

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

A Cultura do Arroz no Brasil

*2ª Edição
Revisada e ampliada*

Alberto Baêta dos Santos
Luís Fernando Stone
Noris Regina de Almeida Vieira
Editores Técnicos

*Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2006*

Exemplares desta publicação devem ser solicitados à:

Embrapa Arroz e Feijão

Rod. GO 462, Km 12

Caixa Postal 179

CEP 75375-000 Santo Antônio de Goiás , GO

Fone: (62) 3533-2110

Fax: (62) 3533-2100

sac@cnpaf.embrapa.br

www@cnpaf.embrapa.br

Embrapa Informação Tecnológica

Parque Estação Biológica (PqEB), Av. W3 Norte (final)

Fone: (61) 3340-9999

Fax: (61) 3340-2753

CEP 70770-901 - Brasília, DF

vendas@sct.embrapa.br

www.sct.embrapa.br

Supervisor Editorial: *Marina A. Souza de Oliveira*

Revisor de Texto: *Noris Regina de Almeida Vieira*

Normalização Bibliográfica: *Ana Lúcia Delalibera de Faria*

Tratamento das Ilustrações: *Sebastião José de Araújo e Fabiano Severino*

Editoração Eletrônica: *Fabiano Severino*

1ª edição

1ª impressão (1999): 1.000 exemplares

2ª edição

1ª impressão (2006): 2.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

A cultura do arroz no Brasil / editores, Alberto Baêta dos Santos, Luís Fernando Stone, Noris Regina de Almeida Vieira. - 2. ed. rev. ampl. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p. : il. ; 23 cm.

ISBN 85-7437-030-4

1. Arroz - Produção. 2. Arroz - Tecnologia. 3. Arroz - Pesquisa. I. Santos, Alberto Baêta dos, *ed.* II. Stone, Luís Fernando, *ed.* III. Vieira, Noris Regina de Almeida, *ed.* IV. Embrapa Arroz e Feijão.

CDD 633.18 (21. ed.)

© Embrapa 2006

Bioquímica e Saúde Humana

Priscila Zaczuk Bassinello; Maria Margareth Veloso Nunes

RESUMO - Os componentes bioquímicos do arroz, além de participarem de funções metabólicas no grão e produzirem efeitos ao organismo humano, podem ser modificados ou afetados por condições de processamento, armazenamento ou manipulações diversas com vantagens ou não à saúde humana. O amido do arroz é constituído por duas frações, amilopectina e amilose, cuja proporção, comprimento das cadeias e a distribuição espacial das moléculas influenciam profundamente as propriedades físico-químicas do amido e, por consequência, a qualidade de cocção e/ou palatabilidade do arroz. O amido não digerido no intestino delgado é chamado de amido resistente e apresenta os mesmos efeitos funcionais da fibra alimentar, podendo ser encontrado no arroz parboilizado. A proteína do arroz é constituída por diferentes frações conforme sua solubilidade. O aumento no teor de proteína do arroz, por influência genética ou ambiental, resulta em aumento, sobretudo, da fração glutelina no grão. As duas frações protéicas de reserva, prolaminas e glutelinas, perfazem a maior parte das proteínas em praticamente todos os cereais. As frações de albumina e globulina definidas em gel de amido, bem como as glutelinas em eletroforese dissociante, podem ser usadas na identificação varietal de arroz. A composição e o conteúdo lipídico do arroz podem variar de acordo com os procedimentos de extração e purificação e, numa menor extensão, conforme a variedade das amostras. A qualidade lipídica do produto pode direcionar diferentes aplicações tecnológicas e o arroz, mais especificamente seu óleo, apresenta variabilidade no perfil de lipídios. Discute-se também a questão da biodisponibilidade dos minerais para adequação nutricional e o papel do fitato nessa questão, bem como as principais estratégias de melhoramento genético do arroz e da biotecnologia para sanar ou aliviar os maiores problemas de saúde pública. A manipulação genética, visando a produção de alimentos de melhor valor nutritivo, é um campo de estudo promissor para a saúde humana. A recente descoberta da sequência do genoma do arroz poderá acelerar esse processo. Neste capítulo, são abordados aspectos bioquímicos dos diferentes componentes do grão de arroz e sua relação com a saúde humana. Também se discutem alguns avanços conquistados com a biotecnologia na obtenção de produtos específicos com propriedades de interesse nutricional e/ou funcional.

INTRODUÇÃO

O arroz constitui um dos cereais que assume importante contribuição na alimentação diária da população mundial, especialmente de povos carentes de países pobres da Ásia. Somado à sua versatilidade de formas de preparo e aplicações tecnológicas,



incluindo seus subprodutos, traduz-se em um produto de grande interesse tecnológico, além do potencial em atender demandas de saúde pública. Assim sendo, destacam-se, neste capítulo, aspectos bioquímicos dos diferentes componentes do grão de arroz e sua relação com a saúde humana. Também se discutem alguns avanços conquistados com a ferramenta da biotecnologia na obtenção de produtos específicos com propriedades de interesse nutricional e/ou funcional.

Considerando-se que a concentração geralmente limitada e a baixa biodisponibilidade de nutrientes em alimentos básicos, pesquisas estão sendo conduzidas no sentido de entender e manipular as vias metabólicas de micronutrientes, a fim de aumentar a qualidade nutricional dos produtos alimentares. A biotecnologia objetiva o uso de plantas como “biofábricas” para a produção de alimentos fortificados do ponto de vista nutricional. Desse modo, essa ferramenta pode ser empregada para combater carências nutricionais como a de vitamina A, e também para fornecer novos componentes aos grãos, como por exemplo os fitosteróis, que têm o potencial de reduzir de 10 a 15% o colesterol em humanos (Costa & Liberato, 2003).

Os alimentos não são mais vistos meramente como meio de se saciar a fome, mas também de prevenir doenças causadas pela dieta deficiente e de prover o ser humano dos nutrientes necessários à construção, à manutenção e ao reparo de tecidos, como água, proteínas, carboidratos, lipídios, vitaminas, minerais e fibras. Nas últimas décadas, retomou-se o conceito de alimentos como fonte de saúde e bem-estar e a dieta balanceada, vem sendo reconhecida como um meio de prevenção de diversas doenças crônicas não-transmissíveis, como câncer, doenças cardiovasculares, osteoporose, artrite e degeneração macular relacionada com a idade (Costa & Borém, 2003). Além dos alimentos tradicionais da dieta básica, incluem os alimentos integrais, fortificados, enriquecidos ou melhorados que causam efeitos potencialmente benéficos à saúde quando consumidos regularmente como parte de uma dieta variada.

O arroz constitui um alimento com grande potencial de emprego na alimentação humana e em diferentes aplicações industriais de diversos segmentos, como as áreas das ciências farmacêuticas e tecnologia de alimentos. As perspectivas de fortificação e/ou biofortificação do arroz com componentes de interesse para a saúde das populações, bem como as estratégias de engenharia genética devem ser valorizadas e incentivadas em nosso meio, considerando-se, particularmente, o hábito alimentar do brasileiro e a importância socioeconômica da cultura para o país.



CARBOIDRATOS

Os carboidratos complexos encontrados no arroz por serem de absorção lenta, são capazes de prover o organismo com energia por períodos prolongados. Além disso, carboidratos complexos, como o amido, são recomendados para substituir a ingestão de açúcares e gorduras, respeitando-se a devida proporção entre os macronutrientes da dieta (World Health Organization, 2003), e assim diminuir os riscos de cardiopatias e diabetes (Juliano & Goddard, 1986). Uma outra importante função dos carboidratos na dieta refere-se a sua grande contribuição no aporte energético e, por conseguinte, seu papel relevante na preservação das proteínas na sua primordial função plástica.

O amido do arroz é constituído por duas frações: a amilopectina, formada por cadeias curtas de (α -1,4)-D-glucosil com 5-6% de ligações α -1,6 distribuídas; e uma fração linear, a amilose, formada por unidades (α -1,4)-D-glucopiranosil (Vandeputte et al., 2003). A proporção entre as duas frações, amilose e amilopectina, o comprimento das cadeias e a distribuição espacial das moléculas dos polissacarídeos, influenciam profundamente as propriedades físico-químicas do amido e, por conseqüência, a qualidade de cocção e/ou palatabilidade (textura) do arroz cozido (Juliano, 1985; Ramesh et al., 1999).

Durante o cozimento, o teor de amilose determina a absorção de água, expansão do volume e o teor de sólidos solúveis. Após o cozimento, afeta a cor, o brilho, a coesividade e dureza do arroz. Grãos cozidos contendo amido com teores de amilose acima de 25% são secos e soltos, enquanto aqueles com amilose abaixo desse valor tendem a ser pegajosos e mais úmidos (Juliano, 1984). Como o teor de amilose é o principal fator que afeta a qualidade de cocção e sensorial do arroz polido, grande empenho vem sendo direcionado para o desenvolvimento de métodos de identificação e quantificação de amilose. Em geral, o amido de arroz contém desde teores muito baixos de amilose, 0-9%, baixos, 9-20%, intermediários, 20-25%, até altos níveis, 25-33%. Outras classificações dos amidos baseiam-se em apenas três níveis de amilose: ceroso, *waxy*: 0-9%, normal, 9-30% e alto, > 30%. O teor de amilose do grão longo de arroz varia de 23 a 26%, enquanto nos grãos médios varia de 15 a 20% e, nos curtos, de 18 a 20%.

O conteúdo de amilose parece influenciar também no índice glicêmico (IG) do alimento e, portanto, tem implicações na saúde humana. O IG é uma escala subjetiva que mede a velocidade com que o alimento aumenta a taxa de açúcar no sangue, quando comparado com a glicose



ou o pão branco, padrão para índice de 100. Por isso, é muitas vezes usado para formular dietas especiais para pessoas obesas e diabéticas (Kennedy & Burlingame, 2003).

A ausência de glúten na composição do arroz também é um fator de interesse nas formulações de produtos direcionados, por exemplo, a pessoas alérgicas a essa substância (celíacos).

Nas últimas décadas, tem crescido muito o interesse pelo estudo do conteúdo de fibra dos alimentos, bem como dos efeitos de sua ingestão pelo ser humano. Dietas pobres em fibras freqüentemente estão associadas a doenças coronarianas, diabetes, afecções diverticulares e câncer de cólon, assim como a uma série de outros distúrbios do trato gastrointestinal. Isso tem estimulado a comunidade científica a examinar o papel das fibras na nutrição e na saúde humanas.

Segundo o Institute of Medicine (2001), a fibra alimentar é constituída de carboidratos não-digeríveis e de lignina, que são intrínsecos a ela e se encontram intactos nas plantas. Já a fibra adicionada à dieta (extrínseca) consiste em carboidratos não-digeríveis que desempenham efeitos fisiológicos benéficos ao ser humano. Por sua vez, a fibra total é a soma da fibra alimentar com a adicionada. As fibras podem ser solúveis e insolúveis ou viscosas e não-viscosas ou, ainda, fermentáveis e não-fermentáveis. Em geral, as fibras estruturais, como celulose, lignina e algumas hemiceluloses, são insolúveis, não-viscosas e não-fermentáveis. Em contraste, pectinas, gomas, mucilagens e as demais hemiceluloses são solúveis, viscosas e fermentáveis. Entretanto, há exceção, como a goma-arábica, que é solúvel, porém não-viscosa. A fibra de farelo de arroz contém celulose, hemicelulose, pectina e, em menor proporção, lignina (Mendez et al., 1995).

Em alguns alimentos crus, como a batata, os grânulos de amido são de difícil digestão devido à conformação cristalina e ao fato de estarem incluídos na estrutura celular. Com o aquecimento, os cristais se rompem e se dissolvem em água, e é possível que sejam prontamente digeridos pelas amilases, enzimas hidrolíticas. Ao passarem por resfriamento, as moléculas de amido podem novamente se cristalizar (retrogradar), formando estruturas não-digeríveis. O amido não digerido no intestino delgado é chamado de amido resistente e entra na definição de fibra alimentar e, portanto, traz os mesmos efeitos funcionais. Pode ser formado durante alguns processamentos de alimentos e é encontrado no arroz parboilizado, dado o tratamento hidrotérmico a que foi submetido.



PROTEÍNAS

Apesar das maiores variações no teor protéico serem ocasionadas por diferenças varietais (Kennedy & Burlingame, 2003), o conteúdo de proteína é grandemente influenciado pelo ambiente. Altos níveis de radiação solar, durante o período de maturação, diminuem o teor de proteína do grão e, sob condições tropicais, esse teor é geralmente menor na temporada seca que na temporada úmida (Gomez & De Datta, 1975; Nanda & Coffman, 1979). Da mesma forma, o manejo da cultura afeta o acúmulo de proteína na cariopse e a literatura disponível a esse respeito relata que a baixa densidade de semeadura, a maior disponibilidade de nitrogênio no solo, o controle adequado de doenças e um bom manejo de água contribuem para aumentar o teor protéico do arroz (De Datta et al., 1972; Gomez & De Datta, 1975; Gomez, 1979). O conteúdo protéico do arroz polido pode ser influenciado ainda pelo tipo e quantidade de fertilizante aplicado na lavoura, pelo estágio de maturação do grão e pelo grau de polimento do grão no beneficiamento (Simpson et al., 1965).

A proteína do arroz é constituída por diferentes frações protéicas, presentes no arroz polido nas seguintes proporções: 5% de albumina, solúvel em água; 10% de globulina, solúvel em soluções salinas; 5 a 8% de prolamina, solúvel em soluções alcoólicas; e 70 a 80% de glutelina, solúvel em soluções ácidas e alcalinas. O aumento no teor de proteína do arroz, por influência genética ou ambiental, resulta em aumento, sobretudo, da fração glutelina no grão. Como essa fração contém menores teores de lisina, aminoácido essencial, em relação à albumina (Tabela 2.1), o aumento da concentração protéica causa, em geral, uma redução na proporção de lisina na proteína do arroz (Taira, 1995; Sgarbieri, 1996).

As duas frações protéicas de reserva, prolamina e glutelinas, perfazem a maior parte das proteínas em todos os cereais, exceto para aveia, em que as globulinas têm um importante papel. Em geral, proteínas de reserva constituem 85-90% das proteínas do arroz (principalmente glutelinas ou orizeínas). Arroz e aveia possuem a menor quantidade de prolamina entre os cereais como milho, trigo e cevada (Chung & Pomeranz, 1985), e essas prolamina possuem os menores valores de prolina. Poucas variações nos padrões de glutelinas foram observados por Villareal & Juliano (1978) em diversas variedades de arroz polido. Damardjati et al. (1985) encontraram praticamente idênticos padrões eletroforéticos da proteína total extraída de um número limitado de arrozes da Indonésia. Entretanto, algumas diferenças foram observadas nos padrões eletroforéticos preparados com proteínas de arroz solúveis em soluções salinas (globulinas) (Sarkar & Bose, 1984).



Tabela 2.1. Composição de aminoácidos das frações protéicas solúveis de arroz.

Aminoácido (g/16 g N) ⁽⁴⁾	Arroz Polido ⁽¹⁾				Arroz Integral ⁽²⁾		
	Glutelina	Albumina	Globulina	Prolamina	Glutelina	Albumina e Globulina	Prolamina
Isoleucina	3,7	3,9	2,9	4,5	4,5	3,1	4,9
Leucina	7,7	7,5	6,3	10,8	7,5	6,3	11,8
Lisina	3,0	4,7	2,4	0,5	3,3	4,6	0,3
Metionina	1,5	2,4	2,2	0,5	1,3	2,3	0,8
Cisteína	1,0	2,8	0,0	0,3	1,2	3,1	1,8
Fenilalanina	5,3	2,9	3,1	6,0	5,9	3,6	6,0
Tirosina	5,2	3,7	4,8	8,3	4,9	4,0	8,4
Treonina	3,4	4,4	2,8	2,3	3,6	3,8	2,4
Triptofano	1,5	1,8 ⁽³⁾	1,2 ⁽³⁾	0,9 ⁽³⁾	1,1 ⁽³⁾	1,4	0,9
Valina	4,9	8,3	5,9	6,0	6,2	5,4	5,0
Total	37,2	42,4	31,6	40,8	39,5	37,6	42,3

⁽¹⁾ Segundo Tecson et al. (1971).

⁽²⁾ Segundo Palmiano et al. (1968).

⁽³⁾ Segundo Juliano (1972a).

⁽⁴⁾ Equivalente a g/100g proteína.

Fonte: Adaptada de Lookhart (1991).

As frações de albumina e globulina definidas em gel de amido, bem como as glutelinas em eletroforese dissociante (SDS-PAGE), podem ser usadas na identificação varietal de arroz. Vários métodos têm sido desenvolvidos para a identificação de variedades de arroz com cada grupo de proteínas (Kim & Jo, 1983). É importante ressaltar que nenhum sistema ou fração protéica será suficiente para identificar todas as variedades.

A melhoria do valor nutricional de alimentos de origem vegetal tem sido objeto de programas de melhoramento de plantas há décadas, enfocando o aumento do teor de aminoácidos limitantes da utilização biológica de proteínas. As proteínas dos cereais são normalmente pobres em certos aminoácidos essenciais. No arroz, a lisina é o aminoácido mais limitante. A introdução de dois genes de bactérias que codificam enzimas no DNA de sementes de canola e milho, promoveu um aumento significativo de lisina (Datta & Bouis, 2000). Essa mesma abordagem pode ser adotada com o arroz. A manipulação genética terá um impacto enorme no melhoramento de alimentos para a saúde humana. A recente descoberta da seqüência do genoma do arroz poderá acelerar a identificação do gene correspondente à lisina e, conseqüentemente, o melhoramento da cultura.



Além dos aminoácidos, peptídeos provenientes de proteínas do arroz e de milho, gelatina, caseína bovina, sardinha e atum, igualmente têm sido investigados por conta de sua propriedade anti-hipertensiva, uma vez que inibem a conversão de angiotensina I em angiotensina II (Clare & Swaisgood, 2000). Esses peptídeos são formados naturalmente pela digestão das proteínas no trato gastrointestinal, como também podem derivar do processamento térmico, ácido ou alcalino das proteínas ou, ainda, da fermentação microbiana. Muitos desses peptídeos e aminoácidos exercem efeitos fisiológicos, quando ingeridos em grandes quantidades. Portanto, seu uso seria mais aplicável como suplemento ou nutracêutico (Goldberg, 1994). Vale esclarecer que há uma diferença de conceito entre alimento funcional e nutracêutico adotada atualmente em nosso meio. O alimento funcional inclui alimentos integrais, fortificados, enriquecidos ou melhorados que causam efeitos potencialmente benéficos à saúde, quando consumidos regularmente como parte de uma dieta variada e em níveis fisiológicos. Já os nutracêuticos têm sido recentemente reconhecidos como suplementos dietéticos que fornecem, de forma concentrada, um agente presumidamente bioativo de um alimento, presente na matriz não-alimentar e usado para melhorar a saúde, em dosagens que excedem aquelas que podem ser obtidas de um alimento normal (Costa, 2003).

LIPÍDIOS

Os lipídios estão presentes em baixas concentrações nos grãos de cereais em relação aos demais macronutrientes. Entretanto, devem ser levados em consideração quando se discutir nutrição, armazenamento do grão, processamento, tais como, polimento seco ou úmido, fermentação, panificação, cozimento e extrusão.

A composição e o conteúdo lipídico do arroz podem variar de acordo com os procedimentos de extração e purificação, como o meio extrator, o tempo e a temperatura de extração, os equipamentos, a razão entre solvente e soluto e o método de purificação, entre outros. Em menor extensão, podem variar em função da amostra, do tamanho da partícula, do conteúdo de umidade, de diferenças varietais e de classes, de condições de maturação do grão, etc. Isso dificulta a comparação de dados do teor e tipos de lipídios do arroz relatados por diferentes pesquisadores.

Por definição, os lipídios livres são a porção facilmente extraída com solventes apolares como éter de petróleo, hexano, dietiléter e outros, por extrator de Soxhlet ou agitação. Os lipídios ligados são extraídos a partir do resíduo de lipídios livres removido à temperatura



ambiente com solventes mais polares, geralmente álcool isolado ou combinado com pequena porção de outro solvente, mais comumente a água. Butanol saturado com água é considerado o sistema solvente mais eficiente; a mistura de clorofórmio e metanol (2:1; 1:1; ou 1:2 v/v) também é bastante usada. A soma dos lipídios livres e ligados constitui os lipídios totais. Os lipídios normalmente são denominados como "gordura bruta" na literatura e são obtidos por extração com éter. Esses dados são equivalentes aos teores de lipídios livres. Os lipídios livres variam de 1,5 a 2% da massa dos grãos de arroz (Chung, 1991).

Os lipídios de amido são aqueles ligados ao amido e mais dificilmente extraídos. Como estão presentes dentro dos grânulos de amido, até mesmo solventes muito polares como o butanol saturado com água, não conseguem extrai-los à temperatura ambiente. Extrações eficientes requerem misturas de álcoois hidratados quentes em proporções otimizadas para gelatinização controlada dos grânulos de amido e solubilização de lipídios (Chung, 1991).

As classes de lipídios não-amídicos de grãos de cereais podem ainda ser divididas em: lipídios não polares primeiramente eluídos com clorofórmio em cromatografia ácida; glicolipídios, com acetona; e, finalmente, os fosfolipídios, com metanol. Todos os lipídios de grãos de cereais são mais ricos em lipídios não polares do que em outras classes: 77-87% no caso do arroz (Chung, 1991).

Os lipídios de grãos de cereais são ricos em ácidos graxos insaturados e, como todos os alimentos de origem vegetal, não contêm colesterol. O ácido palmítico (C16:0) é o ácido graxo saturado presente em maior concentração, e o ácido linoléico (C18:2), o maior ácido graxo insaturado para todos os cereais, exceto para o arroz integral, em que o ácido oléico (C18:1) se destaca como principal ácido graxo insaturado. A presença de ácido palmitoléico (C16:1) e ácido eicosenóico (C20:1) normalmente é reportada, mas usualmente em níveis abaixo de 1% da composição de ácidos graxos (Chung, 1991).

As composições de ácidos graxos de classes de lipídios não-amídicos em arroz integral e suas frações beneficiadas, germe, casca, farelo, polido, são similares, que por sua vez são substancialmente diferentes dos lipídios de amido. As classes de lipídios de amido apresentam composições de ácidos graxos semelhantes entre arroz integral e polido.

As doenças cardiovasculares constituem um grande problema do mundo moderno, sendo a principal causa de morte em homens e



mulheres. Níveis altos de colesterol estão associados a essas doenças, razão pela qual alimentos relacionados com tal condição têm sido amplamente estudados e manipulados na dieta. O desestímulo ao consumo de ácidos graxos saturados vem aumentando e dando ênfase ao consumo de ácidos graxos poliinsaturados e monoinsaturados. Dentre os ácidos graxos saturados, o ácido mirístico e o palmítico provocam o maior aumento de colesterol total e LDL, lipoproteína de baixa densidade, vulgarmente conhecida como “mau colesterol”, pois diminuem o número de receptores de LDLs no fígado, reduzindo seu catabolismo, alterando a composição das LDLs e formando partículas mais aterogênicas (Costa, 2003). A substituição de ácidos graxos saturados por monoinsaturados promove aumento das HDLs, lipoproteínas de alta densidade, ou “bom colesterol”, e diminuição dos níveis séricos de LDLs e de triacilgliceróis, além de tornar as LDLs menos suscetíveis à oxidação (Yu-Poth et al., 2000). Os monoinsaturados diminuem a agregação plaquetária e aumentam a fibrinólise e o tempo de coagulação, protegendo o organismo contra a trombogênese. Dentre os ácidos graxos poliinsaturados, encontram-se os essenciais, ácidos linolênico e linoléico, que não são sintetizados pelo organismo humano, destacando-se o ômega 3 (ω -3), ou ácido linolênico com três insaturações. Os ω -3 geram prostaglandinas e tromboxanos da série-3 e leucotrienos da série-5, que têm efeito antitrombótico, antivasoconstritor e antiinflamatório, podendo ser encontrados no óleo de arroz (Goffman et al., 2003), que a exemplo de outros óleos vegetais, é boa fonte de tocoferóis, antioxidantes lipossolúveis com atividade de vitamina E (Hirschberg, 1999). Evidências epidemiológicas indicam que a vitamina E auxilia a função imune e previne ou torna mais lentos os processos degenerativos relacionados com a idade, como a catarata, artrite e desordens do sistema nervoso, causados por danos cumulativos dos tecidos mediados pelas espécies reativas de oxigênio.

Altos conteúdos de ácidos graxos monoinsaturados, particularmente ácido oléico, são desejáveis, uma vez que promovem uma maior estabilidade dos óleos de cozinha. Os resultados de literatura indicam a possibilidade de aumentar as concentrações de ácido oléico e reduzir ácido linoléico por meio de técnicas convencionais de melhoramento genético do arroz (Goffman et al., 2003). Linhagens com baixo teor de ácido palmítico e alto teor de ácido oléico, como a IAC 201, por exemplo, são interessantes para elaboração de óleos de cozinha ou para salada, nos quais se deseja um baixo conteúdo de saturados e elevado teor de oléico. A variação observada no conteúdo lipídico e no perfil de ácidos graxos sugere a existência de material de melhoramento disponível para modificar o conteúdo de óleo e melhorar a qualidade lipídica no farelo de arroz (Goffman et al., 2003).



VITAMINAS E SAIS MINERAIS

Durante o beneficiamento, mais precisamente no polimento, o efeito abrasivo causa a remoção do pericarpo, de camadas do aleurona e do germe, tendo como consequência a redução drástica dos teores de vitaminas e sais minerais presentes nessas camadas que compõem o arroz integral (Juliano, 1972b; Eggum, 1979).

O grão de arroz polido pode ser enriquecido nutricionalmente, com o objetivo de restabelecer os níveis de minerais e vitaminas perdidos durante o processo de polimento do produto. Dentre os métodos tradicionais para o enriquecimento do arroz no beneficiamento figura o arroz pré-cozido, utilizando um processo de encharcamento térmico com uma solução de ácido acético e vitaminas solúveis em água, como tiamina, riboflavina, niacina e ácido pantotênico. Adicionalmente, os grãos podem ser recobertos por capas distintas de vitamina E, cálcio, ferro e um corante alimentar natural para prevenir a perda dos nutrientes durante a lavagem do produto antes do cozimento (Misaki & Yasumatsu, 1985).

Nos Estados Unidos, o arroz é enriquecido por duas formas distintas. A primeira é uma mistura em pó de tiamina, riboflavina, niacina e ferro adicionada ao arroz, com a recomendação de não lavá-lo nem escorrê-lo, após o cozimento, para evitar perdas. Uma outra forma de enriquecimento nutricional, consiste num processo conhecido na indústria americana como “premix”, onde o grão de arroz é tratado com vitaminas e sais minerais que não são perdidos durante a lavagem ou na água de cocção. Esse produto é obtido pela aplicação de uma mistura concentrada de nutrientes nos grãos, recobrimo-os adicionalmente com um material aprovado para consumo alimentar, insolúvel na água. Devido à alta concentração de nutrientes, apenas pequenas porções de grãos enriquecidos são misturadas ao arroz comum. Este processo pode ser utilizado em qualquer produto comercial, inclusive no arroz parboilizado (Hoffpauer, 1992).

Vale ressaltar que os grãos, especialmente suas farinhas, podem ser enriquecidos de minerais dentro de limites pré-estabelecidos pelos órgãos competentes. Normalmente, adiciona-se a quantidade que foi perdida pelo processamento do alimento, por exemplo, no beneficiamento.

O consumo de micronutrientes deve ser suficiente para prevenir deficiências e manter boa saúde. Em condições normais, uma dieta bem balanceada fornece as quantidades necessárias de todos os nutrientes para o funcionamento adequado do organismo. Em condições



fisiológicas específicas, no entanto, existe a possibilidade de a ingestão de nutrientes por meio de alimentos naturais ser inadequada. Em tais casos, suplementos, produtos fortificados e a biotecnologia podem corrigir esse problema.

Vitaminas

Os conteúdos de vitaminas variam de uma parte para outra do mesmo grão. Isso explica porque a remoção de certos componentes durante o processo de beneficiamento resulta em perda de vitaminas.

Quando considerados como um todo, os cereais são naturalmente pobres em lipídios e, portanto, tendem a ser pobres em vitaminas lipossolúveis tais como A, presente como carotenóides precursores de retinóides, D e K, bem como a vitamina C (ácido ascórbico). Os grãos de cereais e derivados, especialmente os enriquecidos, são importantes fontes de vitaminas do complexo B, particularmente tiamina, riboflavina, niacina e piridoxina (B₆) (Bock, 1991).

O arroz integral é considerado como fonte moderada de tiamina, provendo 100-1000 μg tiamina 100 g^{-1} grão. Já o farelo de arroz é classificado como rica fonte de tiamina, provendo de 1.000 - 10.000 μg 100 g^{-1} farelo (Kutsky, 1981).

Na Tabela 2.2, ilustram-se as diferenças no conteúdo vitamínico de um grão conforme suas frações. O germe de arroz contém o maior teor de tiamina, enquanto o arroz beneficiado, o menor.

Tabela 2.2 Conteúdo vitamínico do grão de arroz integral, polido e de alguns de seus componentes ($\text{mg } 100\text{ g}^{-1}$).

Vitamina	Arroz Integral	Arroz Polido	Farelo de Arroz	Germe de Arroz
Tiamina	0,34	0,07	2,26	6,5
Riboflavina	0,05	0,03	0,25	0,5
Niacina	4,7	1,6	29,8	3,3
Piridoxina	1,03	0,45	2,5	1,6
Ácido Pantotênico	1,5	0,75	2,8	3,0
Ácido Fólico	0,02	0,02	0,15	0,43

Fonte: Adaptada de Bock (1991).

A tiamina é a mais lábil dentre as diferentes vitaminas B encontradas ou adicionadas aos produtos de grãos de cereais. É estável sob condições ácidas, mas destruída em grandes porcentagens quando



exposta ao ar, especialmente a pH mais alto, sob autoclavagem, e durante exposição a sulfitos e álcalis.

O arroz é deficiente em riboflavina, mas o farelo contém teores moderados ($100 - 1.000 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) (Watt & Merrill, 1975; Kutsky, 1981). Diferente da tiamina, a riboflavina varia muito pouco entre os componentes do arroz. É estável quando exposta ao calor seco ou em meio ácido. Entretanto, é muito sensível à luz, sendo mais destruída conforme o pH e a temperatura aumentam.

A niacina é encontrada em grãos de cereais nas formas ligada e livre. Considerando-se que a forma ligada é muito pouco utilizada pelos humanos, a niacina adicionada no processo de enriquecimento torna-se uma importante contribuição para atender as recomendações nutricionais dessa vitamina. Em geral, a niacina é considerada estável ao ar, luz, calor, ácidos e bases. O arroz integral é uma fonte moderada de niacina ($1.000 - 10.000 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), enquanto o farelo de arroz é tido como alta fonte dessa vitamina (Watt & Merrill, 1975; Kutsky, 1981).

A vitamina B6 (piridoxina) é constituída por três compostos diferentes: piridoxina, piridoxal e piridoxamina, sendo o primeiro o mais abundante. O arroz contém a maior quantidade de vitamina B6 entre os cereais, sendo o integral considerado alta fonte ($1.000 - 10.000 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$). A vitamina B6 na forma de piridoxina é estável quando exposta ao calor, bases ou ácidos fortes, mas é sensível à luz, especialmente luz ultravioleta, na presença de álcali. Contrariamente, a piridoxal e a piridoxamina são afetadas pela exposição ao ar, calor e luz. Todas as formas dessa vitamina são destruídas a pH neutro quando expostas à luz ultravioleta.

Com relação às outras vitaminas em cereais, as informações são esparsas. Nas frações do grão de arroz, o ácido fólico tende a se concentrar no germe. Grandes perdas de ácido fólico são observadas sob temperatura de autoclavagem na presença de ácidos e álcalis. Essa destruição é aumentada pelo oxigênio e luz.

O arroz é considerado como moderada fonte de ácido pantotênico ($0,5 - 2,0 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), mas boa parte é perdida no beneficiamento. Contém quantidades médias de biotina ($10 - 100 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$), vitamina relativamente estável quando exposta ao ar, oxigênio e luz ultravioleta (Kutsky, 1981).

A deficiência de vitamina A é um problema de saúde pública em mais de 70 países. Duzentos e cinquenta milhões de crianças são deficientes dessa vitamina e 3 milhões delas desenvolvem xerofthalmia



a cada ano (FAO, 2004). Essa vitamina é requerida para visão, crescimento, reprodução, proliferação, diferenciação celular e integridade do sistema imune. Alimentos de origem animal fornecem a vitamina A como retinol pré-formado, principalmente como ésteres de retinila, enquanto os vegetais, como carotenóides com atividade pró-vitáminica A (FAO, 2004).

A aplicação da biotecnologia em alimentos para aumentar o teor de β -caroteno tem sido considerada uma opção válida para o combate à deficiência de vitamina A nas populações carentes (Winter & Rodriguez, 1997).

A engenharia genética foi usada para produzir grãos de arroz ricos em β -caroteno. O endosperma de arroz imaturo pode sintetizar o composto intermediário geranylgeranyl difosfato, uma molécula isoprenóide de 20 carbonos. A condensação de duas moléculas de geranylgeranyl difosfato produz o fitoeno, que tem 40 carbonos e é o primeiro carotenóide precursor da produção de β -caroteno na via biossintética, pela expressão da enzima fitoeno sintase. A síntese de β -caroteno no fitoeno requer complementação com três enzimas: a dessaturase fitoeno, a dessaturase β -caroteno e a licopeno β -ciclase (Zimmermann & Hurrell, 2002). O fitoeno age como precursor do licopeno, que é convertido em carotenos (Dunwell, 1999).

A introdução simultânea desses genes no arroz foi um dos maiores avanços tecnológicos, o que resultou em 1,6 a 2 μg de β -caroteno/g do alimento fresco (Zimmermann & Hurrell, 2002). O *Golden rice*, o arroz-dourado e geneticamente modificado para expressar alto conteúdo de carotenos, tem recebido atenção da mídia pelo seu potencial para suprir pró-vitamina A a milhões de indivíduos. Desenvolvido em 1990 por pesquisadores alemães e suíços, com financiamento da Fundação Rockefeller, apresenta potencial para participar de cruzamentos genéticos com variedades locais de arroz. Três genes tirados do narciso-silvestre e da bactéria *Erwinia* sp. foram inseridos no arroz para gerar um grão amarelo, com altos níveis de β -caroteno, que é convertido em vitamina A no organismo. Esforços iniciais com o *Golden rice* têm-se concentrado na Índia, mas essa tecnologia deverá se estender a outros países da Ásia, África e América do Sul.

O *Golden rice*, mesmo apresentando ainda baixos níveis de β -caroteno, pode ser indicado como importante alternativa no combate à cegueira em países de grande consumo de arroz e cuja dieta é deficiente em carotenóides, diferentemente de países onde a diversidade de frutas, especialmente as amarelo-alaranjadas, e hortaliças, principalmente folhas verde-escuro, é grande.



Minerais

O conteúdo médio do mineral de um certo grão varia significativamente de acordo com a região de origem. Fatores como tipo de grão, variedade, condições de crescimento e aplicação de fertilizante podem influenciar esse teor.

Com relação ao teor de ferro, o arroz apresenta baixos níveis (0,1 - 1,0 mg 100 g⁻¹), porém o farelo de arroz e o farelo e germe de trigo são fontes de ferro (5 - 18 mg 100 g⁻¹). O arroz integral possui níveis moderados desse mineral (Kutsky, 1981).

As informações a respeito do conteúdo de zinco em grãos de cereais são limitadas. Com base nos dados disponíveis, o teor de zinco é maior em trigo e menor em arroz. O arroz integral possui quantidades moderadas (0,4 - 4 mg 100 g⁻¹) em detrimento da pobre fonte do arroz polido (Underwood, 1977; Kutsky, 1981).

Aproximadamente 95% de toda a matéria mineral de grãos de cereais consistem de fitatos, fosfatos e sulfatos de cálcio, magnésio e potássio (Hazell, 1985). Comparado com outros minerais, o fósforo é encontrado em grandes quantidades nesses grãos. Na maior parte das vezes, está associado com o ácido fítico (ácido hexafosfórico mioinositol) e seus sais. Em arroz, 80% ou mais do fósforo total estão presentes na forma de fitato, forma não absorvida pelo organismo. Mais de 80% do fitato está localizado no pericarpo do arroz. Comparado com outros cereais, o grão de arroz polido apresenta os menores níveis de fósforo, em torno de 285 mg 100 g⁻¹, sendo considerado uma fonte moderada desse elemento numa dieta básica (100 - 200 mg 100 g⁻¹). Já o arroz integral e o farelo de arroz são classificados como fontes ricas de fósforo (200 - 1.200 mg 100 g⁻¹).

O fitato, uma molécula de açúcar/álcool ligada a seis grupos de fosfato, é uma fonte de fósforo para a semente, necessária para a germinação (Raboy, 2001). Altos conteúdos de fitato estão associados com elevados teores de ferro e zinco (Graham et al., 1999). Entretanto, o fitato é um fator antinutricional na alimentação porque quelata ferro, cálcio, zinco e outros íons divalentes, tornando-os indisponíveis para absorção. Tal efeito negativo do ácido fítico causa maior impacto em países em desenvolvimento, onde grande parte da população tem, como principal fonte desses minerais, cereais, tubérculos e leguminosas, bem como acesso limitado a alimentos de origem animal.

Apesar do fitato ser considerado um fator antinutricional presente especialmente no arroz integral e no farelo de arroz, importante se faz



ressaltar que o cozimento doméstico do alimento reduz o conteúdo de ácido fítico em, aproximadamente, dois terços, fato atribuído especialmente à aplicação de calor (Oberleas, 1973; Toma & Tabekhia, 1979).

Além do hexafosfato de inositol (IP₆), forma predominante de ácido fítico encontrada nos grãos crus de cereais, dietas ou alimentos à base de grãos processados contêm quantidades apreciáveis de ésteres de ácido fítico parcialmente fosforilados, tais como mono (IP1), di (IP2) e tri (IP3) fosfatos de inositol (IP), que por sua vez, não apresentam ação inibidora como as formas hexa e penta (Persson et al., 1998; Agte et al., 1999).

Por outro lado, sabe-se que o ácido fítico é um potente antioxidante que pode inibir peroxidações lipídicas *in vivo* (Galey, 1997). Os efeitos benéficos do mioinositol na saúde, como o de agente antioxidante, são mais evidentes nos países desenvolvidos, onde a maior preocupação recai sobre patologias relacionadas com o envelhecimento por dano oxidativo (Brinch-Pedersen et al., 2002).

A extensão de hidrólise de IP₆ pode variar conforme o tipo de refeição ou de método de cozimento, que, por sua vez, afetará a biodisponibilidade de ferro e zinco. As propriedades antioxidantes do ácido fítico podem variar também com o número de grupos fosfato ligados ao anel inositol. Portanto, o efeito real do ácido fítico sobre a biodisponibilidade do mineral traço e a função antioxidante dependerá da distribuição percentual de cada forma individual. Desse modo, é sensato e desejável considerar-se o ácido fítico não como um fator isolado, mas como uma série de formas, e estudar a cinética de suas interconversões. Isso pode também indicar se a degradação do fitato é específica para a composição de ingredientes da dieta ou para o método de cozimento (Agte et al., 1999).

A deficiência de micronutriente é um grande problema de saúde pública, particularmente a deficiência de ferro que atinge um terço da população mundial (Unicef, 2002). Uma das dificuldades de solucionar o problema está no fato de os alimentos mais ricos em ferro biodisponível, serem, em geral, de origem animal e, por isso, pouco acessíveis a camadas da população de menor poder aquisitivo, cuja dieta consiste, primariamente, de cereais. Muitos desses alimentos básicos não só são pobres em micronutrientes, como também apresentam fatores antinutricionais, reduzindo a biodisponibilidade de minerais (Bouis, 1999; Lucca et al., 2002).



Estratégias como a suplementação de ferro e a fortificação de alimentos vêm sendo propostas. Embora tenha suas aplicações, a suplementação medicamentosa geralmente causa efeitos colaterais, enquanto a fortificação pode provocar alterações da cor e do sabor do produto ou baixa biodisponibilidade do mineral. O enriquecimento dos alimentos com ferro, por meio do melhoramento genético ou da biotecnologia, é uma alternativa com perspectivas sustentáveis para produtos que fazem parte da dieta básica de populações, substituindo os suplementos dietéticos ou a fortificação convencional. Oferece ainda a possibilidade de aumentar a produtividade, geralmente limitada pela deficiência mineral das plantas (Grotz & Guerinot, 2002). O conteúdo de ferro nos tecidos vegetais pode crescer pela sua maior captação do solo. Culturas como milho, trigo e arroz, usam a quelação com compostos de baixo peso molecular como estratégia para obter ferro do solo. Da família dos fitossideróforos, tais compostos são liberados no solo, onde se ligam ao Fe^{3+} , transportando-o para o vegetal. Para que a manipulação transgênica possa tornar maior o conteúdo de mineral em algum tecido específico dos vegetais, é necessário não somente elevar sua absorção pela raiz, mas também conduzi-lo aos diversos órgãos da planta (Grusak, 2002). A superexpressão da fitoferritina, por exemplo, proteína de reserva de ferro, pode ativar o sistema de transporte do mineral.

Com o objetivo de elevar o teor de ferro do arroz polido, esse alimento recebeu genes que expressam três proteínas em seu endosperma central: a fitoferrina de *Phaseolus*, uma proteína semelhante à metalotioneína, rica em cisteína endógena, e uma fitase de *Aspergillus fumigatus* termorresistente. Sendo expressa em maior quantidade no arroz, a proteína semelhante à metalotioneína aumentou, nos grãos, o conteúdo de resíduos de cisteína em sete vezes e o nível de fitase em 130 vezes. Isso possibilita uma atividade da fitase suficiente para degradar completamente o ácido fítico. Entretanto, a proteína fitase do fungo perde a ação após a cocção do arroz. A expressão de fitoferrina pode dobrar o conteúdo de ferro no endosperma de arroz, variando de 1,15 a 2,21 mg 100 g⁻¹, em comparação com o arroz-controle, que apresenta de 1,0 a 1,1 mg de ferro 100 g⁻¹, e aproximando-se do conteúdo do arroz integral, com a vantagem daquele apresentar menor teor de fitato e, portanto, maior biodisponibilidade de ferro. Os peptídeos ricos em cisteína melhoram a absorção de ferro no intestino, pois formam quelatos estáveis e absorvíveis. Outra opção para aumentar o conteúdo do mineral em plantas é a introdução de ácido ascórbico, de hemoglobina e de peptídeos contendo cisteína em seu tecido vegetal (Zimmermann & Hurrell, 2002).



No caso do zinco, as estratégias do melhoramento genético incluem o aumento de sua concentração, a redução da quantidade de ácido fítico e a elevação do teor de aminoácidos sulfurados (metionina e cisteína) nos vegetais, já que eles aumentam a absorção desse mineral pelas plantas. Para que a incorporação de zinco proporcione aumento na quantidade absorvida, o mineral deve estar em alta concentração e numa forma em que possa ser absorvido. Além disso, sua biodisponibilidade precisa ser igual ou superior a de variedades com baixas concentrações de zinco (Ruel & Bouis, 1998). Um aumento de 75% no conteúdo do mineral foi associado à elevação de 40% na quantidade de zinco total absorvida (Zimmermann & Hurrell, 2002).

REFERÊNCIAS

- AGTE, V. V.; TARWADI, K. V.; CHIPLONKAR, S. A. Phytate degradation during traditional cooking: significance of the phytic acid profile in cereal-based vegetarian meals. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 12, n. 3, p. 161-167, Sept. 1999.
- BOCK, M. A. Minor constituents of cereals. In: LORENZ, K. J.; KULP, K. (Ed.). **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 555-594. (Food Science and Technology, 41).
- BOUIS, H. E. Economics of enhanced micronutrient density in food staples. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1/2, p. 165-173, Jan. 1999.
- BRINCH-PEDERSEN, H.; SORENSEN, L. D.; HOLM, P. B. Engineering crop plants: getting a handle on phosphate. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 7, n. 3, p. 118-125, Mar. 2002.
- CHUNG, O. K. Cereal lipids. In: LORENZ, K. J.; KULP, K. (Ed.). **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 497-554. (Food Science and Technology, 41).
- CHUNG, O. K.; POMERANZ, Y. Amino acids in cereal proteins and protein fractions. In: FINLEY, J. W.; HOPKINS, D. T. (Ed.). **Digestibility and amino acid availability in cereals and oilseeds**. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 65-107.
- CLARE, D. E.; SWAISGOOD, H. E. Bioactive milk peptides : a prospectus. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 83, n. 6, p. 1187-1195, June 2000.
- COSTA, N. M. B. Alimentos: componentes nutricionais e funcionais. In: COSTA, N. M. B.; BORÉM, A. (Coord.). **Biotecnologia e nutrição: saiba como o DNA pode enriquecer a qualidade dos alimentos**. São Paulo: Nobel, 2003. p. 31-69.
- COSTA, N. M. B.; BORÉM, A. (Coord.). **Biotecnologia e nutrição: saiba como o DNA pode enriquecer a qualidade dos alimentos**. São Paulo: Nobel, 2003. 214 p.
- COSTA, N. M. B.; LIBERATO, S. C. Biotecnologia na nutrição e saúde. In: COSTA, N. M. B.; BORÉM, A. (Coord.). **Biotecnologia e nutrição: saiba como o DNA pode enriquecer a qualidade dos alimentos**. São Paulo: Nobel, 2003. p. 71-127.



DAMARDJATI, D. S.; SOEKARTA, S. T.; NUR, A.; SIWI, B. H. Evaluation of protein quality and properties on 6 varieties of Indonesian rice. **Indonesian Journal of Crop Science**, Jakarta, v. 1, n. 1, p. 1-20, 1985.

DATTA, S.; BOUIS, H. E. Application of biotechnology to improving the nutritional quality of rice. **Food and Nutrition Bulletin**, Tokyo, v. 21, n. 4, p. 451-456, 2000.

DE DATTA, S. K.; OBCEMEA, W. N.; JANA, R. K. Protein content of rice grain as affected by nitrogen fertilizer and some triazines and substituted ureas. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n. 6, p. 785-788, Nov./Dec. 1972.

DUNWELL, J. M. Transgenic crops: the next generation, or an example of 2020 vision. **Annals of Botany**, London, v. 84, n. 3, p. 269-277, Sept. 1999.

EGGUM, B. O. The nutritional value of rice in comparison with other cereals. In: WORKSHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1979, Los Baños, Philippines. **Proceedings...** Los Baños: IRRI, 1979. p. 91-111.

FAO. **Human vitamin and mineral requirements**: report of a joint FAO/WHO expert consultation. Rome: FAO: WHO, 2002. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/004/Y2809E/Y2809E00.HTM>. Acesso em: 01 dez. 2004.

GALEY, J. P. Potential use of iron chelators against oxidative damage. **Advances in Pharmacology**, San Diego, v. 38, p. 167-203, 1997.

GOFFMAN, F. D.; PINSON, S. R.; BERGMAN, C. J. Genetic diversity for lipid content and fatty acid profile in rice bran. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Chicago, v. 80, n. 5, p. 485-490, May 2003.

GOLDBERG, I. **Functional foods, designer foods, pharmafoods, nutraceuticals**. New York: Chapman & Hall, 1994. 571 p.

GOMEZ, K. A. Effect of environment on protein and amylose content of rice. In: WORKSHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1979, Los Baños, Philippines. **Proceedings...** Los Baños: IRRI, 1979. p. 59-68.

GOMEZ, K. A.; DE DATTA, S. K. Influence of environment on protein content of rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 67, n. 4, p. 565-568, July/Aug. 1975.

GRAHAN, R.; SENADHIRA, D.; BEEBE, S.; IGLESIAS, C.; MONASTERIO, I. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1/2, p. 57-80, Jan. 1999.

GROTZ, N.; GUERINOT, M. L. Limiting nutrients: an old problem with new solutions? **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 5, n. 2, p. 158-163, Apr. 2002.

GRUSAK, M. A. Enhancing mineral content in plant food products. **Journal of the American College of Nutrition**, New York, v. 21, n. 3, p. 178S-183S, June 2002. Suplemento.



HAZELL, T. Minerals in foods: dietary sources, chemical forms, interactions, bioavailability. **World Review of Nutrition and Dietetics**, Basel, v. 46, p. 1-123, 1985.

HIRSCHBERG, J. Production of high-value compounds: carotenoids and vitamin E. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 10, n. 2, p. 186-191, Apr. 1999.

HOFFPAUER, D. W. Rice enrichment for today. **Cereal Foods World**, St. Paul, v. 37, n. 10, p. 757-759, Oct. 1992.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes**: proposed definition of dietary fiber. Washington: National Academy Press, 2001. 74 p.

JULIANO, B. O. Criteria and tests for rice grain qualities. In: JULIANO, B. O. (Ed.) **Rice**: chemistry and technology. 2. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 443-524.

JULIANO, B. O. Rice starch: production, properties and uses. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N.; PASCHALL, E. F. (Ed.). **Starch**: chemistry and technology. 2. ed. Orlando: Academic Press, 1984. p. 507-528.

JULIANO, B. O. Rice bran and polish. In: HOUSTON, D. F. (Ed.). **Rice**: chemistry and technology. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1972a. p. 272-300.

JULIANO, B. O. The rice caryopsis and its composition. In: HOUSTON, D.F. (Ed.). **Rice**: chemistry and technology. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1972b. p. 16-74.

JULIANO, B. O.; GODDARD, M. S. Cause of varietal difference in insulin and glucose responses to ingested rice. **Qualitas Plantarum - Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 36, n. 1, p. 35-41, 1986.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data of rice from a plant genetic resource perspective. **Food Chemistry**, Barking, v. 80, n. 4, p. 589-596, Apr. 2003.

KIM, S. I.; JO, D. H. Fractionation and electrophoretic patterns of rice proteins. **Journal of Korean Agricultural and Chemistry Society**, v. 26, n. 1, p. 65-72, Mar. 1983.

KUTSKY, R. J. **Handbook of vitamins, minerals and hormones**. 2. ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1981. 492 p.

LOOKHART, G. L. Cereal proteins: composition of their major fractions and methods for identification. In: LORENZ, K. J.; KULP, K. (Ed.). **Handbook of cereal science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 441-468. (Food Science and Technology, 41).

LUCCA, P.; HURRELL, R.; POTRYKUS, I. Fighting iron deficiency anemia with iron-rich rice. **Journal of the American College of Nutrition**, New York, v. 21, n. 3, p. 184S-190S, June 2002. Suplemento.

MENDEZ, M. H. M.; DERIVI, S. C. N.; RODRIGUES, M. C. R.; FERNANDES, M. L **Tabela de composição de alimentos**. Niterói: EDUFF, 1995. 41 p.

MISAKI, M.; YASUMATSU, K. Rice enrichment and fortification. In: JULIANO, B. O. (Ed.). **Rice**: chemistry and technology. 2. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985. p. 389-401.



NANDA, J. S.; COFFMAN, W. R. IRRI's efforts to improve the protein content of rice. In: WORKSHOP ON CHEMICAL ASPECTS OF RICE GRAIN QUALITY, 1979, Los Baños, Philippines. **Proceedings...** Los Baños: IRRI, 1979. p. 33-47.

OBERLEAS, D. P. **Toxicants occurring naturally in foods**. Washington: National Academy of Science, 1973. 363 p.

PALMIANO, E. P.; ALMAZAN, A. M.; JULIANO, B. O. Physicochemical properties of protein of developing and mature rice grain. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 45, n. 1, p. 1-12, Jan. 1968.

PERSSON, H.; TURK, M.; NYMAN, M.; SANDBERG, A. S. Binding of Cu²⁺, Zn²⁺ and Cd²⁺ to inositol tri-, tetra-, penta-, and hexaphosphates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 46, n. 8, p. 3194-3200, Aug. 1998.

RABOY, V. Seeds for a better future: 'low phytate' grains help to overcome malnutrition and reduce pollution. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 6, n. 10, p. 458-462, Oct. 2001.

RAMESH, M.; ZAKIYUDDIN, A.; ALI, S. Z.; BHATTACHARYA, K. R. Structure of rice starch and its relation to cooked-rice texture. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 38, n. 4, p. 337-347, Apr. 1999.

RUEL, M. T.; BOUIS, H. E. Plant breeding: a long-term strategy for the control of zinc deficiency in vulnerable populations. **American Journal of Clinical Nutrition**, New York, v. 68, n. 2S, p. 488S-494S, Aug. 1998.

SARKAR, R.; BOSE, S. Electrophoretic characterization of rice varieties using single seed (salt soluble) proteins. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 68, n. 5, p. 415-419, Aug. 1984.

SGARBIERI, V. C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades-degradações-modificações**. São Paulo: Varela, 1996. p. 139-257.

SIMPSON, J. E.; ADAIR, C. R.; KHOLER, G. O.; DAWSON, E. H.; DEOBALD, H. J.; KESTER, E. B.; HOGAN, J. T.; BATCHER, O. M.; HALICK, J. V. **Quality evaluation studies of foreign and domestic rices**. Washington: USDA, 1965. 183 p. (USDA. Technical Bulletin, 1331).

TAIRA, H. Grain quality: physicochemical properties and quality of rice grains. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H. (Ed.). **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Police Research Center, 1995. v. 2, p. 1063-1089.

TECSON, E. M.; ESMANA, B. V.; LONTOK, L. P.; JULIANO, B. O. Studies on the extraction and composition of rice endosperm glutelin and prolamin. **Cereal Chemistry**, St. Paul, v. 48, n. 2, p. 168-181, Apr. 1971.

TOMA, R. B.; TABEKHIA, M. M. Changes in mineral elements and phytic acid contents during cooking of three California rice varieties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 44, n. 2, p. 619-621, Mar./Apr. 1979.



UNDERWOOD, E. J. **Trace elements in human and animal nutrition**. 4. ed. New York: Academic Press, 1977. 545 p.

UNICEF. **Nutrition**: 18 nations fortify foods. Disponível em: <<http://www.unicef.org/pon96/nufortif.htm>>. Acesso em: 05 jul. 2002.

VANDEPUTTE, G. E.; VERMENLEY, R.; GEEROMS, J.; DELCOUR, J. A. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behaviour of granular starch. **Journal of Cereal Science**, London, v. 38, n. 1, p. 43-52, Jul. 2003.

VILLAREAL, R. M.; JULIANO, B. O. Properties of glutelin from mature and developing rice grain. **Phytochemistry**, New York, v. 17, n. 2, p. 177-182, 1978.

WATT, B. K.; MERRILL, A. L. **Composition of foods**: raw, processed, prepared. Washington: USDA, 1975. 147 p. (USDA. Agriculture Handbook, 8).

WINTER, K.; RODRIGUEZ, G. Consumers' views on nutrition and public health. **Proceedings of the Nutrition Society**, Cambridge, v. 56, p. 879-888, 1997.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**. Geneva, 2003. 149 p. (WHO. Technical Report Series, 916).

YU-POTH, S.; ETHERTON, T. D.; REDDY, C. C.; PEARSON, T. A.; REED, R.; ZHAO, G.; JONNALAGADDA, S.; WAN, Y.; KRIS-ETHERTON, P. M. Lowering dietary saturated fat and total fat reduces the oxidative susceptibility of LDL in healthy men and women. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 130, n. 9, p. 2228-2237, Sept. 2000.

ZIMMERMANN, M. B.; HURRELL, R.F. Improving iron, zinc and vitamin A nutrition through plant biotechnology. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 13, n. 2, p. 142-145, Apr. 2002.

