

# Indústria do milho

*Wilton Soares Cardoso<sup>1</sup>*

*Flávia de Abreu Pinheiro<sup>2</sup>*

*Fabiano de Paula Machado<sup>3</sup>*

*João Tomaz da Silva Borges<sup>4</sup>*

*Sara de Almeida Rios<sup>5</sup>*

O milho é considerado o ouro dos cereais, não somente pela cor, mas por se tratar de uma fonte agrícola com inúmeras aplicações, que vai desde um simples legume, quando consumido ainda verde, até uma fonte de combustível, na geração de etanol.

A partir do milho, obtêm-se centenas de derivados, empregados em várias indústrias, como: alimentícia e química (amido, dextrina, glicose, óleo, margarina, fermento, entre outros); bebidas (licores, refrigerantes, vinhos, entre outros); fermentação (enzimas, acetonas e outros); química e mecânica (fundição de metais, plásticos, entre outros); e rações (utilizado na composição de rações,

---

<sup>1</sup> Engenheiro de Alimentos, Doutorando da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: wiltonscardoso@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Engenheira de Alimentos, M.S. Pesquisador da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: flaviadeabreupinheiro@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Engenheiro de Alimentos, D.S. Universidade Federal de Viçosa. E-mail: fabianoppmachado@gmail.com.

<sup>4</sup> Economista Doméstico, D.S. e Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. E-mail: jtsborges@yahoo.com.br.

<sup>5</sup> Engenheira-Agrônoma, D.S. e Pesquisadora Embrapa/CPAA. E-mail: sara.rios@cpaa.embrapa.br.

participando na forma de grão moído integralmente, farelo, germen, protenose e refinasil).

Em sua cadeia produtiva e tecnológica (Figura 1), utiliza-se desde a alta tecnologia, em grandes multinacionais, ou até mesmo venda direta sem processamento, realizada por pequenos produtores.

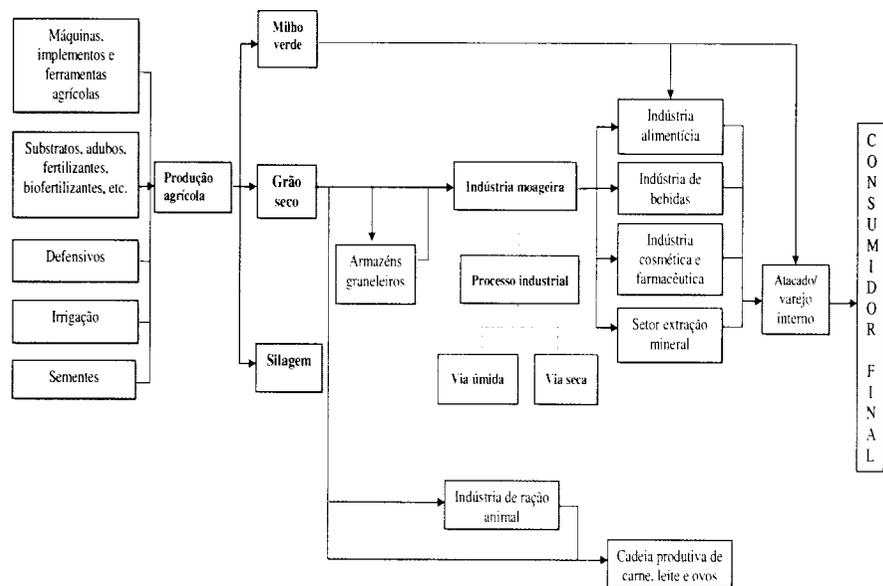


Figura 1 - Cadeia produtiva do milho.

Fonte: Adaptado de Codeagro.

Na alimentação humana, esse cereal é consumido sob diversos tipos de processamento, em variados produtos ao redor do mundo (Figura 2 e Tabela 1).

No Brasil, o milho pode ser aproveitado ainda imaturo para colheita, como no caso do milho-verde, geralmente consumido cozido, assado ou em conservas. É também utilizado na fabricação de inúmeros pratos doces e salgados, como cuscuz, pães, bolos, polentas, pamonhas, curau, creme de milho, além de óleo, xarope, farinhas e bebidas destiladas.

Produtos do milho (amido, óleo, grãos, farelo e farinha) são empregados em muitos alimentos. O amido é utilizado principalmente como edulcorantes (xaropes), etanol e como ingredientes em produtos de panificação, alimentos infantis, molhos e sopas. O óleo de milho é

utilizado em saladas e na preparação de alimentos, maionese, margarina, molhos e sopas. Griets são usados para fazer cereais (flocos) e lanches, bem como para a produção de bebidas alcoólicas. O fubá é utilizado em pães e bolos, e a farinha, em panquecas e lanches. O farelo é usado como fonte de fibras dietéticas.

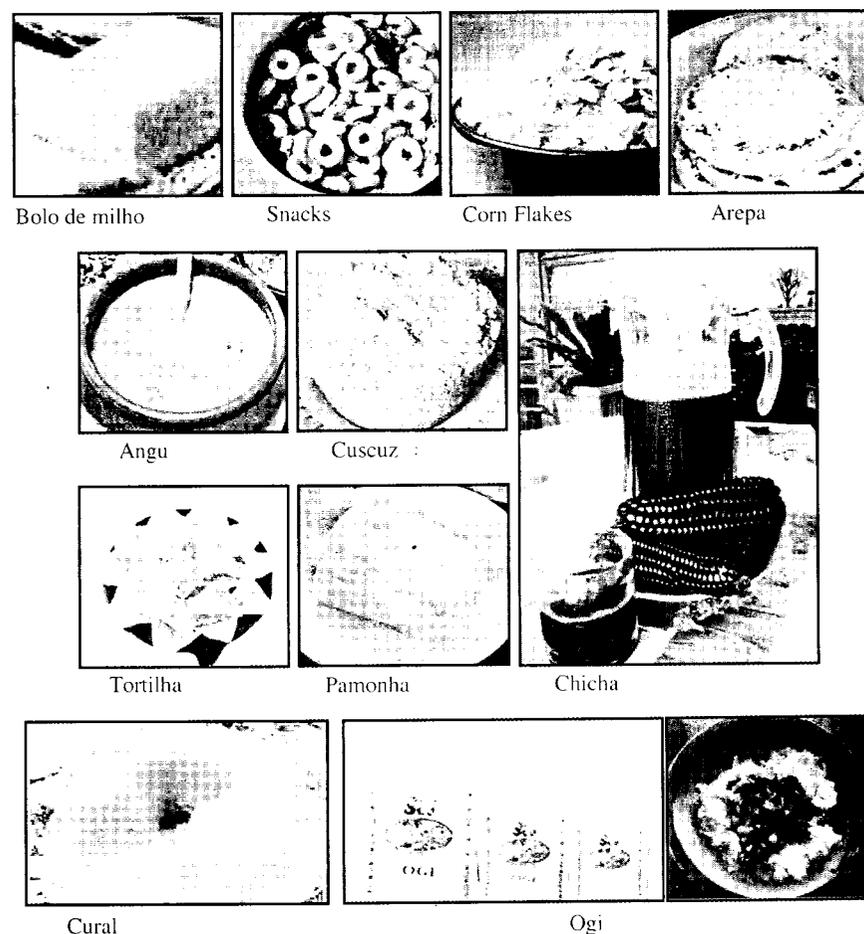


Figura 2 - Produtos e pratos derivados do milho.

Nos Estados Unidos, o uso direto do milho na alimentação humana é relativamente pequeno, embora haja grande produção de

cereais matinais, como flocos de cereais ou *corn flakes* e xarope de milho, utilizado como adoçante.

Tabela 1 - Descrição de tipos de alimentos de milho e processos envolvidos

| Tipo de Alimento                              | Processo de produção   |
|---|--|
| Não maduro                                    | O milho-verde pode ser assado, utilizado para produção de conservas enlatadas, ou ainda para produção de mingau.   |
| Não fermentado                                | Frações secas moídas são cozidas em água, ou em soluções ácidas ou alcalinas, para gelatinização do amido e desenvolvimento de textura e <i>flavor</i> . Mingaus são classificados como grosso e fino, de acordo com sua textura e consistência final. Grits são cozidos em água para produção de uma massa moldada em círculos, que é cozida em água fervente ou em forno.                                    |
| Fermentado                                    | Grão de milho ou frações moídas são embebidos em água e permitem uma fermentação natural por dias, abaixando o pH e produzindo um perfil de <i>flavor</i> característico. O grão ou farinha fermentada passa por moagem úmida, suspensos e peneirados antes de adicionar os compostos de sabor (açúcar, pimenta). Massas fermentadas são cozidas no vapor em chapa quente, para produção de uma fina panqueca. |
| Alimentos cozidos<br>( <i>Steamed foods</i> ) | Farinha de milho é amassada com água para produção de um aglomerado, que é cozido no vapor em recipiente próprio.  |
| Cozimento com cal ( <i>Lime-cooked</i> )      | O milho é cozido com cal (CaO), lavado e moído em uma massa. Pequenos pedaços são moldados em círculos e cozidos em uma chapa quente, para produção das tortilhas. A massa é a base para a preparação de muitos pratos tradicionais.   |
| Pães  | Farinha de milho e farinha de trigo são misturadas com fermento químico e amassadas, formando uma massa homogênea, que depois é assada.  |
| Bebidas alcoólicas                            | Milho germinado ou cereais maltados são usados como fonte de enzimas para degradação do amido da farinha de milho e produção de açúcares fermentescíveis. A solução resultante é fermentada com bactérias lácticas e, ou, leveduras para produção de uma cerveja opaca.  |

Fonte: Adaptado de SALDIVAR: ROONEY, 1994.

Na Nigéria e em outros países da África, o grão de milho-branco é fermentado para fabricação de ogi – primeiro alimento nativo dado aos bebês quando desmamados. É geralmente obtido por meio de maceração do grão em água morna por período de dois a três dias,

seguido de drenagem, moagem, peneiragem e fermentação, sendo vendido como bolinhos úmidos enrolados em folhas (JAY, 2005).

Na Colômbia e Venezuela, é descascado, degerminado e pré-cozido para produção das arepas. Em outros países da América do Sul, como Peru, do milho é obtida uma bebida alcoólica muito popular, denominada “chicha”, herança dos Maias.

No México o seu uso é muito importante, por ser a base da alimentação da população – trata-se do ingrediente principal das tortilhas.

No Brasil, apesar de inúmeros produtos de milho, este não está integrado ao hábito alimentar de toda a população, tendo sido quase totalmente substituído pelo trigo a partir do término da Segunda Grande Guerra. Apenas cerca de 15% da produção nacional destina-se ao consumo humano, tendo, portanto, seu potencial pouco explorado para obtenção de produtos por meio da industrialização ampla e sofisticada, como ocorre nos países desenvolvidos (ABIMILHO, 2010; ALMEIDA, 1993).

Em contraste, nos EUA, o milho destinado à industrialização atinge volumes extraordinários; processos altamente sofisticados são aplicados na transformação desse cereal em vários produtos alimentícios e não alimentícios (ALMEIDA, 1993).

Apesar das recentes mudanças no perfil de comercialização do grão no Brasil, pouco avanço tem ocorrido no setor de industrialização desse cereal, uma vez que seu aproveitamento não é completo e a variedade de produtos é ainda restrita.

Os derivados do milho mais consumidos no País são farinha, canjica e fubá, obtidos pelo processo conhecido como moagem a seco.

A industrialização do milho, para produção de alimentos e outros produtos, é dividida em dois processos: um menos tecnológico, obtendo-se produtos com menor valor agregado – processo de moagem a seco; e o outro, com ampla aplicação tecnológica, é o processo de moagem úmida, realizado por grandes empresas, gerando produtos de maior valor agregado.

## Pré-processamento do milho

As etapas de pré-processamento do milho caracterizam-se pela colheita, secagem, limpeza, armazenamento e acondicionamento dos grãos.

A colheita do milho é altamente mecanizada em países desenvolvidos, ao passo que nos países em desenvolvimento ela ainda é feita manualmente. O sistema mecanizado remove a espiga da planta e os grãos do sabugo, enquanto na colheita manual é exigida a remoção inicial da espiga e, numa etapa posterior, a remoção do grão dela. Em ambas as situações, o milho é normalmente colhido quando o teor de umidade se encontra entre 18% e 24%.

A secagem, apesar de permitir conservação segura dos grãos por um período de tempo relativamente longo (LAZZARI, 1999), é uma operação crítica que pode causar danos expressivos à qualidade, com reflexos tanto no valor nutritivo como no rendimento industrial dos grãos de milho. Essencialmente, podem ser considerados dois métodos de secagem: natural e artificial (HALL, 1980).

A secagem natural do grão de milho na planta ainda é um método corriqueiro em muitas propriedades brasileiras. A permanência do milho no campo traz o inconveniente de expô-lo a condições adversas de clima, ataque de pragas e maior suscetibilidade de trincamento na trilhagem.

A secagem artificial permite a rápida redução da umidade das sementes, evitando alterações fisiológicas, como: oxidação dos nutrientes, fermentações intracelulares e desenvolvimento de bactérias e fungos, geralmente acompanhados pelo aquecimento das sementes. A secagem artificial baseia-se, principalmente, na passagem forçada de ar através do produto, em temperatura ambiente ou aquecido (BOLDUC, 1978).

De acordo com a capacidade de processamento da fábrica ou a produção nas fazendas, há necessidade de manter grande estoque armazenado. O armazenamento pode conter milho por dias, ou meses, desde que sejam seguidos adequadamente padrões e normas para armazenagem de grãos.

Os grãos estocados estão sujeitos ao ataque de insetos. Além disso, a qualidade do milho tem sido prejudicada por deficiências na pré-colheita e no armazenamento, havendo problemas frequentes com o surgimento de micotoxinas, o que compromete a qualidade do cereal e sua segurança alimentar. Assim, devem-se adotar medidas como fechamento hermético dos silos e locais de armazenamento, com fumigações periódicas e ações preventivas ao ataque de roedores.

Para se obter milho com qualidade satisfatória e com redução do risco de deterioração por fungos, é recomendável o controle do teor

de umidade ( $< 13\%$ ) e da temperatura ( $< 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para o armazenamento (FAO, 1998).

O milho armazenado deve ser limpo antes de seguir para o processamento. Na limpeza do milho são utilizadas máquinas sopradoras, classificadoras, ou máquinas combinadas, onde, por meio de peneiras classificadoras e dispositivos magnéticos e de sopramento, o milho é separado das impurezas (materiais metálicos, pedras, paus, palhas, sabugos, insetos, terra e outros). A separação dessas impurezas, além de contribuir para obtenção de elevada qualidade, evita desgaste da maquinaria, aumentando sua duração e eficiência.

## Processo de moagem a seco

No processo de moagem por via seca (Figura 3), o grão é degerminado e separado em endosperma, pericارpo e gérmen (embrião) (Figura 4).

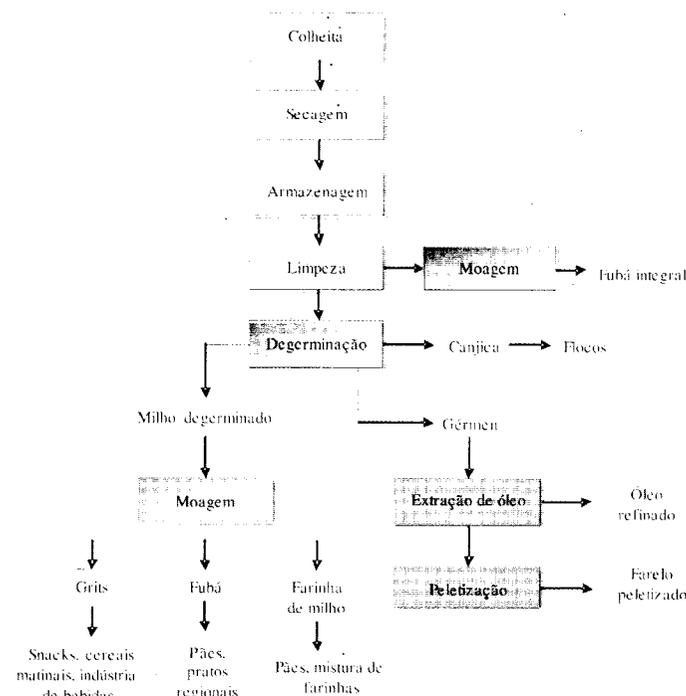


Figura 3 - Processamento de moagem por via seca.

Fonte: Adaptado de ABIMILHO, 2010.

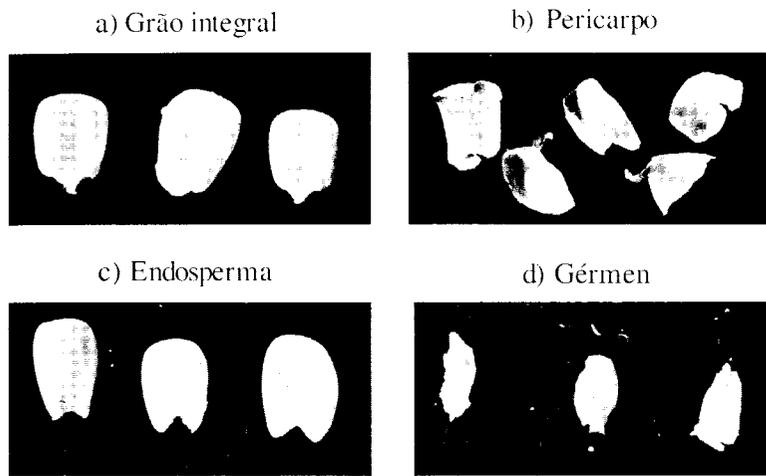


Figura 4 - Milho integral e suas frações.

Fonte: Maria Cristina Dias Paes – Embrapa CNPMS, Sete Lagoas, MG.

O processo de degerminação é realizado por meio de degerminadores ou canjiqueiras, de alimentação e descarga intermitentes ou contínuas, que removem, além do gérmen, o pericarpo do grão de milho.

As canjiqueiras intermitentes (Figura 5) possuem órgão operador constituído por um cilindro de chapa de ferro com fundo perfurado. Interna e longitudinalmente, encontra-se um eixo provido de facas cortantes, dispostas radialmente, opostas duas a duas em posição alternada a 90°, afastadas umas das outras aproximadamente 5 cm (Figura 5). A alimentação é feita por meio de moega com graduação variável, que regula a entrada do milho e o tempo suficiente para que as facas em rotação retirem (por impacto e fricção) a casca e o gérmen do milho. Um dispositivo de descarga conduz o milho degerminado para peneiras vibratórias ou ventilador-catador, que fazem a limpeza e separação do endosperma, película e gérmen.

Os degerminadores contínuos são usados somente para processamento em grande escala. Alguns tipos trabalham por concussão e fricção. Constituem-se de cilindro troncônico, que gira dentro de outro e pode ser deslocado longitudinalmente, regulando e graduando a intensidade de trituração. O trabalho é satisfatório, porém o milho sai demasiadamente miúdo.

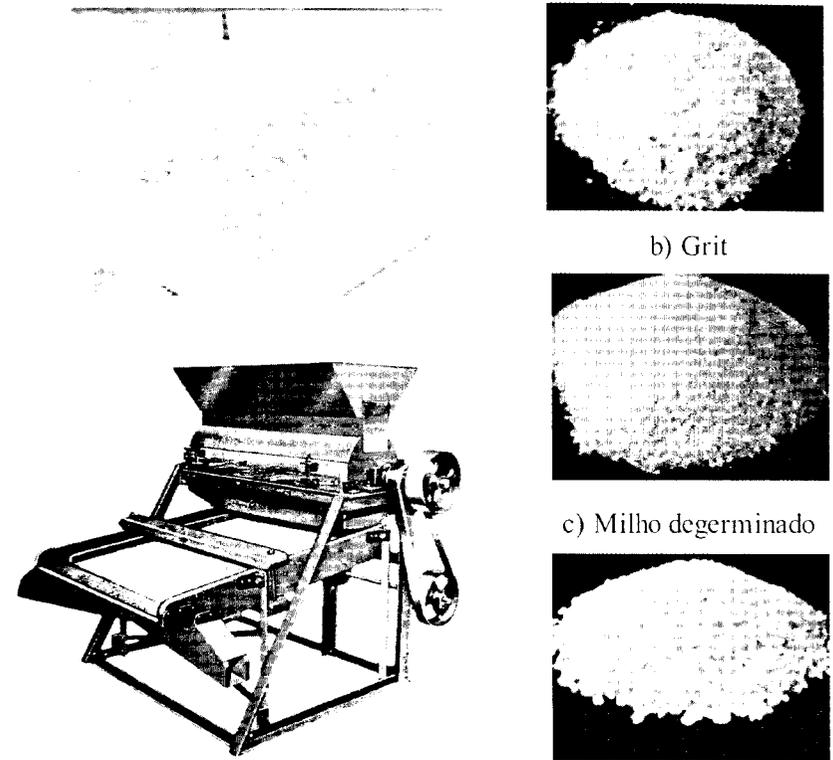


Figura 5 - Canjiqueira intermitente e produtos derivados da degerminação do milho.

A eficácia do processo de degerminação é determinada pelo rendimento das frações de gérmen com pericarpo e endosperma e pela completa separação dessas frações. Esse processo é, em geral, comprometido pela ausência de padronização nas características da matéria-prima. A degerminação busca a obtenção de endosperma limpo, com menor conteúdo de lipídios e, por conseguinte, gérmen com o máximo teor lipídico possível.

O milho degerminado pode ser designado como canjica (*flaking grits*), sendo caracterizado pelo endosperma em pedaço desprovido da película e do gérmen. No Brasil, algumas empresas comercializam um tipo especial de milho degerminado com o endosperma integral, chamado de canjição, para o preparo de canjica doce.

O milho degerminado, separado após canjiqueira, apresenta rendimento variável, com valor em peso próximo a 57% de milho degerminado total, distribuído em 48% de milho degerminado grosso (*flaking grits* ou canjica), 5,7% de *grits* médio, 3,3% de *grits* fino e 43% de farelo (Figura 5).

O milho degerminado ou a canjica (*flaking grits*) podem ser vendidos para consumo simplesmente como canjica, na geração de pratos regionais, ou para fábricas de pipocas expandidas ou flocos de milho (*corn flakes*). No entanto, a partir da canjica podem-se fabricar outros tipos de *grits* e, ou, farinhas, pelo processo de moagem.

A moagem é todo e qualquer processo empreendido para mudar as características físicas de um ingrediente, objetivando a redução de suas partículas, seja para melhorar sua habilidade de mistura ou para aumentar a disponibilidade de seus nutrientes. As principais razões para a moagem de partículas nos processos de fabricação de alimento são: aumentar a área superficial; facilitar a manipulação de ingredientes; melhorar as características de mistura dos materiais; aumentar a eficiência do processo de peletização e extrusão; e diminuir perdas.

Vários tipos de moinho foram utilizados ao longo dos anos, entre os quais podem-se citar os moinhos de pedra, de rolo, de bolas ou de serras, com destaque para o moinho de martelos. Tendo predominância absoluta dentro da indústria, o moinho de martelos consiste basicamente em um rotor formado por vários discos montados em um eixo, apoiado sobre mancais e rolamentos. O processo inicia-se com a entrada do grão na câmara do rotor, onde acontece o primeiro contato com os martelos. Ao receber o impacto, o grão é lançado contra as telas, e essa sequência continua até que as partículas estejam reduzidas a um tamanho que permita sua passagem através dos furos da tela. O milho degerminado triturado é atirado, pelo efeito centrífugo, contra chapas finamente perfuradas, que funcionam como tamiz. Variando as peneiras, com perfurações de diâmetros diferentes, obtêm-se *grits* e fubás de diferentes granulometrias.

A Tabela 2 mostra os tipos de *grits* e fubás produzidos depois da moagem, bem como os principais alimentos onde são utilizados.

No Brasil, em relação aos tipos de fubá e de farinha de milho produzidos, têm-se algumas peculiaridades, pois há vários tipos de fubá, que podem variar tanto na granulometria quanto na forma de produção – o mesmo é válido para a farinha de milho.

Tabela 2 - Produtos típicos do sistema de moagem do milho por via seca: granulometria e principais alimentos produzidos

| Frações moídas                                 | Granulometria (US Mesh*) | Finalidade industrial  |
|--|--------------------------|--|
| Canjica de milho ( <i>flaking grits</i> )      | Peneira 3,5 a 6          | Produção de cereal matinal ( <i>corn flakes</i> ) e canjica (sobremesa brasileira).  |
| <i>Grits</i> grosseiro ( <i>coarse grits</i> ) | Peneira 10 a 20          | Produção de cereais matinais e <i>snacks</i> .   |
| <i>Grits</i> regular ( <i>regular grits</i> )  | Peneira 15 a 30          | Indústria de cerveja, produção de cereal matinal e <i>snacks</i> .   |
| <i>Grits</i> fino ( <i>fine grits</i> )        | Peneira 30 a 40          | Produção de cereais matinais e <i>snacks</i> . Também utilizado como carboidratos fermentescíveis para preparação de bebidas destiladas. |
| Fubá de milho ( <i>corn meal</i> )             | Peneira 40 a 60          | Fabricação de produtos de panificação, massas e pratos regionais (Brasil).   |
| Farinha de milho ( <i>corn flour</i> )         | Peneira 60               | Produção de pães e em misturas de farinhas. Basicamente amido.   |

\* Cada peneira tem um número de aberturas por polegada linear, denominado "mesh". Quanto maior o mesh, menores as aberturas e, assim, menores as partículas que passarão pela peneira. Fonte: Adaptado de SALDIVAR; ROONEY. 1994.

Em relação ao modo de produção, existem dois tipos de fubá:

a) Comum ou integral: obtido pela trituração do milho inteiro, sendo sua composição considerada próxima à do grão.

b) Mimoso ou fubá de canjica: produto obtido pela moagem da canjica (milho degerminado): é mais fino que o fubá integral e apresenta maior tempo de conservação, em razão do baixo conteúdo de lipídios. Por outro lado, possui menor valor nutritivo quando comparado ao fubá integral.

No que se refere à farinha de milho, de acordo com a legislação brasileira, é definida como um produto obtido pela torra do grão de milho (*Zea mays*), degerminado ou não, previamente macerado, socado e peneirado.

Industrialmente, a farinha de milho – também conhecida como creme de milho – é composta basicamente pela fração amilácea do grão, obtida de maneira diferente da definição anterior. A presença de proteína favorece a integridade do grânulo de amido, dificultando sua liberação durante a moagem; dessa forma, por motivo econômico

(grande consumo de energia), a indústria, na moagem dos grãos para produção de fubá, obtém a farinha de milho como um produto residual gerado, separado em peneiras muito finas.

Há algumas regiões do Brasil onde se confunde a farinha de milho com a farinha de beiju, produto típico de algumas regiões do País. Os beijus são produzidos de modo diferente do da farinha de milho obtida por moagem a seco. O milho é colocado em tanques de maceração, onde é mantido até se tornar perfeitamente hidratado e macio – o tempo de residência pode variar de dois a quatro dias. Dessa forma, ocorre uma fermentação natural, que irá conferir ao produto final odor e sabor característicos, principalmente pela formação de ácido butírico. Posteriormente, o milho é drenado, triturado e peneirado sobre superfície aquecida, para ser seco e torrado ou cozido.

## Processo de moagem por via úmida

A moagem úmida difere da moagem a seco pela presença de uma etapa de maceração durante o processamento, cuja finalidade é aumentar a eficiência da separação dos grânulos de amido e proteínas do endosperma, por meio da incorporação de água ao grão, resultando em maior número de produtos. Na moagem a seco, o endosperma seco é apenas fragmentado, sem que ocorra a separação de amido e proteínas. As etapas do processamento de milho por via úmida estão esquematizadas na Figura 6.

O primeiro passo nesse processo é a maceração ou acondicionamento dos grãos de milho, que são mantidos em tanques de aço inoxidável com fluxo de água contracorrente aproximadamente a 50°C, durante 24 a 48 horas. No entanto, esse tempo pode ser reduzido para seis horas quando fragmentos, em vez dos grãos inteiros (ECKHOFF et al., 1992), ou enzimas (JOHNSTON et al., 2002) são utilizados, não havendo perda da produção de amido ou de sua qualidade. O tempo de acondicionamento deve ser o suficiente para que ocorra o amolecimento dos grãos, de modo a preservar a integridade do germe durante a moagem. Esse tempo aumenta de acordo com a quantidade de óleo contido no germe (FOX et al., 1992).

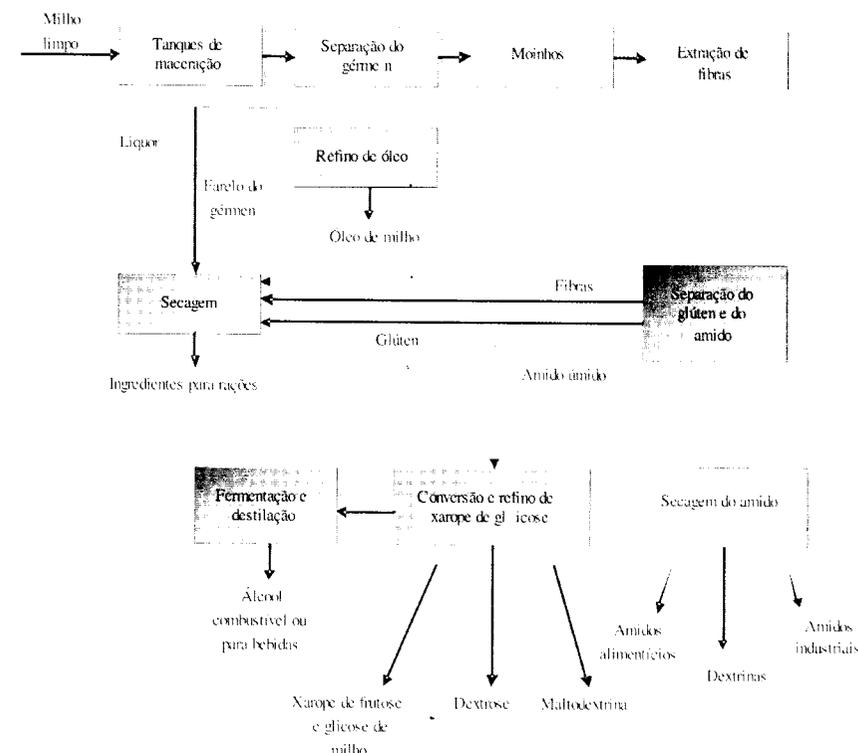


Figura 6 - Processamento de milho por via úmida.

Fonte: Adaptado de ABIMILHO, 2010.

A água utilizada nessa etapa contém de 0,1% a 0,2% de dióxido de enxofre, que, além de inibir o crescimento de microrganismos de deterioração, promove o rompimento de ligações dissulfeto (-SS-) na matriz proteica que envolve os grânulos de amido, facilitando sua liberação na moagem e purificação final. O acondicionamento permite ainda aumentar a recuperação do germen íntegro, bem como facilita a separação de casca e fibra. Outra alteração que ocorre durante essa etapa é a redução do pH devido à produção de ácido láctico resultante do desenvolvimento de *Lactobacillus* sp., que consomem açúcares solúveis na água de maceração. Isso auxilia na separação dos componentes dos grãos.

As proteínas do germen são os principais constituintes do milho solubilizados na água de maceração. Essa perda é maior em grãos com maior densidade, enquanto a solubilização de outros

componentes apresenta correlação também com a quantidade de proteínas (FOX et al., 1992).

Ao término do processo, a água de maceração de milho é recuperada por evaporação a vácuo e reutilizada em nova etapa de acondicionamento ou na composição de meios de cultura de microrganismos, para produção de diversos compostos de interesse. As proteínas recuperadas nos tanques são desidratadas e comercializadas como ração de glúten, para alimentação animal.

Para remoção e separação do gérmen, os grãos de milho macerados e a água são direcionados ao moinho de disco (*Degerm Mill*), para fragmentação dos grãos e separação do gérmen, cuja estrutura deve permanecer íntegra. O equipamento utilizado é constituído por dois discos de metal contendo ranhuras superficiais, sendo um deles fixo. A regulagem da distância entre as placas e a rotação selecionada ajusta o impacto e a força de cisalhamento sobre os grãos, alterando sua ruptura e a qualidade final do gérmen obtido. A separação de gérmen dos fragmentos e cascas é realizada com base na diferença de densidade entre eles (Figura 7). Enquanto os fragmentos dos grãos e cascas decantam, o gérmen é removido por flotação; a utilização de hidrociclones em vez de equipamentos de flotação aumenta a eficiência na separação desse componente, além de permitir economia de espaço e redução de custos.

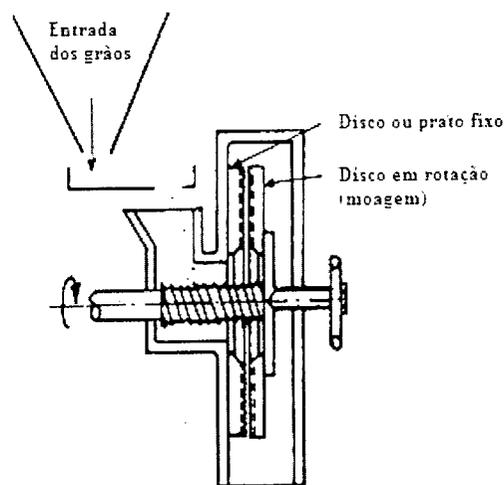


Figura 7 - Moinho de disco.

O gérmen obtido é limpo, para remoção de resíduos de amido, e, em seguida, prensado, para retirada do excesso de água, e seco em evaporadores. Seu óleo é extraído por prensas mecânicas e, ou, solventes, sendo filtrado e armazenado, enquanto o resíduo gerado (torta) é utilizado na alimentação animal.

O material proveniente da etapa anterior – contendo fragmentos dos grãos, amido, glúten e fibra – é submetido ao moinho de impacto ou atrito, para moagem fina. Após a moagem, proteínas e amido do endosperma apresentam dimensões muito reduzidas e permanecem em suspensão. Cascas e fibras, cujo tamanho de partícula é pouco reduzido, são separadas de amido e proteínas em rolos contendo peneira (telas). As fibras mais finas são removidas em agitadores contendo um fino tecido de náilon, pois interferem na separação de amido e proteínas.

Para separação da fração proteica e garantia da pureza do amido, a suspensão é submetida a centrífugas de alta velocidade e hidrociclones. Em seguida, o amido purificado é filtrado e seco ou então submetido a modificações químicas, visando à alteração de suas propriedades funcionais para os diversos segmentos industriais.

A proteína separada é filtrada e direcionada a secadores. A zeína, solúvel em álcool, pode ser isolada utilizando extração com solvente e precipitação. Essa fração proteica corresponde, aproximadamente, à metade das proteínas do glúten de milho, sendo usada em produtos de confeitaria e na indústria farmacêutica.

Na moagem úmida, ao final da separação dos componentes, são obtidos diversos produtos, como amido, óleo e glúten, e subprodutos (ração de glúten, fibras, farelo de gérmen, sólidos da água de maceração). Estes são utilizados na fabricação de ração. Ainda, a partir do amido são produzidos os amidos modificados, dextrose, dextrina, maltodextrinas, xaropes de elevado teor de frutose, xarope de glicose, adoçantes, álcool combustível e para bebidas (KENT; EVERS, 1993).

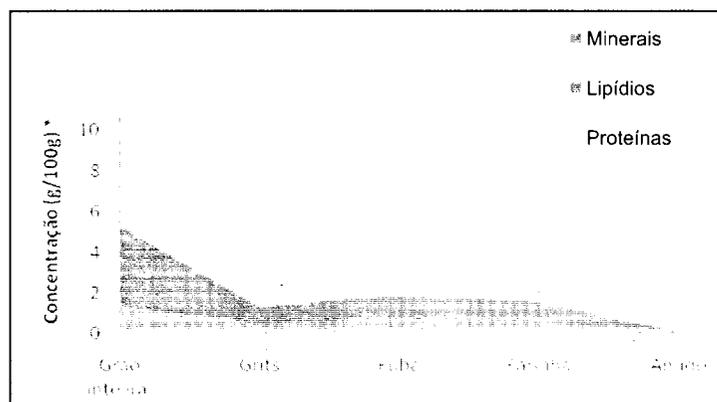
## Perdas de nutrientes na indústria

Na busca por produtos mais nutritivos ao alcance de uma parcela da população mais carente, são desenvolvidos os alimentos biofortificados, como o milho.

A indústria de moagem a seco tem basicamente a finalidade de produzir derivados de milho e seus produtos para alimentação humana, diferentemente da moagem úmida, que tem como finalidade a obtenção, a partir do milho, de produtos individualizados, como amido e proteína, utilizados como insumos em outras indústrias. Assim, é a partir do processo de moagem a seco que produtos biofortificados de milho podem chegar até o consumidor final.

Como mencionado, o processamento do grão de milho possibilita seu consumo em diferentes produtos, porém há perda gradativa nos níveis de nutrientes, causada, principalmente, pelas etapas de degerminação e moagem, assim como no cozimento e, ou, fermentação dos derivados da moagem seca, na produção de alimentos típicos de cada região.

A Figura 8 mostra a perda gradativa de minerais, proteínas e lipídeos durante o processo e a geração dos produtos básicos de milho, como *grits*, fubá, farinha e amido.



\* base seca

Figura 8 - Redução dos nutrientes na moagem seca e na produção de amido.

O processo de degerminação é uma das causas da redução dos nutrientes, pois estes se concentram no gérmen e pericarpo (aleurona).

A operação de moagem expõe os nutrientes à ação de agentes (oxigênio, luz, minerais e outros) que contribuem para sua redução. Em relação às proteínas, de acordo com a Figura 8, observa-se redução delas na obtenção de farinha a partir do fubá – fato que

poderia ter ocorrido pela moagem. No entanto, não há perda desses nutrientes durante essa operação, e a farinha de milho por ser um produto residual amiláceo do fubá, apresenta conseqüentemente baixa concentração de proteínas. As proteínas estão relacionadas com a dureza do grão (o endosperma vítreo); assim, para a quebra total do fubá em farinha, seria necessário muito gasto de energia (na moagem), razão pela qual a farinha de milho é basicamente o endosperma farináceo (menos duro) moído mais facilmente em finas partículas.

Outros processos empregados podem agir na redução de alguns nutrientes e no aumento de outros, como, por exemplo, o cozimento. O emprego de calor durante o cozimento de massa de fubá (*meal*) ou de farinha na produção de diversos alimentos causa a perda, sobretudo, de vitaminas e carotenoides. No entanto, o processo de cozimento pode aumentar a disponibilidade de minerais e algumas vitaminas, bem como aumentar a digestibilidade de proteínas e carboidratos, além de inativar componentes antinutricionais.

O mesmo ocorre com a fermentação, utilizada em produtos típicos da África, como o Ogi, que possibilita um pH ótimo para a degradação enzimática do fitato, aumentando a quantidade disponível de ferro, zinco e cálcio solúveis. O desenvolvimento microbiológico durante a fermentação da massa de milho (fubá e água) aumenta as concentrações de aminoácidos essenciais limitantes, como lisina e metionina. A fermentação também contribui para a segurança, vida de prateleira e aceitação de alimentos de milho.

Na produção de arepas, tem-se também o lado negativo e positivo dos tratamentos. A massa de milho é cozida em meio alcalino, afetando a biodisponibilidade de proteínas, devido ao pH mais alto desnaturante, o que leva muitas vezes à baixa absorção e digestão desse macronutriente. Esse processo, no entanto, aumenta a disponibilidade de niacina em produtos à base de milho integral.

Na Tabela 3 estão listados alguns minerais e a perda ocorrida no processamento do milho. Nota-se que ferro e zinco, elementos-alvo do programa de biofortificação, são reduzidos drasticamente pelo processo de degerminação.

O efeito da degerminação sobre a redução de vitaminas como tiamina (vitamina B1), piridoxina (B2), riboflavina (B6), folato e biotina chega a 70%, 65%, 55%, 67% e 81%, respectivamente. O processo de degerminação também leva a reduções acentuadas nos

níveis de vitamina E ( $\alpha$ - e  $\gamma$ -tocoferol), pois esses compostos estão concentrados no gérmen (USDA, 2001).

Tabela 3 - Redução do teor de minerais durante o processamento do milho

| Matérias-primas | Minerais (mg/100g) |       |       |          |
|-----------------|--------------------|-------|-------|----------|
|                 | Fósforo            | Ferro | Zinco | Magnésio |
| Grão integral   | 234                | 3,02  | 2,47  | 142      |
| Grits           | 81                 | 1,10  | 0,46  | 30       |
| Fubá (Meal)     | 95                 | 1,20  | 0,81  | 53       |
| Farinha (Flour) | 66                 | 1,00  | 0,41  | 20       |

Fonte: Adaptado de USDA, 2001.

A determinação reduz drasticamente concentração da maioria das vitaminas e minerais, exceto os carotenoides, que diferentemente, de outras vitaminas, não estão no gérmen, pericarpo ou aleurona. Contudo, eles estão sujeitos a sofrer oxidação, degradação e isomerização em todas as etapas do processamento do milho, desde a colheita aos produtos cozidos ou fritos. A redução de carotenoides é acumulativa, devendo-se, assim, controlar pontos críticos, como a secagem dos grãos, o armazenamento e o uso de calor ou exposição à luz.

No processo de secagem do milho, a secagem ao sol reduz as concentrações de carotenoides do grão. Pelo fato de esses compostos serem sensíveis à luz, na secagem ao sol, pode haver redução de até 24% dos carotenoides totais e de até 25% dos níveis de carotenos provitamina A.

A produção de derivados de moagem seca e outros processos na elaboração de produtos ou pratos regionais elevam a degradação desses nutrientes.

Li et al. (2007) realizaram um experimento com milho biofortificado com carotenoides para estudar o efeito do processamento, na produção de ogi (prato à base de fubá fermentado e cozido) sobre os níveis desses compostos. Nesse experimento foi avaliado o efeito da moagem, da fermentação e do cozimento sobre o teor de carotenoides totais e de suas frações.

As perdas de carotenoides totais nas etapas de produção de ogi estão esquematizadas na Figura 9.

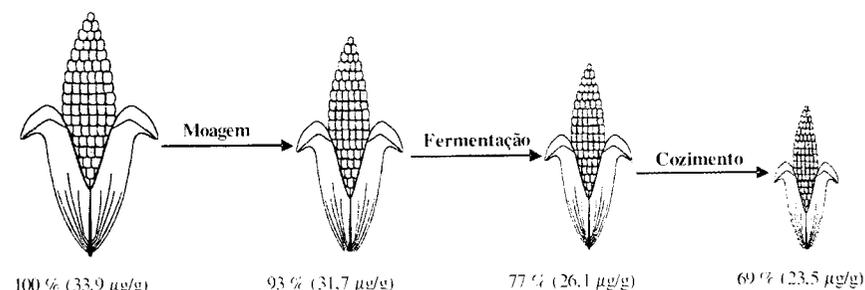


Figura 9 - Níveis de carotenoides totais em milho biofortificado, nas etapas de produção de ogi.

Fonte: Adaptado de LI et al., 2007.

Na Tabela 4 estão relacionadas as perdas de cada fração de carotenoides, em cada etapa do processamento do milho para obtenção de ogi.

Tabela 4 - Redução dos carotenoides durante etapas do processamento

| Carotenóides           | Redução (%) nas etapas de processamento |             |           | Perdas totais (%) |
|------------------------|---|-------------|-----------|-------------------|
|                        | Imersão/moagem                          | Fermentação | Cozimento |                   |
| $\alpha$ -caroteno     | 7,1                                     | 14,4        | 7,4       | 28,9              |
| $\beta$ -caroteno      | 7,3                                     | 10,2        | 6,9       | 24,5              |
| $\beta$ -criptoxantina | 9,5                                     | 13,9        | 5,8       | 29,1              |
| luteína                | 5,7                                     | 18,7        | 8,4       | 32,5              |
| zeaxantina             | 4,8                                     | 21,5        | 9,3       | 35,5              |

Médias de cinco repetições. As perdas estão expressas como porcentagem da concentração de carotenoides no grão de milho integral.

Fonte: Adaptado de LI et al., 2007.

Li et al. (2007) verificaram que, na produção de ogi, o cozimento da massa moída, sem fermentação ou com fermentação, leva aos mesmos níveis de degradação de carotenoides. Essa observação é importante, visto que no Brasil e em outros países o fubá ou a farinha de milho passam somente por cozimento para elaboração de pratos típicos.

Pela Tabela 4, um quarto de  $\beta$ -caroteno (provitamina A) é perdido, durante o processamento, com etapas de moagem, fermentação e cozimento, restando ao final uma concentração de aproximadamente 8,0  $\mu\text{g/g}$ , contra um valor inicial de 10,5  $\mu\text{g/g}$  do

milho biofortificado para vitamina A (LI et al., 2007). Isso demonstra a viabilidade da biofortificação, uma vez que o milho comum não processado de variedades comerciais, a exemplo do Brasil, contém, em média, cerca de 2,55 ug/g de carotenos (CARDOSO et al., 2009).

A indústria do milho de moagem a seco é o elo da transformação de grãos de milho biofortificados (Fe, Zn e carotenoides provitamina A) em produtos mais nutritivos, que serão consumidos pela população mais carente “de pão e nutrientes” – os principais consumidores do milho.

## Referências

- ABIMILHO. **Processos industriais e aplicações**. Fluxogramas: processo a seco e a úmido. Disponível em: <<http://www.abimilho.com.br/processo3.htm>>. Acesso em: 01 fev. 2010.
- ALMEIDA, T.C. Utilização do milho e sorgo no Brasil. In: \_\_\_\_\_. **Cultura do milho no Brasil**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS. 1993. p.11-21.
- BOLDUC, F. 1978. **Development of a natural convection drier for on-farm use in developing countries**. 1978. 99 f. Thesis (M.S.) – Kansas State University, Manhattan.
- CARDOSO, W.S.; PAES, M.C.D.; GALVÃO, J.C.C.; RIOS, S.A.; GUIMARÃES, P.E.O.; SCHAFFERT, R.E.; BORÉM, A. Variability of maize genotypes for grain carotenoid composition. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p.164-173, 2009.
- CODEAGRO. **Fluxograma Cadeia Produtiva do Milho**. Disponível em: <[http://www.codeagro.sp.gov.br/camaras\\_setoriais/fluxogramas/fluxograma\\_milho.pdf](http://www.codeagro.sp.gov.br/camaras_setoriais/fluxogramas/fluxograma_milho.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2010.
- ECKHOFF, S.R.; JAYASENA, W.V.; SPILLMAN, C.K. Wet milling of maize grits. **Cereal Chemistry**, v. 70, p.257-259, 1992.
- FAO, 1998. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the Information Network on Post-Harvest Operations (INPhO). **Maize in human nutrition**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/T0395E/T0395E00.htm#Contents>>. Acesso em: 01 fev. 2010.
- FOX, S.R.; JOHNSON, L.A.; HURBURGH, J.R., C.R.; DORSEY-REDDING, C.; STEINKE, J. D.; WANG, C. Steeping maize in the presence of multiple enzymes. II. Continuous countercurrent steeping. **Cereal Chemistry**, v. 68, p.12-17, 1991.
- HALL, C.W. 1980. **Drying and storage of agricultural crops**. Westport: The AVI Publishing Company. 382 p.
- JAY, J.M. **Microbiologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711 p.

- JOHNSTON, D.B.; SINGH, V.; ECKHOFF, S. **Use of enzymes to reduce steep time and SO<sub>2</sub> requirements in a maize wet-milling process**. Patente número US 2002/0022252. 2002.
- KENT, N.L.; EVERS, A.D. Technology of cereals. In: KENT, N.L.; EVERS, A.D. (Ed.). **Wet milling: starch and gluten**. BPC Wheatons, 1993. p.259-268.
- LAZZARI, F.A. Controle de micotoxinas no armazenamento de grãos e subprodutos. In: SIMPÓSIO SOBRE MICOTOXINAS EM GRÃOS. Fundação Cargill. 1999. **Anais...** Santo Amaro: Fundação ABC, 1999. p.81-106.
- LI, S.; TAYIE, F.A.K.; YOUNG, M.F.; ROCHEFORD, T.; WHITE, W.S. Retention of provitamin A carotenoids in high-carotene maize (*Zea mays*) during traditional African household processing. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 55, p.10744-10750, 2007.
- SALDIVAR, S.O.S.; ROONEY, L.W. Quality protein maize processing and perspectives industrial utilization. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON QUALITY PROTEIN MAIZE, 1994, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: Embrapa/CNPMS, 1994. p.89-120.
- USDA U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2001. USDA Nutrient Database for Standard Reference. Release 14. Nutrient Data Laboratory Home Page, Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>>. Acesso em: 21 fev. 2010.