and distribution of wheat lipase activity during the course of germination. **Cereal Chemistry**, v. 46, n. 6, p. 647-655, 1969.
- DRONZEK, B. L.; HWANG, P.; BUSHUK, W. Scanning electron microscopy of starch from sprouted wheat. **Cereal Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 232-239, 1974.
- EL-DASH, A. A. Application and control of thermoplastic extrusion of cereals for food and industrial uses. In: POMERANZ, Y.; MUNCK, L. (Ed.). **Cereals - a renewable resource: theory and practice**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p. 165-216.
- FAUBION, J. M.; HOSENEY, R. C.; SEIB, P. A. Functionality of grain components in extrusion. **Cereal Foods World**, v. 27, n. 5, p. 212-216, 1982.
- FINNEY, P. L.; RUBENTHALER, G. L. Wheat malts as wheat flour nutrient supplements in bread making. **Bakers' Digest**; v. 53, n. 5, p. 23-25, 27, 1979.
- FLICKINGER, B. (Ed.). The market for extruded foods. **Food Engineering International**, v. 16, n. 6, p. 42-44, 1991.
- FREDLUND, K.; ASP, N.-G.; LARSSON, M.; MARKLINDER, I.; SANDBERGER, A. -S. Phytate reduction in whole grains of wheat, rye, barley and oats after hydrothermal treatment. **Journal of Cereal Science**, v. 25, n. 1, p. 83-91, 1997.
- FRITSCH, C. W.; GALE, J. A. Hexanal as a measure of rancidity in low fat foods. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 54, n. 6, p. 225-228, 1977.
- GALLIARD, T. Rancidity in cereal products. In: ALLEN, J. C.; HAMILTON, R. J. **Rancidity in foods**. London: Applied Science, 1983. 199 p. Chap. 7, p. 109-130.
- GALLOWAY, G. I.; BILIADERIS, C. G.; STANLEY, D. W. Properties and structure of amylose-glycerol monostearate complexes formed in solution or on extrusion of wheat flour. **Journal of Food Science**, v. 54, n. 4, p. 950-957, 1989.

GERMANI, R.; BENASSI, V. T.; CARVALHO, J. L. V.; TORREZAN, B.; CAMPOS, J. E.; MAZZARI, M. R. **Curso para laboratoristas da indústria moageira do trigo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA, 1993.

GOPALDAS, T.; DESHPANDE, S.; JOHN, C. Studies on a wheat-based amylase-rich food. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 10, n. 3, p. 55-59, 1988.

GRAIN MARKET REPORT. London: International Wheat Council, PMR 203, June 1992.

GUERIVIERE, J. F.; MERCIER, C.; BAUDET, L. Incidences de la cuisson-extrusion sur certains paramètres nutritionnels de produits alimentaires notamment céréaliers. **Cahiers de Nutrition et de Dietetique**, v. 20, p. 201-210, 1985.

GUY, R. C. E. The use of wheat flours in extrusion cooking. In: PMERANZ, Y. (Ed.). **Wheat is unique**: structure, composition, processing, end-use properties, and products. Saint Paul: AACC, 1989. Chap.21, p. 369-378.

HAMAD, A. M.; FIELDS, M. L. Evaluation of the protein quality and available lysine of germinated and fermented cereals. **Journal of Food Science**, v. 44, n. 2, p. 456-459, 1979.

HAMILTON, R. J. The chemistry of rancidity in foods. In: ALLEN, J. C.; HAMILTON, R. J. **Rancidity in foods**. London: Applied Science, 1983. Chap. 1, p. 1-20.

HARPER, J. M. **Extrusion of foods**. Boca Raton: CRC Press, 1981. 2 v.

HARPER, J. M. Food extrusion. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 11, n. 2, p. 155-215, 1979.

HOLGUIN, M.; NAKAI, S. Accuracy and specificity of the dinitrobenzenesulfonate methods for available lysine in proteins. **Journal of Food Science**, v. 45, n. 5, p. 1218-1222, 1980.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal science and technology**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1986. 327 p.

HUBER, G. R. Carbohydrates in extrusion processing. **Food Technology**, v. 43, n. 3, p. 160-161, 1991.

HWANG, P.; BUSHUK, W. Some changes in the endosperm proteins during sprouting of wheat. **Cereal Chemistry**, v. 50, p. 147-160, 1973.

JIN, Z.; HSIEH, F.; HUFF, H. E. Effects of soy fiber, salt, sugar and screw speed on physical properties and microstructure of corn meal extrudates. **Journal of Cereal Science**, v. 22, n. 2, p. 185-194, 1995.

JOHN, C.; GOPALDAS, T. Reduction in the dietary bulk of soya-fortified bulgur wheat gruels with wheat-based amylase-rich food. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 10, n. 4, p. 50-53, 1988.

KILLEIT, U. Vitamin retention in extrusion cooking. **Food Chemistry**, v. 49, n. 2, p. 149-155, 1994.

KIM, J. C.; ROTTIER, W. Modification of aestivum wheat semolina by extrusion. **Cereal Foods World**, v. 24, n. 2, p. 62-64, 66, 1980.

KOKINI, J. L. The effect of processing history on chemical changes in single- and twin-screw extruders. **Trends in Food Science and Technology**, v. 4, n. 10, p. 324-329, 1993.

KOKINI, J. L.; COCERO, A. M.; MADEKA, H.; GRAAF, E. de. The development of state diagrams for cereal proteins. **Trends in Food Science and Technology**, v. 5, n. 9, p. 281-288, 1994.

- KRUGER, J. E. Enzymes of sprouted wheat and their possible technological significance. In: BUSHUK, W.; RASPER, V. F. (Ed.). **Wheat: production, properties, quality**. London: Chapman & Hall, 1994. 239 p. Chap. 10, p. 143-153.
- KRUGER, J. E.; MATSUO, R. R. Comparison of alpha-amylase and simple sugar levels in sound and germinated durum wheat during pasta processing and spaghetti cooking. **Cereal Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 26-31, 1982.
- KULKARNI, K. D.; KULKARNI, D. N.; INGLE, U. M. Sorghum malt-based weaning food formulations: preparation, functional properties, and nutritive value. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 13, n. 4, p. 322-327, 1991.
- KUMAR, A.; CHAUHAN, B. M. Chemical composition and utilization of pearl millet sprouts. **Nahrung**, v. 37, n. 4, p. 356-363, 1993.
- LARSSON, M.; SANDBERG, A.-S. Malting of oats in a pilot-plant process. Effects of heat treatment, storage and soaking conditions on phytate reduction. **Journal of Cereal Science**, v. 21, p. 87-95, 1995.
- LATTA, M.; ESKIN, M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 5, p. 1313-1315, 1980.
- LEELAVATHI, K.; HARIDAS-RAO, P. Chapati from germinated wheat. **Journal of Food Science and Technology-India**, v. 25, n. 3, p. 162-164, 1988.
- LEELAVATHI, K.; VETRIMANI, R.; HARIDAS-RAO, P. Changes in the functional characteristics of wheat during soaking and subsequent germination. **Journal of Food Science and Technology**, v. 277, n. 5, p. 349-354, 1990.
- LEMAR, L. E.; SWANSON, B. G. Nutritive value of sprouted wheat flour. **Journal of Food Science**, v. 41, n. 3, p. 719-720, 1976.
- LEWIS, M. J. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Zaragoza: Acribia, 1993. 494 p.
- LI, M.; LEE, T.-C. Effect of cysteine on the functional properties and microstructures of wheat flour extrudates. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 44, n. 7, p. 1871-1880, 1996.
- LIKIMANI, T. A.; SOFOS, J. N.; MAGA, J. A.; HARPER, J. M. Methodology to determine destruction of bacterial spores during extrusion cooking. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 5, p. 1388-1393, 1990.
- LILLARD, D. A. Effect of processing on chemical and nutritional changes in food lipids. **Journal of Food Protection**, v. 46, n. 1, p. 61-67, 1983.
- LIMA, G. J. M. M. de; ZANOTTO, D. L.; PIENIZ, L. C.; GUIDONI, A. L.; GUARIENTI, E. M. **O trigo na alimentação de suínos e aves**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1998. 2 p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 221).
- LINEBACK, D. R.; PONPIPOM, S. Effects of germination of wheat, oats, and pearl millet on alpha-amylase activity and starch degradation. **Starch**, v. 29, n. 2, p. 52-60, 1977.
- LORENZ, K. Cereal sprouts: composition, nutritive value, food applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 13, n. 4, p. 353-385, 1980.
- LORENZ, K.; AL-RUQAIE, I. Alkylresorcinols in commercial and experimental extruded high fiber breakfast cereals. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie**, v. 25, n. 33, p. 248-252, 1992.
- LORENZ, K.; KULP, K. Sprouting of cereal grains - effects on starch characteristics. **Starch**, v. 33, n. 6, p. 183-187, 1981.

- LORENZ, K.; VALVANO, R. Functional characteristics of sprout-damaged soft white wheat flours. **Journal of Food Science**, v. 46, p. 1018-1020, 1981.
- LUE, S.; HSIEH, F.; PENG, I. C., HUFF, H.E. Expansion of corn extrudates containing dietary fiber: a microstructure study. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie**, v. 23, n. 2, p. 165-173, 1990.
- LUKOW, O. M.; BEKES, F.; BUSHUK, W. Influence of germination on wheat quality. III. Modification of flour lipid. **Cereal Chemistry**, v. 62, n. 6, p. 419-422, 1985.
- LUKOW, O. M.; BUSHUK, W. Influence of germination on wheat quality. I. Functional (breadmaking) and biochemical properties. **Cereal Chemistry**, v. 61, n. 4, p. 336-339, 1984.
- MALLESHI, N. G.; DAODU, M. A.; CHANDRASEKHAR, A. Development of weaning food formulations based on malting and roller drying sorghum and cowpea. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 24, n. 5, p. 311-319, 1989.
- MARERO, L. M.; PAYUMO, E. M.; AGUINALDO, A. R.; HOMMA, S. Maltoligosaccharide composition of flours, weaning foods, and gruels prepared from germinated rice, corn, mungbean, and cowpea. **Journal of Nutritional Science and Vitaminology**, v. 36, n. 1, p. 55-64, 1990.
- MARERO, L. M.; PAYUMO, E. M.; AGUINALDO, A. R.; HOMMA, S. Nutritional characteristics of weaning foods prepared from germinated cereals and legumes. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 5, p. 1399-1402, 1988a. Antes era b
- MARERO, L. M.; PAYUMO, E. M.; AGUINALDO, A. R.; HOMMA, S. Vitamin E constituents of weaning foods from germinated cereals and legumes. **Journal of Food Science**, v. 56, n. 1, p. 270-271, 1991a.
- MARERO, L. M., PAYUMO, E. M., AGUINALDO, A. R.; MATSUMOTO, S. Antinutritional factors in weaning foods prepared from germinated cereals and legumes. **Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie**, v. 24, n. 2, p. 177-181, 1991b.
- MARERO, L. M.; PAYUMO, E. M.; LIBRANDO, E. C.; LAINEZ, W. N.; GOPEZ, M. D.; HOMMA, S. Technology of weaning food formulations prepared from germinated cereals and legumes. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 5, p. 1391-1395, 1455, 1988b. Antes era a
- MARSH, S. J.; ANNUK, D.; OZSARAC, N.; FOX, D. J. The effect of wheater damage on wheat enzymes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 45, n. 2, p. 175-183, 1988.
- MAYER, A. M.; POLJAKOFF-MAYBER, A. **The germination of seeds**. 4. ed. Oxford: Pergamon Press, 1989. 270 p.
- MERCIER, C., FEILLET, P. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. **Cereal Chemistry**, v. 52, n. 3, p. 283-297, 1975.
- MEREDITH, P.; POMERANZ, Y. Sprouted grain. In: POMERANZ, Y. (Ed.). **Advances in cereal science and tecnology**. Saint Paul: A.A.C.C, 1985. v. 7, p. 239-320.
- METIVIER, J. R. Dormência e germinação. In: FERRI, M. G. (Coord.). **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Ed. Pedagógica e Universitária: Ed. da Universidade de São Paulo, 1979. v. 2, cap. 12, p. 343-392.
- MEUSER, F. Wheat utilization for the production of starch, gluten and extruded products. In: BUSHUK, W.; RASPER, V. F. (Ed.). **Wheat: production, properties, quality**. London: Chapman & Hall, 1994. Chap. 13, p. 179-204.

- MILADI, S.; HEGSTED, D. M.; SAUNDERS, R. M.; KOHLER, G. O. The relative nutritive value, amino acid content, and digestibility of the proteins of wheat mill fractions. **Cereal Chemistry**, v.49, n.1, p.119-127, 1972.
- MIRANDA, M. Z. de. **Efeito do tempo de germinação do trigo e das variáveis de extrusão na qualidade tecnológica e nutricional de farinha integral**. 1998. 216 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MITCHELL, J. R.; AREAS, J. A. G. Structural changes in biopolymers during extrusion. In: KOKINI, J. L.; HO, C.-T.; KARWE, M. V. **Food extrusion science and technology**. New York: M.Dekker, 1992. p. 345-360.
- MOLTEBERG, E. L.; VOGT, G.; NILSSON, A.; FROLICH, W. Effects of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. **Cereal Chemistry**, v. 72, n. 1, p. 888-893, 1995.
- MOORE, D.; SANEI, A.; VAN HECKE, E.; BOUVIER, J. M. Effect of ingredients on physical/structural properties of extrudates. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 5, p. 1383-1387, 1402, 1990.
- MORAD, M. M., RUBENTHALER, G. L. Germination of soft white wheat and its effect in flour fractions, breadbaking, and crumb firmness. **Cereal Chemistry**, v. 60, n. 6, p. 413-417, 1983.
- MOUSSA, W. A., TADROS, M. D.; MEKHAEL, K. G.; DARWISH, A. E. M. H.; SHAKIR, A. H.; EL-REHIM, E. A. A.. Some simple methods of home processing and their implication with weaning foods. **Nahrung**, v. 36, n. 1, p. 26-33, 1992.
- MUNCK, L. Barley for food, feed and industry. In: POMERANZ, Y.; MUNCK, L. (Ed.). **Cereals - a renewable resource: theory and practice**. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1981. p. 427-459.
- NYMAN, M.; SILJESTRÖM, M.; PEDERSEN, B.; BACHKNUDSEN, K. E.; ASP, N. -G.; JOHANSSON, C. -G.; EGGUM, O. Dietary fiber content and composition in six cereals at different extractions rates. **Cereal Chemistry**, v. 61, n. 1, p. 14-19, 1984.
- PEDERSEN, B.; HANSEN, M.; MUNCK, L.; EGGUM, B. O. Weaning foods with improved energy and nutrient density prepared from germinated cereals. 2. Nutritional evaluation of gruels based on barley. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 11, n. 2, p. 46-52, 1989.
- PIENIZ, L. C.; ZANOTTO, D. L.; GUIDONI, A. L.; GUARIENTI, E. M. Trigo em substituição ao milho em rações para frangos de corte. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33., 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1996.
- POMERANZ, Y. Biochemical, functional and nutritive changes during storage. In: CHRISTENSEN, C. M. (Ed.). **Storage of cereal grains and their products**. 2. ed. Saint Paul: AACC, 1974. v. 2, Chap. 2, p. 56-114.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289 p.
- PROSKY, L.; ASP, N.-G.; FURDA, I.; DE VRIES, J. W.; SCHWEIZER, T. F.; HARLAND, B. F. Determination of total dietary fiber in foods, food products and total diets: interlaboratory study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 67, n. 6, p. 1044-1052, 1984.
- PROSKY, L.; ASP, N.-G.; FURDA, I.; DE VRIES, J. W.; SCHWEIZER, T. F.; HARLAND, B. F. Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v. 68, p. 677-679, 1985.

QUAGLIA, G. **Ciencia y tecnología de la panificación**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 1991. 485 p.

RANHOTRA, G. S. Wheat: contribution to world food supply and human nutrition. In: BUSHUK, W.; RASPER, V. F. (Ed.). **Wheat: production, properties, quality**. London: Chapman & Hall, 1994. 239 p. Chap. 2, p. 12-24.

RANHOTRA, G. S.; LOEWE, R. J.; LEHMANN, T. A. Breadmaking quality and nutritive value of sprouted wheat. **Journal of Food Science**, v. 42, n. 5, p. 1373-1375, 1977.

ROSSEN, J. L.; MILLER, R. C. Food extrusion. **Food Technology**, v. 27, n. 8, p. 46-53, 1973.

RYU, G. H.; WALKER, C. E. The effects of extrusion conditions on the physical properties of wheat flour extrudates. **Starch**, v. 47, n. 1, p. 33-36, 1995.

SCHLUDE, M. The stability of vitamins in extrusion cooking. In: O'CONNOR, C. (Ed.). **Extrusion technology for the food industry**. Essex: Elsevier, 1987. p. 22-24

SEKHON, K. S.; SINGH, N.; NAGI, H. P. S. Effect of pearling and blending on the bread-making properties of sprout-damaged wheat. **Cereal Foods World**, v. 37, n. 9, p. 715-716, 721-724, 1992.

SETHI, V. B.; BAINS, G. S. Factors influencing the malting quality of Indian wheat. **Journal of Food Science and Technology**, v. 15, n. 2, p. 62-67, 1978.

SHARMA, S.; NAGI, H. P. S.; SEKHON, K. S. Effect of blending laboratory sprouted grains on milling and baking properties of wheat. **Journal of Food Science and Technology**, v. 25, n. 6, p. 330-334, 1988.

SHASHIKUMAR, K.; HAZELTON, J. L.; RYU, G. H.; WALKER, C. E. Predicting wheat sprout damage by near-infrared reflectance analysis. **Cereal Foods World**, v. 38, n. 5, p. 364-366, 1993.

SHOUP, F. K.; POMERANZ, Y.; DEYOE, C. W. Amino acid composition of wheat varieties and flours varying widely in bread-making potentialities. **Journal of Food Science**, v. 31, p. 94-101, 1966.

SHUKLA, T. P. Critical chemistry of extrusion processing of grains. **Cereal Foods World**, v. 43, n. 1, p. 43-44, 1998.

SINGH, N.; SEKHON, K. S.; NAGI, H. P. S. Effect of temperature on the extrusion behaviour of flour from sound and sprouted wheat. **Journal of Food Science and Technology**, v. 31, n. 3, p. 233-235, 1994.

SINGH, N.; SEKHON, K. S.; NAGI, H. P. S. Laboratory sprout damage and effect of heat treatment on milling and baking properties of Indian wheats. **Journal of Food Science**, v. 52, n. 1, p. 176-179, 1987.

SINGH, T.; BAINS, G. S. Grain extract-milk beverage: processing and physicochemical characteristics. **Journal of Food Science**, v. 53, n. 5, p. 1387-1390, 1988.

SINGH, T.; SOSULSKI, F. W. Malting of hulless barley cultivars and glenea (*T. aestivum*) utility wheat. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 342-346, 1985.

SUR, R.; NAGI, H. P. S.; SHARMA, S. Storage changes in the quality of sound and sprouted flour. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 44, n. 1, p. 35-44, 1993.

TAVERNER, M. R.; FARRELL, D. J. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 3. A comparison of ileal availability values with faecal, chemical and enzymic estimates. **British Journal of Nutrition**, v. 46, n. 1, p. 173-180, 1981a.

TAVERNER, M. R.; FARRELL, D. J. Availability to pigs of amino acids in cereal grains. 4. Factors influencing the availability of amino acids and energy in grains. **British Journal of Nutrition**, v. 46, n. 1, p. 181-192, 1981b.

TKACHUK, R. Free amino acids in germinated wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 30, n. 1, p. 53-58, 1979.

TSAI, C. Y.; DALBY, A.; JONES, R. A. Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. **Cereal Chemistry**, v. 52, n. 3, p. 356-360, 1975.

VAN DOKKUM, W.; WESTRA, A.; SCHIPPERS, F. A. Physiological effects of fibre-rich bread. I. The effect of dietary fibre from bread on the mineral balance of young men. **British Journal of Nutrition**, v. 47, p. 451-460, 1982.

VILELA, E. R.; EL-DASH, A. A. Extrusão de farinha de guandu (*Cajanus cajan*, Mill sp). 1. Efeitos das variáveis do processo nas características químicas, físicas e físico-químicas dos produtos extrusados. **Revista da SBCTA**, v. 7, n. 2, p. 97-116, 1987.

WAHED, M. A.; MAHALANABIS, D.; BEGUM, M.; RAHMAN, M.; ISLAM, M. S. Energy-dense weaning foods liquefied by germinated-wheat amylase: effects on viscosity, osmolality, macronutrients, and bacterial growth. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 15, n. 3, p. 257-261, 1994.

WANG, Y. Y. D.; FIELDS, M. L. Germination of corn and sorghum in the home to improve nutritive value. **Journal of Food Science**, v. 43, n. 4, p. 1113-1115, 1978.

WANG, W. M.; KLOPFENSTEIN, C. F.; PONTE JR., J. G. Effects of twin-screw extrusion on the physical properties of dietary fiber and other components of whole wheat and wheat bran and on the baking quality of the wheat bran. **Cereal Chemistry**, v. 70, n. 6, p. 707-711, 1993.

WERNER & MERTZ. Behandeln von angekeimten Getreidekoernern fuer die Brotherstellung. GERMAN-FEDERAL-REPUBLIC-PATENT-APPLICATION, Int. Cl² A 21D 2/38 DE 2851 053 C₂; 31.1.80; 25.9.80. Food Science and Technology Abstracts, Shinfield. AN: 80-10-M1134 (CD-ROM) [Treatment of partially germinated grain for breadmaking.]

WHALEN, P. J.; BASON, M. L.; BOOTH, R. I.; WALKER, C. E.; WILLIAMS, P. J. Measurement of extrusion effects by viscosity profile using the rapid viscoanalyser. **Cereal Foods World**, v. 42, n. 6, p. 469-475, 1997.

WU, Y. V.; SEXSON, K. R.; LAGODA, A. A. Protein-rich residue from wheat alcohol distillation: fractionation and characterization. **Cereal Chemistry**, v. 61, n. 5, p. 423-427, 1984.

WU, Y. V.; WALL, J. S. Lysine content of protein increased by germination of normal and high-lysine sorghums. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, n. 2, p. 455-458, 1980.

ZHOU, J. R.; ERDMAN, J. W. Phytic acid in health and disease. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 35, n. 6, p. 495-508, 1995.

Embrapa

Trigo

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Comitê de Publicações da Unidade Presidente: **Leandro Vargas**

Ana Lídia V. Bonato, José A. Portella, Leila M. Costamilan, Márcia S. Chaves, Maria Imaculada P. M. Lima, Paulo Roberto V. da S. Pereira, Rainoldo A. Kochhann, Rita Maria A. de Moraes

Expediente Referências bibliográficas: Maria Regina Martins

Editoração eletrônica: Márcia Barrocas Moreira Pimentel

MIRANDA, M. Z. de. **Trigo**: germinação e posterior extrusão para obtenção de farinha integral extrusada de trigo germinado. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 12 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 74). Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do74.htm