

MELHORAMENTO GENÉTICO DA CULTURA DA MANDIOCA (*Manihot esculenta* Crantz)Genetic improvement of cassava crop (*Manihot esculenta* Crantz)Ana Carolina da Costa LARA¹Silvio José BICUDO^{1,2}Elizeu Luiz BRACHTVOGEL¹Magno Luiz de ABREU¹Felipe CURCELLI³**RESUMO**

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma importante cultura tropical, e constitui a base alimentar de cerca de 500 milhões de pessoas da África, Ásia e América Latina. A domesticação da planta de mandioca ocorreu juntamente com os povos antigos, através de práticas de seleção realizada pelo homem, no seu cultivo itinerante e pela própria seleção natural. Os genótipos de mandioca existente nas coleções e bancos de germoplasma do mundo apresentam suficiente grau de variabilidade, e fornecem aos melhoristas a maior parte dos caracteres de interesse econômico. Os programas de melhoramento genético da mandioca visam obter materiais com resistência as principais doenças causadas por fungos como *Fusarium* spp. e *Phytophthora* sp., com teores maiores de proteína, menor potencial cianogênico, além de melhores qualidades culinárias. Avanços vêm sendo alcançados nos programas de melhoramento convencional, e pesquisas mais recentes mostram o potencial do melhoramento genético através da biotecnologia em genótipos de mandioca.

Palavras-chave: Genótipos, melhoramento convencional, biotecnologia.

SUMMARY

The cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is an important tropical culture, and constitutes the alimentary base of about 500 million people of Africa, Asia and Latin America. The domestication of the cassava plant occurred together with the old peoples, through practical of election carried through for the man, in its itinerante culture and for the proper natural election. The existing cassava genotypes in the collections and banks of germoplasma of the world present sufficient variability degree, and supply to the melhoristas most of the characters of economic interest. The programs of genetic improvement of the cassava aim at to get materials with resistance the main illnesses caused for fungos as *Fusarium* spp. e *Phytophthora* sp., with bigger texts of protein, cianogênico potential minor, beyond better culinárias qualities. Advances come being reached in the programs of conventional improvement, and more recent research shows the potential of the genetic improvement through the biotechnology in cassava genotypes.

Keywords: Genotypes, conventional improvement, biotechnology.

¹ Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP). Caixa Postal 237, CEP 18603-970 – Botucatu-SP. e-mail: analara@fca.unesp.br, elizeub@fca.unesp.br, magno_abreu@fca.unesp.br.

² Professor do Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP). Caixa Postal 237, CEP 18603-970 – Botucatu-SP. e-mail: sjbicudo@fca.unesp.br.

³ Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP). Caixa Postal 237, CEP 18603-970 – Botucatu-SP. e-mail: curcelli@fca.unesp.br.

1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) pertence à família *Euphorbiaceae*, e é uma importante cultura tropical. É fonte de calorias que estão armazenadas na raiz, sob a forma de fécula, e sua importância se dá porque ela constitui a base alimentar de cerca de 500 milhões de pessoas da África, Ásia e América Latina. O Brasil é o 2º maior produtor mundial, onde o Pará apresenta-se como o maior estado produtor, com uma produção de 3.500.000 t de raízes, e responde por 70% da produção na Região Norte. Os usos da mandioca são diversos, sendo utilizado desde a alimentação animal à humana, sob as formas "in natura" e também sobre produtos processados, com grande valor agregado. A domesticação da planta de mandioca ocorreu juntamente com os povos antigos, por se tratar historicamente de uma cultura itinerante, passando do seu estado selvagem para domesticado através de práticas de seleção realizada pelo homem, com uma ampla variedade de técnicas e pelos usos diversos pelos povos. O grande número de variedades locais existentes e a própria seleção natural também contribuíram para a domesticação e a constante dinâmica evolutiva da espécie.

O gênero *Manihot* têm 98 espécies, porém a única cultivada comercialmente para produção de raízes comestíveis é a *M. esculenta* Crantz., possuindo esta diversas sinônimas: *M. utilíssima*, *M. edulis*, e *M. aipi*. Na América Latina, como no Brasil é conhecida como mandioca e yuca em outros países (DOMINGUEZ et al. 1982).

A mandioca tem origem americana, com grande parte da sua diversificação na América Latina, e centro de origem primário a América do Sul e secundário a região entre a Guatemala e o México (FUKUDA, 2002). Segundo ESPINOZA (1991), na América Central e América do Sul

formaram-se dois grupos distintos e somente *M. esculenta* é comum aos dois grupos. A espécie *M. esculenta* tem a estrutura reprodutiva típica de espécies alógamas, porém em programas de melhoramento isso é facilmente modificado, conseguindo até 100% de autofecundação ou 100% de cruzamentos. Apresenta alta heterozigose, que é decorrente do tipo de antese floral protogínica, da macho-esterilidade e da forte depressão endogâmica ocasionada pelas autofecundações, apesar de não possuir barreiras genéticas ou fisiológicas que a impeçam. (KAWANO et al. 1982). A propagação da mandioca se dá por partes vegetativas, mas sementes botânicas são facilmente conseguidas, e a grande variabilidade existente é fonte para os programas de melhoramento genético da mandioca, os quais vêm obtendo sucesso, disponibilizando genótipos produtivos, adaptados à diversas condições e com resistência às principais doenças e pragas.

Em virtude da importância econômica e social da cultura, bem como a escassa literatura abordando o melhoramento genético na cultura, o objetivo desta revisão é analisar o atual estado da arte do melhoramento genético da mandioca, por meio de relatos dos trabalhos realizados na área e análise das principais características do melhoramento genético da cultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Aspectos botânicos da espécie

É planta monóica, com flores masculinas e femininas na mesma inflorescência, sendo que as masculinas aparecem na parte superior e as femininas na parte inferior da inflorescência. As flores masculinas se apresentam em maior quantidade do que as femininas. As inflorescências da mandioca são formadas por

panículas e racemos compostas por flores masculinas e femininas. Apresenta protoginia, sendo que as flores femininas abrem uma semana antes das masculinas, podendo ocorrer na mesma planta a abertura simultânea de flores femininas e masculinas na mesma inflorescência (FUKUDA, 2002). É um alotetraplóide, com 36 cromossomos, $x=9$, com meiose regular de 18 bivalentes.

Germoplasma

Os materiais de mandioca existente nas coleções e bancos de germoplasma do mundo apresentam suficiente grau de variabilidade. Segundo COSTA & MORALES (1994), aproximadamente 8500 acessos de mandioca são mantidos no mundo, dos quais 7500 na América do Sul. No Brasil, considerado o provável centro de origem e diversificação da espécie cultivada, já foram catalogados aproximadamente 4132 acessos. Na região Nordeste há dois bancos regionais de germoplasma de mandioca: o banco regional de germoplasma de mandioca para as condições semi-áridas, sob a responsabilidade da Embrapa - Semi-Árido (CPATSA), em Petrolina-PE, que possui 347 acessos oriundos de coletas realizadas em municípios localizados no semi-árido, e o banco regional de germoplasma de mandioca para o Litoral e Tabuleiros Costeiros do Nordeste, sob a responsabilidade da Embrapa - Mandioca e Fruticultura (CNPMPF), em Cruz das Almas-BA, atualmente com 1650 acessos no campo e 1000 acessos *in vitro*. Dentro da espécie *Manihot esculenta*, já foi identificada diversidade genética para quase todos os caracteres, incluindo aqueles de natureza morfológica, agronômica e de resistência as principais pragas e doenças que afetam a cultura no país. (FUKUDA *et al.*, 1991).

Contudo, a grande variabilidade de materiais existentes ainda é muito pouco explorada em termos de estudos genéticos. A conservação e caracterização do germoplasma de mandioca são de extrema importância, para que não ocorra a perda desses recursos, fundamentais para o sucesso da produção agrícola. O termo "etnovariabilidade" largamente utilizado para a planta de mandioca refere-se exatamente a preservação dos materiais genéticos existentes, já que tem por definição serem, os recursos genéticos agrícolas coletados e utilizados pelos centros de germoplasma e conservados de forma *ex situ*.

Caracterização da variabilidade genética em etnovariabilidades

A presença de grande número de etnovariabilidades de mandioca tem uma fundamental importância do ponto de vista genético, resultando em uma vasta fonte de diversidade genética, principalmente para características específicas não encontradas nos materiais melhorados. Contudo, é necessário realizar estudos para o entendimento do manejo agrícola das roças, compreender a diversidade existente, os processos que envolvem a evolução dinâmica das etnovariabilidades e suas interações com os aspectos culturais, econômicos e ecológicos das comunidades tradicionais. Segundo PERONI (1999), a diversidade inter e intra-específica é grande nas roças de mandioca, e que há tanto as espécies de propagação vegetativa, como também espécies de propagação por semente das quais se utilizam os grãos e frutos para o consumo. O agricultor nesse caso é hábil em integrar variedades de espécies diferentes dentro de um mesmo ambiente de cultivo. Esse sistema agrícola denotado de atrasado ou primitivo, contribui para a

manutenção da diversidade e de variabilidade genética. Portanto, estratégias de conservação *in situ* devem considerar a riqueza deste conhecimento para que tanto as populações humanas como as espécies e etnovarietades cultivadas não desapareçam.

Objetivos dos programas de melhoramento genético da mandioca

O produto principal da cultura da mandioca são suas raízes comestíveis, porém a parte aérea também é utilizada. Nos programas de melhoramento da cultura da mandioca os objetivos são definidos pela cadeia produtiva, exemplo da demanda de produção, processamento e mercado e em virtude da diversidade cultural no consumo da mandioca, sendo esses mecanismos específicos para cada país ou região. Contudo, alguns objetivos são comuns a todas as regiões, como aumento da produtividade de raízes e resistência à pragas e doenças (FUKUDA, 2002).

Segundo BORÉM (2005), os caracteres de interesse agrônomo para a cultura da mandioca são, em sua maioria, controlados por vários genes com efeitos aditivos, os quais são complexos e necessitam longo tempo para se fixar em um genótipo. Um importante ponto do melhoramento genético da mandioca é a relação ao ecossistema e a finalidade de exploração de cultivo. A mandioca, apesar de possuir uma grande adaptação às diferentes condições edafoclimáticas, apresenta alta interação dos genótipos com o ambiente. Isso indica que os genótipos iguais dificilmente se comportam de maneira semelhante em ambientes diferentes. A alta incidência de pragas e doenças que afetam a espécie é uma consequência desse fato, cuja gravidade é limitada a condições edafoclimáticas específicas e restritas a determinados

ecossistemas. A mandioca também é fortemente afetada por estresses ambientais, limitando ou até inviabilizando o desenvolvimento de uma única variedade em diferentes ecossistemas.

a) Resistência à doenças e pragas: As principais pesquisas são para a obtenção de materiais resistentes à podridão de raízes, cujo agente causal é o fungo *Fusarium* spp. e *Phytophthora* sp., à bacteriose (*Xanthomonas campestris* pv *manihotis*), ao couro de sapo, que é uma doença virótica, e ao superbrotamento, causado por fitoplasmas. O vírus do mosaico africano tem grande importância na África, possuindo uma linha de melhoramento. Não há, portanto, relatos de sua ocorrência na América Latina. Na região Nordeste do Brasil, o melhoramento vem sendo realizado para se obter resistência à pragas, como o ácaro, cuja incidência é alta nessa região, e nas regiões dos cerrados brasileiros (FUKUDA, 2002).

b) Aumento do teor de proteína: Outra linha importante dos programas de melhoramento da mandioca é na obtenção de cultivares com maiores teores de proteína. O professor da Universidade de Brasília (UnB) Nagib Nassar, trabalha com a hibridização da mandioca para o aumento do teor protéico (de 1,5% para 4% de proteínas). A técnica utilizada consiste em duplicar os cromossomos da planta original, onde tal mecanismo científico aumenta de 30% a 40% o conteúdo de proteína do vegetal, apenas cruzando espécies silvestres (que possuem 8% de proteínas) com a mandioca comum. Atualmente, no experimento que promete a obtenção de 5% de proteína, ele já conseguiu duplicar os cromossomos artificialmente, técnica conhecida como poliploidia, não sendo portanto, um produto transgênico. Outro híbrido importante produzido pelo professor Nassar Nagib é um híbrido apomítico, ou seja, capaz de produzir sementes sem fecundação sexual. Esta linha era

resistente às bactérias e ao vírus, e após uma geração original a qualidade nutricional da raiz foi extremamente elevada. O resultado realmente surpreendeu o próprio autor do trabalho, já que normalmente dez gerações são necessárias para se elevar o teor de proteína de 20 a 30%. (JORNAL DA CIÊNCIA, 2005).

c) Potencial cianogênico - Mandioca mansa ou brava: A classificação citada é bastante antiga e data das civilizações pré-colombianas, e tem como critério a toxicidade e palatabilidade das raízes, classificando as variedades de mandioca em dois grupos: mansas ou doces e bravas ou amargas. As variedades bravas têm sabor amargo e as doces não, são levemente adocicadas. O sabor amargo está associado ao potencial cianogênico, que é a capacidade da liberação de ácido cianídrico (HCN), substância altamente tóxica. Relatos afirmam que o sabor amargo é perceptível a partir de 100 mg eq. HCN/kg de polpa das raízes. Porém é difícil a distinção entre os grupo, já que não há qualquer característica morfológica da planta que permita distingui-los. A diferença mais concreta entre variedades bravas e mansas encontra-se no modo de consumo, sendo que as mandiocas bravas somente são consumidas após processamento industrial, na forma de farinha. O estudo do caráter do conteúdo cianogênico indica se tratar de herança quantitativa, observações feitas pelo tipo de segregação. Ainda que sofra algum grau de influência ambiental, é possível selecionar indivíduos com maior ou menor teor cianogênico devido à alta herdabilidade oriunda de ampla variabilidade genotípica. A principal responsável pela variação do potencial cianogênico nas progênes é a constituição genética dos indivíduos, espera-se que processos seletivos simples, como a escolha dos parentais e a avaliação fenotípica, sejam eficientes para

reduzir o teor de glicosídeos cianogênicos em populações segregantes.

d) Variedades de mandioca para indústria e mesa: Para variedades para uso na indústria, os objetivos são elevados teores e qualidade do amido e da farinha. No consumo humano, o baixo teor de ácido cianídrico nas raízes, em média 50 ppm, o cozimento rápido (<30 min) e a qualidade culinária da massa cozida. A parte aérea é importante para uso na alimentação animal, onde além da produtividade de parte aérea, a boa retenção de folhas e altos teores de proteína na folha são de extrema importância.

e) Aumento da produtividade: A característica produtividade ou rendimento de raízes para a cultura da mandioca, está correlacionada com outros caracteres da planta, os quais compõem a produção. Fazem parte da produção o peso de raízes, o peso da parte aérea, o número de raízes por planta, a altura da planta e o índice de colheita (BORÉM, 2005).

Segundo KAWANO et al. (1978), há correlações positivas e significativas entre o rendimento de raízes, número de raízes por planta e o índice de colheita, indicando que ambos são considerados bons critérios de seleção no que diz respeito à produtividade de raízes. Contudo o índice de colheita deve ser avaliado com cautela, já que altos índices e baixa produção de parte aérea significam baixa produção de material para propagação. Já o rendimento de raízes e o índice de colheita correlacionam-se negativamente com a altura de plantas e o rendimento da parte aérea. Com isso, na seleção para rendimento de raízes é necessário evitar genótipos com desenvolvimento vegetativo exagerado, sendo o ideal o equilíbrio entre as partes (BORÉM, 2005).

Outros programas de melhoramento genético da mandioca foram realizados para adaptação à estresses abióticos, como

resistência à seca e tolerância a solos com altos teores de alumínio, além de tolerância a condições de frio (FUKUDA, 2002).

Métodos de melhoramento convencional para a cultura da mandioca

A mandioca sendo uma espécie alógama, apresenta alta heterozigose e ampla segregação na primeira geração após a hibridação. Quando se identifica um híbrido superior nessa primeira geração, é feita a fixação por meio da propagação vegetativa, ou seja, a clonagem do híbrido. Essa é a grande vantagem da mandioca em trabalhos de melhoramento. Contudo, há que se trabalhar com populações grandes, além da dificuldade de se estimar com precisão a performance dos genótipos gerados, e a baixa taxa de propagação vegetativa, o que vem a ser as desvantagens da espécie para o melhoramento (FUKUDA, 2002).

Os principais métodos de melhoramento utilizados na cultura da mandioca são a introdução e a seleção de variedades, as hibridações intra-específicas, inter-específicas e a indução de poliplóides. Segundo ESPINOZA (1991), as técnicas de hibridação podem ser: hibridações controladas ou policruzamentos. A hibridação controlada, pelo tamanho relativamente grande das flores femininas e pela separação das flores masculinas é uma técnica fácil na cultura da mandioca.

Melhoramento genético da mandioca através da biotecnologia

O uso da biotecnologia no melhoramento genético de plantas vem ganhando seu espaço, e na cultura da mandioca não é diferente. Estudos revelam que os ganhos com as técnicas moleculares irão superar os obtidos com o melhoramento convencional.

O uso da técnica de transferência de gene empregada atualmente para produção de mandioca vem se aperfeiçoando nos últimos cinco anos. Os programas de melhoramento pelo método de transformação genética têm como objetivo desenvolver plantas de mandioca com resistência às principais doenças virais e às pragas, além de propriedades nutricionais melhores, níveis maiores de amido e índice cianogênico reduzido nas raízes. Após um período de desenvolvimento de tecnologia nos anos 90, o progresso na área de mandioca geneticamente modificada foi significativo, onde diversos grupos de pesquisa trabalharam arduamente para disponibilizar aos produtores e aos consumidores materiais melhorados (TAYLOR, 2004).

Importantes programas de melhoramento convencional de mandioca vêm sendo realizados à nível internacional, como no Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) na Colômbia, e no Instituto Internacional para a Agricultura Tropical (IITA) na Nigéria, e em dois centros do CGIAR. Há que se destacar o sucesso desses programas, no quesito de desenvolvimento e distribuição de variedades da mandioca com resistência a algumas doenças e pragas e melhores índices da matéria seca e melhores qualidades de processamento das suas raízes, na África, Ásia e nas Américas (JENNINGS & IGLESIAS, 2002). Entretanto, já se prevê que somente o melhoramento convencional não trará ao produtor materiais mais produtivos e resistentes em pouco tempo, como se espera. Segundo TAYLOR et al. (2002), a ampla diversidade genética da mandioca espalhada pelo mundo levará muito tempo para ser trabalhada pelo melhoramento convencional, e é nesse aspecto que se valida a importância do melhoramento genético da mandioca pela biotecnologia.

A aplicação de tais tecnologias para produção de plantas geneticamente melhoradas integra assim o campo das pesquisas, e atrai a atenção dos produtores. A tecnologia da transgenia permite benefícios quando se transfere um gene de uma variedade de mandioca à outra e também dos parentes selvagens à mandioca cultivada, solucionando com isso alguns entraves da espécie, como cruzamentos cruzados e a depressão de consanguinidade, inerente ao cultivo da mandioca, propagado vegetativamente (TAYLOR, 2004).

Tecnologias de transferência do gene no genoma da mandioca

Do mesmo modo que para outras espécies, a técnica de transformação genética de mandioca necessita do desenvolvimento de um protocolo eficiente de cultura de tecidos, tanto para gerar células totipotentes, como para a posterior regeneração de tais plantas modificadas. Os tecidos da planta atuam como o local onde será inserido o transgene, e onde após será realizada a seleção para se verificar se houve sucesso na integração e regenerar as plantas transformadas. Estudos recentes identificaram que os embriões somáticos podem ser utilizados como explantes e regenerar plantas inteiras. As plantas regeneradas são clones do material, que preserva todos os traços do material genético utilizado. Estas estruturas embriogênicas multicelulares e embriões secundários que podem ser gerados destes foram usados como o alvo para a inserção do transgene quando os programas para a engenharia genética da mandioca foram iniciados no começo dos 90. Calos friáveis e suspensões embriogênicas vêm sendo utilizados com sucesso como tecidos alvo para integração dos genes de interesse através do bombardeamento de micro-partículas

(RAEMAKERS et al.,1996) e a pela *Agrobacterium tumefaciens* (SCHREUDER et al., 2001). O protocolo mais eficiente para regeneração de plantas geneticamente transformadas é aquele que conserva as principais qualidades agronômicas, possuindo a menor taxa de quimeras ou variações somaclonal.

O método de inserção do gene de interesse no genoma da planta de mandioca pela *A. tumefaciens* é o mais utilizado, tornando até padrão de transformação genética para a planta, pelo fato de inserir somente uma única cópia do gene de interesse no tecido alvo. Em recentes pesquisas na universidade de estado de Ohio, na universidade dos EUA e do KVL, Dinamarca, foi relatado progresso significativo para a produção de mandioca acianogênica. Foram inseridos genes que codificam a família do citocromo P450s que catalisa a primeira etapa da síntese de linamarina e do lotaustralin, onde foram expressos na orientação antisentido da mandioca transformada. A análise *in vitro* das plantas geneticamente modificadas confirmou a redução de 34% a 94% no teor de linamarina (SIRITUNGA & SAYRE, 2003).

Objetivos dos programas de transferência gênica

a) Resistência à pragas: A broca do caule da mandioca (*Coelostermus* spp.) é uma praga de significativa importância na Colômbia e na Venezuela. No norte da Colômbia, 85% das terras cultivadas com a mandioca apresentam a praga, sendo verificadas perdas de mais de 60% (BELLOTTI, 2002), não havendo relatos de resistência. O CIAT iniciou um programa para inserir a resistência à broca do caule da mandioca e ao "horn worm", ao genoma da mandioca. Até o momento, as plantas

geneticamente modificadas que expressam o gene *cry1Ab*, resultaram em cultivares de importância econômica, como a CM 3306-4, a 1219-9, além da cultivar africana 60444. Níveis da expressão de *CRY1Ab* em linhas transgênicas da cv. 60444 foram verificados, e as plantas transformadas estão em estufa para posteriores testes, mas já com resultados satisfatórios.

b) Resistência à vírus : A doença de mosaico da mandioca (CMD) é a doença mais importante na cultura da mandioca. Os agentes causais são os *Geminivirus*, transmitidos pela mosca branca. Oito espécies distintas desse vírus são conhecidos por contaminar o cultivo na África e no sub-continentes indiano. O uso de manivas contaminadas é um grave problema, propagando assim a doença. (PITA et al., 2001). As perdas para o ataque do patógeno estão na ordem de 30-40% de raízes colhidas. Os programas convencionais de melhoramento IITA têm alcançado sucesso em produzir variedades melhoradas com resistência de nível elevado a CMD, com mais de 200 liberações relatadas aos produtores nas regiões crescentes da mandioca principal de África. Porém, as estratégias transgênicas possuem papel importante para combater CMD, introduzindo fontes novas de resistência ao material genético da mandioca. Foi utilizado o método do bombardeamento de partículas para a inserção do gene de resistência no genoma da mandioca.

c) Resistência à herbicidas: A falta de controle de plantas invasoras em campos da mandioca é um grave problema que pode conduzir à perdas significativas. O desenvolvimento da planta transgênica de mandioca com resistência ao glyphosate, se deu depois de 2004, onde plantas da cv. 183, expressando o gene *bar* que codifica o acetyltransferase-phosphinothricin (PPT) e fornece a resistência ao herbicida, foram

produzidas e regeneradas no CIAT (SARRIA et al., 1995, 2000). Novas plantas transgênicas da mandioca para a tolerância à aplicação de PPT estão sendo geradas no CIAT, da cultivar colombiana AIC-Negrita (CM3306-4). Porém, o material resistente ao glyphosate não é prioridade em programas de transformação genética.

d) Teor de amido: O uso de genes antisentido reduz o acúmulo do amido e aumentam o teor de açúcar da mandioca, quando no armazenamento de suas raízes. Essa nova proposta é potencialmente reconhecida e valorizada pelas companhias produtoras de álcool, para se obter o álcool de mandioca. Os cDNAs codificam o pyrophosphorylase ADP-glicose (AGPase), que é a enzima de ramificação (BEI, BEII), e síntese do amido (GBSS), envolvidos no caminho biossintético do amido. Segundo TAYLOR (2004), a pesquisa no CIAT para produzir a mandioca *waxy* iniciou com um projeto financiado pelo Ministério da Agricultura Colombiana, para produzir variedades industriais da mandioca, usando uma construção antisentido e de sentido de um gene completo GBSSI. As construções foram integradas em calos friáveis da cv. 60444, através da *A. tumefaciens*. Ainda faltam dados da regeneração dessas plantas.

Os pesquisadores da Universidade do Estado de Ohio obtiveram sucesso no aumento da biossíntese total do amido, através de plantas transformadas que expressam uma versão modificada do Gene do *glgC* de *Escherichia Coli* sob o controle do gene específico de tubérculo da batata (LLOYD et al., 1999). As plantas transformadas de mandioca foram regeneradas e apresentaram um aumento maior que 65% na atividade de AGPase comparado aos controles.

Perspectivas futuras para a mandioca transgênica

Trabalhos primários vêm sendo realizados para aumentar o tempo de conservação pós-colheita da mandioca. Também são despendidos esforços para aumentar o índice de proteínas das raízes de mandioca, assim como aumentar os níveis de ferro, vitamina A e micronutrientes, como o zinco (DELLAPENNA, 1999). A síntese e o acúmulo de polímeros bioplásticos de alto valor, tais como o polyhydroxybutyrate nas raízes da mandioca são também vertentes possíveis para a transformação genética da planta, de grande interesse econômico.

Os progressos em modificação genética da mandioca, no CIAT, Colômbia, são relatados como projetos futuros, como a resistência ao CBB (LÓPEZ et al., 2003), ao CMD (AKANO et al., 2002) e a longo prazo para a mosca branca (BELLOTTI, 2001).

Pela alta heterozigose da existente na mandioca, os níveis de expressão do gene que será inserido no genoma da mandioca devem ser mantidos através de muitos ciclos vegetativos sucessivos, para evitar que fatores biótico e abióticos existentes nas terras cultivadas com a mandioca promovam a variação desses genótipos. Conseguir um material homozigoto é oneroso, em virtude da depressão de consanguinidade, e no caso das variedades preferidas pelos produtores, há um desejo de se manter o fundo genético existente nessa variedade, evitando o cruzamento sexual. A Fundação Rockefeller e o CIAT possuem propostas para a produção de duplo haplóide na mandioca. Esse projeto resolveria os problemas associados com a recombinação sexual e facilitaria a produção de mandioca homozigota para transgênica.

No âmbito das pesquisas das modificações genéticas na mandioca observa-se que existem muitos resultados em laboratórios satisfatórios, porém a confirmação do sucesso precisa ser

realizada em condições de campo, já que a maioria das plantas transformadas encontra-se atualmente em estufas.

3. CONCLUSÕES

O melhoramento genético da mandioca, pelos métodos convencionais ou por métodos biotecnológicos vêm alcançando sucesso, disponibilizando clones para os produtores de alta qualidade culinária, resistente à pragas e doenças, com menores potenciais cianogênicos, entre outras características de interesse. A ampla variabilidade das etnovarietades existentes nas roças de mandioca merecem destaque, e são necessários mais estudos e pesquisas para se obter maior conhecimento e saber a melhor utilização do germoplasma disponível.

4. REFERÊNCIAS

- AKANO, A. O.; DIXON, A. G. O.; MBA, C.; BARRERA, E.; FREGENE, M. 2002. Genetic mapping of a dominant gene conferring resistance to cassava mosaic disease. **Theor. Appl. Genet.**, v. 105, p. 521-525.
- BELLOTTI, A. C. 2002. Arthropod pests. In: R. J. Hillocks and J.M. Thresh (Eds.) **Cassava: Biology, Production and Utilization**. CABI, Oxon, p. 209-235.
- BELLOTTI, A. C.; ARIAS, B. 2001. Host plant resistance to whiteflies with emphasis on cassava as a case study. **Crop Prot.** v. 20, p. 813-823.
- BOREM, A. 2005. **Melhoramento de Plantas**. Editora UFV. Viçosa. 525p.
- COSTA, I. R. S.; MONTENEGRO, E. E.; FUKUDA, W. M. G.; Coleta de germoplasma de

- mandioca no Nordeste (Bahia e Piauí). In: **Congresso Brasileiro de Mandioca**, VIII, Salvador, BA, 9 a 12 de Novembro de 1994. **Resumo**. p.85.
- DELLAPENNA, D. 1999. Nutritional genomics: manipulating plant micronutrients to improve human health. **Science**, v. 285, p. 375-379.
- DOMINGUEZ, C.; CEBALLOS, L. F.; FUENTES, C. **Morfologia de la planta de yuca**. In: Yuca: Investigation, production y utilization. Cali, Colombia: CIAT/PNUD., 1982. p. 28-49.
- ESPIÑOZA, J. A. Genética, citogenética y mejoramiento de la yuca. In: HERSHEY, C. H., ed. **Mejoramiento genético de la yuca en América Latina**. Cali: Colombia, CIAT: 1991. p. 179-189.
- FUKUDA, W. M. G.; SILVA, S. O. E. Melhoramento de mandioca no Brasil. In: Marney Pascoali Cereda. (Org.). **AGRICULTURA: Tuberosas amiláceas latino americanas**. 1 ed. São Paulo: Fundação Cargil, 2002, v. 2, p. 242-257.
- FUKUDA, W. M. G.; PORTO, M. C. M. A mandioca no Brasil. In: Hershey, C.H. (ed.). **Mejoramiento genético de la yuca en América Latina**, Cali, Colombia. CIAT, 1991. p. 15-42.
- JENNINGS, D. L.; IGLESIAS, C. 2002. Breeding for crop improvement. In: R.J. Hillocks and J.M. Thresh (Eds.) **Cassava: Biology, Production and Utilization**, CABI, Oxon, p. 149-166.
- JORNAL DA CIÊNCIA. JC e-mail 2676, de 28 de Dezembro de 2004. **Mandioca enriquecida**. Terça-Feira, 01 de fevereiro de 2005. Disponível em: (<http://www.jornaldaciencia.org.br/Detail.jsp?id=24359> (1 of 2)1/2/2005 15:54:18)
- KAWANO, K. Mejoramiento genético de yuca para productividad. In: YUCA: Investigación, producción y utilización. Cali, Colombia, **Centro Internacional de Agricultura Tropical**, 1982. p. 91-112.
- KAWANO, K.; AMAYA, A.; RIOS, M. Factors affecting efficiency or hybridization and selection in cassava. **Crop Science**, v.17, p.373-376, 1978.
- LLOYD, J. R.; SPINGER, F.; BULEON, A.; MULLER-ROBER, B.; WILLMITZER, L.; KOSSMANN, J. 1999. The influence of alterations in ADP-glucose pyrophosphorylase activities on starch structure and composition in potato tubers. **Planta**, v. 209, p. 230-238.
- PERONI, N.; MARTINS, P. S.; AKIHIKO, A. **Diversidade inter- e intra-específica e uso de análise multivariada para morfologia da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): um estudo de caso**. 1999.
- PITA, J. S. et al. Recombination, pseudorecombination and synergism of geminiviruses are determinant keys to the epidemic of severe cassava mosaic disease in Uganda. **J. Gen. Virol.**, v. 82, p. 655-665, 2001.
- RAEMAKERS et al. Production of transgenic cassava plants by particle bombardment using luciferase activity as the selection marker. **Mol. Breed**, v. 2, p. 339-349, 1996.
- SARRIA, R.; TORRES, E.; BALCAZAR, N.; DESTEFANO-BELTRÃO, L.; ROCA, W. M. 1995. Progress in Agrobacterium-mediated transformation of cassava (*Manihot esculenta*
- Revista Raíces e Amidos Tropicais, volume 4, p. 54-64, 2008.

Crantz). Proceedings of the Second International Scientific Meeting of The Cassava Biotechnology Network. CIAT working document 150, v. 1, p. 241-244.

SARRIA, R. A.; TORRES, E.; ANGEK, F.; CHAVARRIAGA A. P.; ROCA, W. M. 2000. Transgenic plants of cassava (*Manihot esculenta*) with resistance to basta obtained by Agrobacterium-mediated transformation. **Plant Cell Reports**, v. 19, p. 339-344.

SCHREUDER, M. M.; RAEMAKERS, C. J. J. M.; JACOBSEN, E.; VISSER, R. G. F. Efficient production of transgenic plants by Agrobacterium-mediated transformation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Euphytica**, v. 120, p. 35-42, 2001.

SIRITUNGA, D.; ARIAS-GARZO' N, D.; WHITE, W.; SAYRE, R. Over-expression of hydroxynitrile lyase in transgenic cassava roots accelerates cyanogenesis and food detoxification. **Plant Biotech. J.**, v. 2, p. 37-43, 2004.

TAYLOR, N.; CHAVARRIAGA, P.; RAEMAKERS, K.; SIRITUNGA, D.; ZHANG, P. Development and application of transgenic technologies in cassava. **Plant Molecular Biology**, v. 56, p. 671-688, 2004.

TAYLOR, N. J.; MASONA, M. V.; SCHOPKE, C.; FAUQUET, C. M. Transgenic cassava for food security and economic development. In: G.G. Khachatourians, A. McHughen, R. Scorza, W.K. Nip and Y.H. Hui (Eds.) **Transgenic Plants and Crops**, Marcel-Dekker, New York, p. 523-546. 2002.