

BIOFORTIFICAÇÃO DE FEIJÃO-CAUPI NO BRASIL

M. R. NUTTI¹, M. M. ROCHA², E. WATANABE¹, J. L. V. CARVALHO¹, F. R. FREIRE FILHO² e
K. J. D. SILVA²

Resumo - A estratégia atual para combater a desnutrição nos países em desenvolvimento tem como enfoque o fornecimento de suplementos vitamínicos e minerais para mulheres grávidas e crianças, além da fortificação de alimentos. Produtos agrícolas biofortificados - variedades melhoradas que apresentam maiores conteúdos de vitaminas e minerais - complementarão as intervenções em andamento. No Brasil, o programa de biofortificação é coordenado pela Embrapa, com apoio do Fundo de Pesquisa Embrapa-Monsanto e dos programas internacionais de biofortificação HarvestPlus e AgroSalud. De 2007 a 2009, foram avaliados 86 genótipos de feijão-caupi para os teores de ferro e zinco. Destacou-se a cultivar BRS Xiquexique, que é 50% mais rica em ferro e zinco que as cultivares tradicionais. Os melhores genótipos estão sendo validados em vários ambientes e sementes da cultivar BRS Xiquexique estão sendo multiplicadas no Maranhão e em Sergipe e difundidas entre os agricultores. Para os próximos anos, estão planejados estudos de retenção de nutrientes e de produção de farinhas biofortificadas, além do cruzamento entre a BRS Xiquexique e duas linhagens africanas ricas em ferro e zinco. A meta é desenvolver cultivares de feijão-caupi biofortificadas com ferro e zinco, produtivas e adaptadas às regiões de cultivo no Brasil, e difundi-las junto aos agricultores.

Palavras-chave: melhoramento, ferro, zinco.

BIOFORTIFICATION OF COWPEA IN BRAZIL

Abstract - The current strategy to combat malnutrition in developing countries focus on providing vitamin and mineral supplements for pregnant women and young children and on fortifying foods with these nutrients. Biofortified crops (varieties bred for increased mineral and vitamin content) will complement existing nutrition interventions. In Brazil, the biofortification program is coordinated by Embrapa with support of the Embrapa/Monsanto Fund and the international biofortification programs HarvestPlus and AgroSalud. From 2007 to 2009, 86 cowpea elite genotypes were evaluated for iron and zinc contents. The BRS Xiquexique cultivar stood out, since it is 50% richer in iron and zinc than traditional cultivars. The best genotypes are being validated in different environments; BRS Xiquexique seeds are being multiplied in Maranhão and Sergipe and disseminated among farmers. For the next few years, production of biofortified flours and nutrient retention studies are planned; also, crossings between BRS Xiquexique and two African lines, which are rich in iron and zinc, will be carried out. The goal is to develop cowpea cultivars biofortified with iron and zinc which are productive and adapted to the cultivation regions in Brazil and to disseminate them among the farmers.

Keywords: breeding, iron, zinc.

¹ Embrapa Agroindústria de Alimentos. Av. das Américas, 29.50, Guaratiba. CEP 23020.470. Rio de Janeiro, RJ.
marlia@ctaa.embrapa.br, edswat@ctaa.embrapa.br; jlv@ctaa.embrapa.br

Introdução

Estima-se que três bilhões de pessoas sofram os efeitos da deficiência de micronutrientes porque não têm meios para comprar carne vermelha, frango, peixe, frutas, legumes e hortaliças nas quantidades necessárias. Mulheres e crianças da África Subsaariana, da Ásia Meridional, do Sudeste Asiático, da América Latina e do Caribe são os que correm maior risco de contrair doenças, de morte prematura e de deterioração de sua capacidade cognitiva por consumirem dietas pobres em micronutrientes essenciais, particularmente ferro, vitamina A, iodo e zinco.

Dados da Organização Mundial da Saúde mostram que este problema não é exclusivo de países em desenvolvimento, mas também de países desenvolvidos. Entre os micronutrientes mais estudados, o ferro, a vitamina A e o iodo são apontados como os mais correlacionados a problemas de saúde pública no Brasil e no mundo. Também, cálcio, zinco, selênio e cobre, entre outros elementos essenciais, são de extrema importância para uma nutrição adequada e o perfeito desenvolvimento do indivíduo.

O problema da fome e da baixa qualidade alimentar é bastante acentuado nas populações das regiões Norte e Nordeste do Brasil. O estado do Maranhão apresenta alto índice de desnutrição, mesmo com grande potencial agrícola para cultivos, além de possuir baixa cobertura pelos programas de Suplementação de ferro e vitamina A.

De acordo com dados da organização Pan-americana da Saúde, no Estado de Sergipe, 32% das crianças menores de cinco anos apresentam hipovitaminose A e a anemia ferropriva atinge até 50% deste grupo (PESQUISADORA..., 2008). De acordo com dados do Sistema Nacional de Vigilância Alimentar e Nutricional, a prevalência de desnutrição em crianças de 0 a 10 anos pode chegar a 42% no Maranhão e 9% em Sergipe (BIOFORTIFICAÇÃO..., 2008, 2009).

O feijão-caupi ou feijão-de-corda (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma importante cultura alimentar e um componente essencial dos sistemas de produção nas regiões secas e áreas marginais dos trópicos e subtropicais, incluindo partes da Ásia e Oceania, o Meio-Oeste e o Sudeste da Europa, a África; o Sudeste dos Estados Unidos, a América Central e a América do Sul. É cultivado em todo o mundo, principalmente para grãos secos. Entretanto, também pode ser cultivado como uma hortaliça, sendo consumido na forma de vagens e grãos verdes, bem como utilizado para cobertura morta e forragem. Os maiores produtores mundiais são a Nigéria, o Níger e o Brasil. Estima-se que o feijão-caupi seja cultivado em aproximadamente 14,5 milhões de hectares, com uma produção anual de mais de 4,5 milhões de toneladas (SINGH et al., 2002).

Os estudos na área de qualidade nutricional dos grãos em feijão-caupi têm se concentrado no *screening* de genótipos para o teor de proteínas (SILVA et al., 2002) e carboidratos, principalmente, e, em menor escala, para os teores de fibra e minerais (ANDRADE et al., 2004). Alguns estudos têm investigado a qualidade da proteína, carboidratos e lipídeos e dos fatores antinutricionais (SHOSHIMA et al., 2005). Formulações de alimentos à base de farinha de feijão-caupi também têm sido propostas (MOREIRA-ARAÚJO et al., 2006), assim como o consumo do feijão processado em conserva (Lima et al., 2003), resfriado ou congelado (LIMA et al., 2000) e na forma de salgadinhos (MOREIRA et al., 2006).

² Embrapa Meio-Norte. Av. Duque de Caxias, 5650, Buenos Aires. CEP 64006-220. Teresina, PI.
mmrocha@cpamn.embrapa.br, freire@cpamn.embrapa.br, kaesel@cpamn.embrapa.br

Segundo estudos recentes realizados em hamsters, o feijão-caupi também pode ser considerado, a exemplo da soja, como um alimento funcional por apresentar propriedade hipocolesterolemizantes. Segundo Frota (2007), um possível componente deste grão responsável pelo efeito redutor de colesterol é sua proteína, pois, em estudos realizados com hamsters hipercolesterolêmicos, o feijão-caupi integral e uma proteína isolada reduziram o colesterol plasmático e proporcionaram efeito hepatoprotetor. Segundo reportagem da edição de janeiro (PEREIRA, 2008) da revista Saúde, o feijão-de-corda é um grande fornecedor de fibras do tipo solúvel, que ajudam a baixar os teores de colesterol.

Em um estudo sobre a composição química do feijão-caupi, cultivar BRS Milênio, Frota et al. (2008) obtiveram teores de proteína, ferro, zinco e fibras solúveis e insolúveis de, respectivamente, 24,5%, 68 ppm, 41 ppm, 16,6 g/100g e 2,7 g/100g.

Como o consumo do feijão-caupi é largamente difundido nos estados do Maranhão e Sergipe, onde o consumo per capita é em média de 18kg/ pessoa/ ano, o melhoramento visando desenvolver cultivares com alto conteúdo de proteínas e de micronutrientes importantes como ferro e zinco poderão beneficiar um grande número de pessoas.

A biofortificação do feijão-caupi terá grande impacto no futuro, pois representa uma rica fonte de alimento, principalmente de proteínas, ferro e zinco, para o suprimento da dieta de populações carentes de nutrientes, mas com grande tradição de consumo, como é o caso de muitos países africanos, indianos e Nordeste da América do sul (FREIRE FILHO et al., 2008a).

Deficiência de micronutrientes

Micronutrientes são vitaminas e minerais essenciais requeridos pelo organismo humano para estimular o crescimento celular e o metabolismo. Dezenove vitaminas e minerais são considerados essenciais para o desenvolvimento físico e mental, o funcionamento do sistema imunológico e vários processos metabólicos.

Mais de 840 milhões de pessoas não consomem alimentos em quantidades suficientes para suprir suas necessidades diárias básicas de energia (McGUIRE, 1993). As deficiências de ferro, vitamina A e iodo são apontadas como as mais correlacionadas a problemas de saúde pública nos países em desenvolvimento (KENNEDY et al., 2003).

Deficiências de ferro, iodo e vitamina A são as formas mais comuns de desnutrição com conseqüências na saúde pública. Outros micronutrientes desempenham um papel na prevenção de condições específicas (por exemplo, ácido fólico e cálcio) ou na promoção do crescimento (por exemplo, zinco).

A prevalência da deficiência de zinco e folato no mundo ainda não foi estabelecida, mas estima-se que seja significativa, uma vez que as deficiências de micronutrientes raramente ocorrem isoladamente.

Uma razão para isso é que essas deficiências geralmente ocorrem quando há falta de diversidade na dieta habitual ou quando a mesma é inteiramente dependente de um único alimento básico, como é o caso das dietas que têm como base cereais ou tubérculos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2001). As deficiências de micronutrientes observadas na população são obviamente freqüentemente causadas pelo simples fato de não ter o que comer. Mas, os níveis de

ferro, zinco e vitamina A em alimentos também podem variar em função de vários fatores da planta, ambiente e de processamento (WELCH, 2001).

Suplementação e fortificação de Alimentos

A suplementação é uma estratégia na qual nutrientes são distribuídos diretamente na forma de xaropes ou pílulas; na fortificação, esses nutrientes são adicionados aos alimentos através de processamento pós-colheita. Muitos resultados já foram alcançados com esta estratégia.

Em regiões com infra-estrutura adequada e que dispõem de mercados bem estabelecidos para a distribuição de alimentos processados (como sal, açúcar e farinhas de cereais), a fortificação de alimentos pode melhorar enormemente o consumo de micronutrientes por parte das populações vulneráveis (NUTTI et al., 2007).

A fortificação e o fornecimento de suplementos comerciais apresentam limitações, pois é possível que alimentos fortificados não alcancem uma grande parte da população necessitada devido à insuficiente infra-estrutura de mercado. Do mesmo modo, a suplementação depende de um sistema de saúde com infra-estrutura altamente funcional, raramente encontrada em países em desenvolvimento. Assim, novos enfoques são necessários para complementar as intervenções já em andamento (HARVESTPLUS, 2004).

Biofortificação

A introdução de produtos agrícolas biofortificados – variedades melhoradas que apresentam maiores conteúdos de minerais e vitaminas – complementar as intervenções em nutrição existentes. Os custos relativamente baixos associados ao aumento do conteúdo de nutrientes diretamente nos produtos agrícolas faz com que a biofortificação seja uma intervenção sustentável e potencialmente efetiva em termos de custo, o que constitui uma importante motivação para esta alternativa. Vários estudos documentam a efetividade do custo da biofortificação.

Os resultados refletem o fato de que é fundamentalmente mais barato aumentar o conteúdo de nutrientes no produto agrícola do que incorrer indefinidamente nos custos da fortificação (UNNEVEHR et al., 2007).

As variedades nutricionalmente melhoradas podem ser desenvolvidas por melhoramento convencional ou por transgenia, em instalações centralizadas de pesquisa; dessa forma, as sementes obtidas poderão ser adaptadas às condições de inúmeros países. Variedades biofortificadas apresentam o potencial de fornecer benefícios contínuos, ano após ano, nos países em desenvolvimento, a um custo recorrente inferior ao da suplementação e da fortificação pós-colheita.

Entretanto, o melhoramento de plantas por si só nem sempre é uma solução adequada por razões relacionadas às características da espécie da planta ou do nutriente de interesse. As melhores estratégias de biofortificação provavelmente envolverão técnicas de melhoramento e, quando necessário, de modificação genética.

Pesquisadores também observaram que níveis mais elevados de nutrientes não estão necessariamente correlacionados a uma maior biodisponibilidade. Conseqüentemente, além de

melhorar o conteúdo nutricional, a eliminação ou redução de antinutrientes que interferem com a biodisponibilidade pode constituir outra estratégia para a biofortificação (JEONG; GUERINOT, 2008).

O Programas Desafios em Biofortificação HarvestPlus e AgroSalud

O “Programa Desafio em Biofortificação – HarvestPlus” foi elaborado com o objetivo de melhorar a qualidade nutricional das principais culturas alimentares, que devem ser adaptadas às regiões onde são cultivadas. Foi idealizado para assegurar que os avanços científicos e tecnológicos sejam aplicados para enriquecer a dieta alimentar das populações mais pobres do mundo, que praticam agricultura de subsistência e vivem nas zonas marginais dos trópicos.

O HarvestPlus é uma iniciativa do Grupo Consultivo sobre Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR), envolvendo não só diversos centros de pesquisa deste grupo como o Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), Centro Internacional de Batata (CIP), Centro Internacional de Pesquisa Agrícola em Zonas Áridas (ICARDA), Instituto Internacional de Pesquisa de Produtos Agrícolas para o Trópico Semi-Árido (ICRISAT), Instituto Internacional de Pesquisa sobre Políticas Alimentares (IFPRI), Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA); Instituto Internacional de Pesquisa em Arroz (IRRI), além de diversas instituições parceiras colaboradoras como os Sistemas Nacionais de Pesquisa Agrícola (SNPA) em países em desenvolvimento; departamentos de nutrição humana em universidades em países desenvolvidos e em desenvolvimento; ONGs; Adelaide University; Freiburg University; Michigan State University; US Plant, Soil, and Nutrition Laboratory, Departamento de Agricultura dos Estados Unidos; Serviço de Investigação Agrícola (USDAARS); Childrens’ Nutrition Research Center, Baylor College of Medicine, USDA-ARS.

O HarvestPlus, iniciado em 2004, foi concebido para um período de 10 anos e conta com o apoio financeiro de várias instituições: Fundação Bill e Melinda Gates, Agência Dinamarquesa para o Desenvolvimento Internacional (DANIDA), Agência Sueca para o Desenvolvimento Internacional (SIDA), Agência Americana para o Desenvolvimento Internacional (USAID) e Banco Mundial.

O Projeto “Combatendo a fome oculta na América Latina: cultivos biofortificados com melhor qualidade protéica e maiores teores de vitamina A e minerais essenciais – AgroSalud” foi concebido como uma complementação ao HarvestPlus. Tem como objetivo reduzir a desnutrição e melhorar a segurança alimentar nutricional na América Latina e no Caribe, mediante a produção e o consumo de cultivos biofortificados. O AgroSalud realiza o mesmo trabalho que o HarvestPlus, só que com ênfase na América Latina e no Caribe, estudando também o processamento pós-colheita dos cultivos de maior importância nessas regiões: arroz, batata doce, feijão, milho e mandioca.

O CIAT e o IFPRI coordenam as atividades de fito-melhoramento, nutrição humana, difusão, análise de políticas e avaliação de impacto, que serão realizadas em centros internacionais de pesquisa e de extensão agrícola e em departamentos de ciência vegetal e nutrição humana em universidades de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Organizações não governamentais (ONG) de países desenvolvidos e em desenvolvimento, organizações de agricultores e parcerias do setor público-privado fortalecerão esta aliança e promoverão o vínculo com os consumidores.

Os trabalhos iniciais de biofortificação concentram-se em seis produtos agrícolas de primeira necessidade, para os quais estudos de pré-viabilidade de melhoramento já foram concluídos: feijão, mandioca, milho, arroz, batata doce e trigo. O programa também estudará o potencial de melhoramento do teor de nutrientes em outros dez produtos, que são componentes importantes das dietas das populações que sofrem de deficiência de micronutrientes: banana-plátano, cevada, feijão-caupi, amendoim, lentilha, milheto, feijão guandu, batata, sorgo e inhame.

Os alimentos contemplados no programa HarvestPlus e Agrosalud já são largamente produzidos e consumidos em nosso país, o que significa que agricultores e consumidores não têm que mudar seus hábitos alimentares para se beneficiar da biofortificação. Além do mais, o trabalho de melhoramento para aumentar o conteúdo de minerais não deve necessariamente alterar a aparência, o sabor, a textura ou a qualidade culinária do alimento.

Os Programas de Biofortificação no Brasil

No Brasil, Embrapa Agroindústria de Alimentos coordena as atividades dos programas HarvestPlus e AgroSalud, que têm como objetivo a seleção de populações segregantes de mandioca, feijão, milho, trigo e feijão-caupi com potencial agrônômico e maior valor nutricional (teores mais elevados de ferro, zinco e pró-vitamina A).

Uma forma de se assegurar que os agricultores tenham interesse pelas novas variedades é permitir que eles opinem sobre quais características das plantas devem ser melhoradas.

O melhoramento participativo de plantas, em que os cientistas, durante o processo de desenvolvimento, levam em consideração as perspectivas e preferências dos agricultores, pode ser mais efetivo em termos de custos do que confinar o melhoramento a estações de pesquisa. Um problema comum em muitos países em desenvolvimento é a falta de um sistema de entrega e distribuição de produtos – sejam eles insumos para a saúde ou produtos agrícolas – às populações mais carentes.

Os centros da Embrapa possuem experiência valiosa na criação e promoção de sistemas locais de distribuição de sementes, graças ao trabalho que atualmente desenvolvem com os sistemas de produção de sementes e à sua contribuição aos programas que prestam auxílio durante os desastres naturais. Esses sistemas, já estabelecidos, oferecem uma via natural para a disseminação de sementes biofortificadas. Em particular, os comitês agrícolas locais e as pequenas empresas de sementes desempenharão um papel crucial na tarefa de fazer chegar às mãos dos agricultores as variedades ricas em micronutrientes. Além dos parceiros internacionais, fazem parte da rede de pesquisa em biofortificação no Brasil, até o momento: Embrapa Agroindústria de Alimentos, Embrapa Arroz e Feijão, Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, Embrapa Milho e Sorgo, Embrapa Hortaliças, Embrapa Meio-Norte, Embrapa Trigo, Embrapa Tabuleiros Costeiros, UNICAMP, UNESP, UFRJ e UFRRJ.

O Projeto BioFORT

O projeto “Biofortificação no Brasil: desenvolvendo produtos agrícolas mais nutritivos – BioFORT” foi elaborado e aprovado em 2008 pelo Edital Convênio Embrapa/Monsanto como uma

forma de buscar novas fontes de financiamento para a continuidade da Biofortificação de produtos agrícolas no Brasil, complementando atividades importantes, que não eram contempladas pelos aportes externos dos Programas HarvestPlus e AgroSalud, como por exemplo, comunicação, desenvolvimento de novas embalagens e atuação em comunidades rurais no vale do Jequitinhonha-MG. A abóbora foi incorporada ao time. O fluxograma do projeto BioFORT é apresentado na Figura 1.

O feijão-caupi participa desse projeto com um plano de ação que envolve atividades de *screening* de germoplasma elite e de pré-melhoramento, validação em multilocais, estudos de controle genético dos teores de ferro e zinco, cruzamentos entre a cultivar BRS Xiquexique e linhagens nigerianas ricas em ferro e zinco, avaliação de populações segregantes para ferro e zinco, desenvolvimento de cultivares biofortificadas para ferro e zinco, altamente produtivas, resistentes às principais pragas e doenças, adaptadas às regiões de cultivo, e difusão das cultivares biofortificadas junto aos agricultores do Maranhão e Sergipe.

Biofortificação do feijão-caupi na África

Sob a iniciativa do programa HarvestPlus, apoiado pela Fundação Bill e Melinda Gates, entre outros, um programa sistemático de melhoramento para desenvolver cultivares de feijão-caupi com altos níveis de proteína e teores de micronutrientes foi iniciado em 2003. Desde o seu início, consideráveis progressos têm sido obtidos e aproximadamente 2.000 genótipos (cultivares e linhagens) foram avaliados, tendo sido evidenciada significativa variabilidade genética em proteína e teor de micronutrientes. Foram obtidas as seguintes variações: proteína, de 21% a 30,7%; cálcio, de 545 ppm a 1.300 ppm; ferro, de 48 ppm a 79 ppm; zinco, de 23 ppm a 48 ppm; e potássio, de 12.750 ppm a 16.150 ppm. Entre os genótipos testados, IT97K-1042-3, IT99K-216-481 e IT97K-556-4 apresentaram bons níveis de todos os nutrientes, enquanto que IT97K-131-2 e IT86D-724 apresentaram a menor concentração para a maioria dos nutrientes (TIMKO; SINGH, 2008).

As atividades de *screening* envolveram a identificação de minerais e caracteres agronômicos, e ensaios para proteína e carotenóides totais. A variação genética para os minerais sugere que o incremento em 50% nos teores de ferro e zinco é possível. Foram obtidos valores médios e máximos para carotenóides totais de $2 \mu\text{gg}^{-1}$ a $4,52 \mu\text{gg}^{-1}$, respectivamente. Um protocolo amostral, o qual reduz significativamente a contaminação de ferro a partir da poeira, foi desenvolvido e implementado (HARVESTPLUS, 2009).

Linhagens parentais com altos teores de micronutrientes e proteína foram identificadas. Cruzamentos entre linhagens parentais contrastantes em teores de minerais foram conduzidos para estabelecer a herança. Cruzamentos dialelos foram feitos para aumentar o entendimento da ação gênica dos teores de micronutrientes. Cruzamentos entre as melhores fontes de minerais, proteína e caracteres agronômicos para o desenvolvimento de cultivares foram conduzidos, bem como o desenvolvimento de produtos rápidos e intermediários; populações de retrocruzamentos também foram produzidas (HARVESTPLUS, 2009).

Linhagens foram testadas para o desempenho em várias zonas agroecológicas da África, com variação no padrão de pluviosidade. As melhores linhagens foram testadas em ensaios de segundo ano e linhagens promissoras, com alto teor de minerais e proteína com consistente desempenho

produtivo, foram identificadas. Linhagens elites foram selecionadas a partir de ensaios multilocais de interação genótipo x ambiente na Nigéria e Niger (HARVESTPLUS, 2009).

Após investimentos no *screening* de germoplasma e algumas atividades de pré-melhoramento, e devido à falta de desempenho / resposta ou conhecimentos obtidos a partir de outros componentes do programa, o HarvestPlus decidiu suspender as pesquisas com o feijão-caupi na África. O HarvestPlus aprovou fundos em 2008 apenas para concluir e resumir em curso a pesquisa de pré-melhoramento de feijão-caupi realizada entre 2003 e 2007 (HARVESTPLUS, 2009).

Biofortificação do feijão-caupi no Brasil

As atividades de biofortificação do feijão-caupi no Brasil tiveram início em 2006. Foi no I Congresso Nacional de Feijão-caupi - CONAC, realizado em Teresina, PI, que ocorreu a primeira reunião de articulação para a entrada do feijão-caupi no programa de biofortificação no Brasil, liderado pela Embrapa Agroindústria de Alimentos, entre os coordenadores do programa no Brasil e os melhoristas de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte. Nessa reunião, ficou decidido que o feijão-caupi entraria na segunda etapa do programa, como mais uma espécie a ser biofortificada no Brasil, a exemplo do arroz, do feijão-comum, da batata doce, da mandioca e do milho.

Durante o I CONAC, os coordenadores do programa de biofortificação e os melhoristas brasileiros de feijão-caupi tiveram também a oportunidade de conversar com o Dr. B. B. Singh, melhorista indiano que liderou o programa de melhoramento genético de feijão-caupi do International Institute for Tropical Agriculture (IITA) durante muitos anos e que estava participando do congresso como palestrante. Em 2007, o Dr. Singh intermediou e viabilizou a introdução de duas linhagens do IITA ricas em ferro e zinco. Essas linhagens chegaram ao Brasil no início de 2007 e ficaram em quarentena durante um período, sendo, depois, multiplicadas em condições de telado, visando confirmar a pureza genética e aumentar a quantidade de sementes.

Na primeira avaliação rápida (*fast-track*), realizada em 2007, dentro do Programa HarvestPlus, foram avaliados 44 genótipos (linhagens e cultivares) brasileiros e duas linhagens africanas ricas em ferro e zinco do IITA, a IT98K-205-8 e IT97K-1042-3. Os resultados mostraram a existência de grande variabilidade no germoplasma avaliado para esses constituintes. Observou-se a seguinte variação: proteína, de 20% a 28%; ferro, de 37 ppm a 77 ppm; zinco, de 30 ppm a 63 ppm. Destacaram-se a cultivar BRS Guariba e a linhagem MNC99-542F-7, com 26% de proteína; a linhagem TE96-290-12G, com 77 ppm de ferro e 54 ppm de zinco; seguida das linhagens TE97-304G-12, com 71 ppm de ferro; MNC99-557F-10, com 53 ppm de zinco; e os genótipos MNC99-537F-4, MNC99-557F-11 e Pretinho, com 51 ppm de zinco (Rocha et al., 2008). A linhagem TE96-290-12G foi superior à linhagem do IITA rica em ferro (IT98K-205-8), mas não superou a linhagem IT97K-1042-3, rica em zinco. No entanto, apresentou padrões de riqueza nos grãos para esses dois micronutrientes.

A linhagem TE96-290-12G, por apresentar alta produtividade, adaptabilidade às regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, resistência a algumas doenças e altamente tolerante à seca, foi lançada em 2008 com o nome de BRS Xiquexique (Freire Filho et al., 2008b).

Em 2008, os seis melhores genótipos em ferro e zinco foram validados para esses constituintes em três ambientes: Arari (MA), Boa Vista (RR) e Teresina (PI). O objetivo foi verificar o efeito da interação desses genótipos com os ambientes para os teores de ferro e zinco. Os resultados

mostraram que os teores de ferro e zinco são muito afetados pelos efeitos ambientais. O teor de ferro variou de 57 ppm (Boa Vista) a 77 ppm (Arari). Na média dos três ambientes, a cultivar BRS Xiquexique apresentou maior teor de ferro em valor absoluto (69 ppm), diferindo da média da testemunha (IT98K-205-8). O teor de zinco 48,6 ppm (Boa Vista) e 51,4 ppm (Arari). Na média dos três ambientes, as linhagens do IITA (IT97K-1042-3 e ITIT98K-205-8) foram superiores para os teores de ferro e zinco.

A cultivar BRS Xiquexique está sendo multiplicada no Maranhão e Sergipe e difundida junto aos agricultores desses estados em dias de campo e unidades demonstrativas. Também está sendo divulgada em feiras de ciências e agropecuárias (folders, vitrine, distribuição de sementes e degustação de pratos derivados da cultivar), e através de entrevistas em rádio e TV e elaboração de publicações técnico-científicas. A linhagem MNC99-537F-4, rica em zinco, foi registrada no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e será lançada no segundo semestre de 2009.

Em 2009, já dentro das atividades do projeto BioFORT, foram avaliados mais 40 genótipos de feijão-caupi das subclasses comerciais verde e fradinho para os teores de proteína, ferro e zinco. Pelo grupo das linhagens verdes, houve uma variação de 54 a 73 ppm para ferro, 37 a 55 g kg⁻¹ para zinco e 24 a 27% para proteína. As linhagens MNC05-843B-88, MNC00-595F-26 e MNC05-841B-49 destacaram-se para os conteúdos de ferro, zinco e proteína, respectivamente. Pelo grupo das 20 linhagens fradinho, houve uma variação de 49 a 78 ppm para ferro; 39 a 51 ppm para zinco; e 20 a 25% para proteína. A linhagem MNC05-820B-240 destacou-se para os conteúdos de ferro e proteína e a linhagem MNC05-832B-230-2-1 apresentou maior conteúdo de zinco.

De 2007 a 2009, foram avaliados 84 genótipos elites de feijão-caupi desenvolvidos pelo programa de melhoramento de feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte.

Considerações Finais

A solução definitiva para a erradicação da desnutrição nos países em desenvolvimento é aumentar substancialmente, por parte da população carente, o consumo de carne vermelha, frango, peixe, frutas, legumes e hortaliças, o que pode demorar várias décadas e custar bilhões de dólares. Entretanto, a biofortificação faz sentido como parte de um enfoque que considere um sistema alimentar integrado para reduzir a desnutrição. A biofortificação ataca a raiz do problema da desnutrição, tem como alvo a população mais necessitada, utiliza mecanismos de distribuição já incorporados, é cientificamente viável e efetiva em termos de custos, além de complementar outras intervenções em andamento para o controle da deficiência em micronutrientes. É, em suma, um primeiro passo essencial que possibilitará que famílias carentes melhorem, de maneira sustentável, sua nutrição e, conseqüentemente, sua saúde.

Neste sentido, a avaliação de germoplasma elite de feijão-caupi para os teores de ferro e zinco nos grãos resultou na seleção de cultivares 50% mais ricas em ferro e zinco (BRS Xiquexique e BRS Tumucumaque) que, juntamente com germoplasma exótico africano introduzido, igualmente ricos em ferro e zinco, representou o início e uma etapa importante na seleção de genitores para a realização dos primeiros cruzamentos, realizados com o objetivo de gerar populações e selecionar segregantes superiores para os teores de ferro e zinco, aumentando, assim, a probabilidade do atendimento de metas do projeto BioFORT (desenvolver cultivares biofortificadas com teores de ferro e zinco iguais

ou superiores a 100 ppm e 50 ppm, respectivamente. O projeto irá avaliar também a utilização do feijão caupi biofortificado no preparo de pratos convencionais e em produtos processados.

A biofortificação do feijão-caupi poderá trazer resultados positivos em áreas aonde este é consumido em quantidades suficientes para suprir níveis significativos de nutrientes à dieta. Representará, também, uma opção para compor os programas de políticas públicas focadas na melhoria da qualidade de vida, especialmente, de áreas carentes nos meios rural e urbano. Isso acarretará benefícios positivos para a saúde do consumidor.

No Brasil, o desenvolvimento de cultivares de feijão-caupi biofortificadas com ferro e zinco, juntamente com outros produtos biofortificados (abóbora, arroz, batata-doce, feijão-comum, mandioca e milho), altamente produtivas, resistentes às principais pragas, aceitas comercialmente pelos agricultores e adaptadas às regiões de cultivo do Brasil de maior consumo, mas de maior carência alimentar, poderá contribuir para reduzir a insegurança alimentar e melhorar o estado nutricional da população, principalmente em Estados como Maranhão e Sergipe, que apresentam índices significativos de desnutrição em crianças de 0 a 10 anos de idade.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer aos programas desafios HarvestPlus, AgroSalud e ao Fundo de Pesquisa Embrapa - Monsanto pelo suporte financeiro para a realização das atividades de biofortificação do feijão-caupi no Brasil.

Referências

BIOFORTIFICAÇÃO no Estado do Maranhão. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2008. 1 folder.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 2. ed. Barueri: Manole, 2006. 992 p.

FÁVARO, D. I. T.; HUI, M. L. T.; COZZOLINO, S. M. F.; MAIHARA, V. A.; VASCONCELLOS, M. B. A.; YUYAMA, L. Determination of various nutrients and toxic elements in different Brazilian regional diets by neutron activation analysis. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v.11, p. 129-136, 1997.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; SITOLLIN, I. M. Avanços e perspectivas para a cultura do feijão-caupi. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008a. v.1, p. 285-250.

FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; RIBEIRO, V. Q.; SITOLLIN, I. M.; CARVALHO, H. W. L. de; COSTA, A. F. de; ALCÂNTARA, J. dos P.; FERNANDES, J. B.; GONÇALVES, J. R. P.; VILARINHO, A. A.; CRAVO, M. da S.; CAVALCANTE, E. da S.; NUTTI, M. R. **BRS Xiquexique: cultivar de feijão-caupi rica em ferro e zinco**. 2008b. 4 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado técnico, 209).

FROTA, K. M. G. Efeito do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) e da proteína isolada no metabolismo lipídico em hamsters hipercolesterolemizados. São Paulo, 2007. 136 f. Dissertação

- (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- FROTA, C. de M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar BRS Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008.
- HAAS, J. D.; BEARD, J. L.; MURRAY-KOLB, L. E.; DEL MUNDO, A. M.; FELIX, A.; GREGORIO, G. B. Iron-biofortified rice improves the iron stores of nonanemic Filipino women. **Journal of Nutrition**, v. 135, n. 12, p. 2823-2830, 2005.
- HARVESTPLUS. **Breeding crops for better nutrition**. Washington, DC, 2004. 1 folder.
- HARVESTPLUS. MTP 2009-2011. **Project Portfolio, phase-out activities**: yam and cowpea. 2009. Online. Disponível em: <http://cgmap.cgiar.org/documents/MTPProjects/2009-2011/HPCP_2009-2011_12.PDF>. Acesso em: 28 jun. 2009.
- JEONG, J.; GUERINOT, M. L. Biofortified and bioavailable: the gold standard for plantbased diets. **PNAS**, v. 105, n. 6, p.1777-1778, 2008.
- KENNEDY, G.; NANTEL, G.; SHETTY, P. The scourge of “hidden hunger”: global dimensions of micronutrient deficiencies. **Food Nutr. Agr.**, v. 32, n. 8, p. 8-16, 2003.
- MCCALL, K. A.; HUANG, C.; FIERKE, C. A. Function and mechanism of zinc metalloenzymes. **The Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1437S-1446S, 2000. (5S Suppl.).
- MCGUIRE, J. Addressing micronutrient malnutrition. **SCN News**, v. 9, p.1-10, 1993.
- LIMA, E. D. P. A.; JERÔNIMO, E. S.; LIMA, C. A. A.; GONDIM, P. J. S.; ALDRIGUE, M. L. A.; CAVALCANTE, L. F. Características físicas e químicas de grãos verdes de linhagens e cultivares de feijão-caupi para processamento tipo conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 129-134, 2003.
- MOREIRA, P. X.; BARBOSA, M. M.; BRITO, E. S.; LIMA, A. C. **Processo agroindustrial** : elaboração de salgadinhos de feijão-caupi. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. 2006. 3 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 121).
- MOREIRA-ARAÚJO, R. R. S.; FROTA, K. M.; MENESES, M. A.; MARTINS, L. S.; ARAÚJO, A. M. Composição química de formulações elaboradas à base de farinha de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.). In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1., 2006. Teresina, **Anais...Teresina**: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM.
- MORRIS, C. E.; SANDS, D. C. The breeder’s dilemma – yield or nutrition? **Nature Biotechnology**, v.24, n.9, p.1078-1080, 2006.
- NUTTI, M. R.; WATANABE, E.; CARVALHO, J. L. V.; BOUIS, H. Biofortification in Brazil: the HarvestPlus Challenge Programme. In: SERAGELDIN, I.; MASSOD, E. **Changing Lives – BioVision Alexandria 2006**. Alexandria: Bibliotheca Alexandrina, 2007. p. 289-296.
- PEREIRA, C. P. Um, dois, feijão com arroz. **Revista Saúde**, n. 294, p. 14-17, 2008.

PESQUISADORA fala sobre biofortificação de alimentos para combater deficiência de ferro e vitamina A. **Informe Sergipe**. Disponível em: <http://www.informesergipe.com.br/pagina_data.php?sec=2&&rec=19571&&aano=2007&&mms=8>. Acesso em: 26 mar. 2008.

ROCHA, M. de M.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, K. J. D. e.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, A. L. H.; FRANCO, L. J. D.; BASSINELO, P. Z.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. de. **Avaliação dos conteúdos de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi**. 2008. 4 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte. (Embrapa Meio-Norte. Comunicado técnico, 212).

SHOSHIMA, A. H. R.; TAVANO, O. L.; NEVES, V. A. Digestibilidade *in vitro* das proteínas de caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) vr. BR 14-Mulato: efeito dos fatores antinutricionais. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, n. 4, p. 299-304, 2005.

SINGH, B. B. Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. In: SINGH, R. J.; JAUHAR, P. P. (Ed.). **Genetic Resources, Chromosome Engineering and Crop Improvement**. Boca Raton, FL, USA: BocaCRC Press, 2005. v.1. p. 117–162.

SILVA, S. M. S.; MAIA, J. M.; ARAÚJO, Z. B.; FREIRE FILHO, F. R. **Composição química de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.)**. Teresina, 2002. 2 p. Teresina: Embrapa Meio-Norte (Embrapa Meio-Norte. Comunicado técnico, 149).

TIMKO, M. P.; SINGH, B. B. Cowpea, a multifuncional legume. In: MOORE, P.H.; MING, R. (Ed.). **Plant genetics and genomics: crops and models**. New York: Springer, 2008. p. 227-258.

UNNEVEHR, L.; PRAY, C.; PAALBERG, R. Addressing micronutrient deficiencies: alternative interventions and technologies. **AgBioForum**, v.10, n. 3, p.124-134, 2007.

WELCH, R. M. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well being. In: SINGH, K.; MORI, S.; WELCH, R. M. (Ed.). **Perspectives on the micronutrient nutrition of crops**. Jodhpur: Scientific Publishers, 2001. p. 237-289.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Iron deficiency anaemia: assessment, prevention, and control – A guide for programme managers**. Geneva, 2001. Disponível em: <<http://www.who.int/reproductive-health/docs/anaemia.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2007.

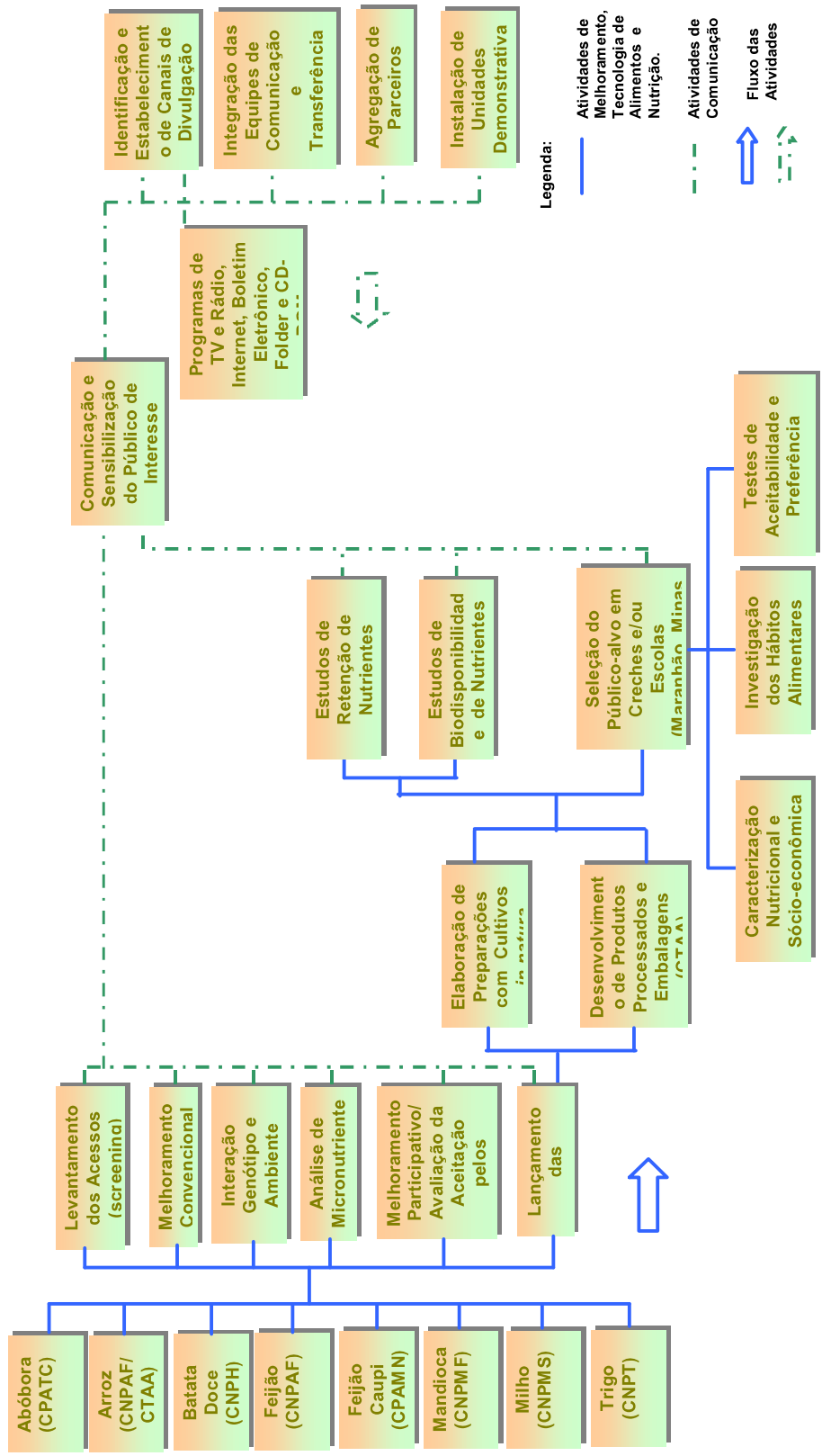


Fig. 1 - Fluxograma do Projeto "Biofortificação no Brasil: promovendo melhor nutrição através do desenvolvimento de produtos agrícolas".