



**DO CONVENCIONAL AO GENÔMICO: UMA REVISÃO SOBRE OS MÉTODOS DE
MELHORAMENTO GENÉTICO DE ARROZ**
**FROM CONVENTIONAL TO GENOMIC: A REVIEW ON RICE BREEDING
METHODS**DANTAS, Saulo de Jesus¹**RESUMO**

Os métodos de melhoramento vegetal são técnicas que tem como objetivo desenvolver plantas com características agrônomicas desejáveis, como maior produção de grãos, resistência a pragas e doenças, tolerância a condições edafoclimáticas desfavoráveis, entre outras. Na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.), esses métodos são fundamentais para a produção de alimentos em escala global. O melhoramento genético de arroz envolve a seleção de características desejáveis em plantas individuais e a criação de variedades que possuem essas características. A seleção pode ser feita com base em características fenotípicas, como altura da planta, número de grãos por panícula e resistência a doenças e pragas, tolerância ao estresse hídrico, ou com base em características genéticas, por meio da identificação e seleção de genes específicos que promovam a obtenção das características agrônomicas desejáveis. Essa busca por tais características pode ser realizada por meio de diferentes métodos, como a seleção de plantas, hibridação, mutagênese, engenharia genética, entre outros. Esses métodos são fundamentais para garantir a segurança alimentar em todo o mundo, especialmente em países onde o arroz é um alimento básico na dieta, sendo assim, é possível aumentar a oferta de alimento de qualidade e contribuir para a geração de renda no campo.

Palavras-chave: Melhoramento vegetal clássico. Engenharia genética. Ganho genético. Genôma.

ABSTRACT

Plant breeding methods are techniques that aim to develop plants with desirable agronomic characteristics, such as greater grain production, resistance to diseases and pests, tolerance to unfavorable edaphoclimatic conditions, among others. In rice crop (*Oryza sativa* L.), these methods are fundamental for food production on a global scale. Genetic improvement of rice involves selecting for desirable traits in individual plants and creating varieties that have those traits. The selection can be made based on phenotypic characteristics, such as plant height, number of grains per panicle and resistance to diseases and pests, tolerance to water stress, or based on genetic

¹ Graduação em Engenharia Agrônômica, pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) e Mestrado em Agronomia (Genética e Melhoramento de plantas), pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). E-mail: saulodantas@live.com

characteristics, through the identification and selection of specific genes that promote the achievement of desirable agronomic characteristics. This search for such characteristics can be carried out through different methods, such as plant selection, hybridization, mutagenesis, genetic engineering, among others. These methods are essential to ensure food security around the world, especially in countries where rice is a basic food in the diet, therefore, it is to increase the supply of quality food and contribute to the generation of possible income in the countryside.

Keywords: Classical plant breeding. Genetic engineering. Genetic gain. Genome.

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos alimentos mais importantes do mundo, sendo a principal fonte de alimento para uma grande parcela da população mundial. A cultura do arroz é extremamente importante do ponto de vista econômico e social, principalmente para as comunidades rurais, visto que parte da produção dos grãos são utilizadas para consumo próprio e o excedente é vendido, o que contribui para a geração de renda.

Essa cultura apresenta grande variabilidade genética, o que possibilita o uso de diversas técnicas de melhoramento genético para a obtenção de variedades mais produtivas, resistentes a pragas e doenças, tolerantes a estresses bióticos e abióticos, além de outras características de interesse agrônomo. A diversidade genética do arroz pode ser explorada por meio de diferentes abordagens, como o melhoramento genético clássico, engenharia genética e a biotecnologia.

Os métodos de melhoramento genético têm sido essenciais para o desenvolvimento de variedades de arroz mais produtivas e resistentes a pragas e doenças, permitindo que a cultura do arroz possa ser cultivada em áreas antes consideradas inapropriadas para o cultivo. Essas técnicas também têm sido importantes para o aumento da produtividade em regiões onde o cultivo do arroz é tradicional, como na Ásia, permitindo que a produção de arroz acompanhe o crescimento da população e a demanda por alimentos.

Além disso, a atividade de melhoramento genético de arroz é importante para a conservação dos recursos genéticos. A conservação desses matérias é crucial para a manutenção da diversidade genética da espécie e para garantir a disponibilidade de

variedades adaptadas a diferentes condições ambientais. A diversidade genética do arroz pode ser encontrada em variedades selvagens, variedades tradicionais de cultivo e variedades modernas desenvolvidas a partir das atividades dos programas de melhoramento genético.

Diante do exposto, o objetivo deste artigo é apresentar os principais métodos de melhoramento genético aplicado à cultura arroz e os seus impactos sobre as características agrônômicas, afim de garantir a segurança alimentar global e o desenvolvimento sustentável da agricultura.

1.1 METODOLOGIA

Para a condução deste estudo, foi adotada uma metodologia baseada em revisão de literatura, que utilizou como fonte de dados publicações científicas, incluindo livros e artigos, que abordam a aplicação de métodos de melhoramento voltados para à cultura do arroz. Para garantir a qualidade e relevância dos dados selecionados, foram estabelecidos critérios de inclusão, selecionando fontes reconhecidas pela comunidade científica, que apresentassem uma metodologia adequada.

Dentre os critérios de inclusão estabelecidos, destacam-se a relevância do tema, a metodologia empregada nos estudos e a qualidade dos resultados apresentados, sem delimitação temporal de publicação, porém foi dada prioridade a publicações dos últimos 10 anos. A busca por informações foi conduzida nas bases de dados das plataformas: *PubMed*, *Scopus*, *SCieLO* e *Web of Science*, utilizando palavras-chave relacionadas aos métodos de melhoramento genético aplicados à cultura do arroz.

Após uma triagem inicial, os artigos selecionados foram cuidadosamente analisados, com o objetivo de extrair as informações mais relevantes sobre o tema. Foram considerados estudos que analisaram aspectos ligados aos métodos de melhoramento genético de arroz, como os métodos clássicos: introdução de germoplasma exótico, método genealógico, seleção recorrente, hibridação, entre outros, além da engenharia genética (biotecnologia) e os marcadores moleculares. A

partir da análise crítica da literatura, foram sintetizados os principais resultados e conclusões dos estudos selecionados, destacando-se as lacunas de conhecimento e as perspectivas para futuras pesquisas sobre os métodos de melhoramento genético de arroz.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 ASPECTOS GERAIS

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das culturas mais importantes do mundo, e o melhoramento genético é uma das principais ferramentas para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do produto final. Diversos métodos de melhoramento genético já foram aplicados no arroz, incluindo métodos convencionais e mais recentes, antes utilizados apenas em espécies alógamas, como a seleção recorrente e o desenvolvimento de híbridos (BORÉM, 2017).

O gênero *Oryza* inclui duas espécies cultivadas, *Oryza sativa*, que é cultivada em todo o mundo, e *Oryza glaberrima*, cultivada em alguns países da África ocidental, além de mais de 20 espécies silvestres distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais. O Brasil possui algumas espécies silvestres e diversas cultivares tradicionais, crioulas ou antigas espécies de *Oryza sativa*, que constituem uma importante fonte de genes já adaptados às condições de cultivo locais e de valor inestimável para o programa de melhoramento genético do arroz (NASCIMENTO et. al., 2011).

Para preservar esses recursos genéticos e utilizá-los na pesquisa, a Embrapa Arroz e Feijão tem realizado coletas de espécies silvestres e variedades tradicionais de arroz em todo o território brasileiro desde 1979. Foram realizadas 24 expedições de coletas, sendo 17 de variedades cultivadas e sete de espécies silvestres, totalizando 2.329 amostras coletadas, sendo 2.193 de variedades tradicionais e 136 das espécies silvestres *O. glumaepatula*, *O. alta* e *O. Latifolia* (SANTOS et. al., 2006).

Dentre as espécies silvestres coletadas, destaca-se *O. glumaepatula* por possuir o genoma AA, como o arroz cultivado, o que a torna uma importante fonte doadora de genes para características agrônômicas de interesse por meio de

cruzamentos com cultivares elite de arroz. A análise genética com marcadores moleculares tem sido decisiva para monitorar a incorporação de genes em cruzamentos interespecíficos, além de ser utilizada para determinar a identidade genética e o grau de relacionamento genético entre os genótipos de arroz utilizados pelo programa de melhoramento genético e aqueles componentes da coleção nuclear brasileira de arroz. (NASCIMENTO et. al., 2011).

No Brasil, a Embrapa é responsável pela manutenção de uma rede nacional de bancos de germoplasma, coordenada pela Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEM). O Banco Ativo de Germoplasma (BAGARROZ) da Embrapa Arroz e Feijão, criado em 1975, é um dos bancos dessa rede e conserva, em ambiente controlado, espécies silvestres e variedades tradicionais de arroz. Essas plantas são importantes por serem um repositório natural de genes de tolerância a doenças, insetos, sanidade, seca, entre outras características que podem ser transferidas para cultivares comerciais pelo programa de melhoramento genético do arroz (GALLO et al., 2020).

A Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) utiliza atualmente métodos de melhoramento genético como o genealógico, a seleção recorrente e a mutação induzida. A técnica de indução de mutações tem sido aplicada com sucesso, levando recentemente ao desenvolvimento da primeira cultivar de arroz mutante do Brasil, "SCS 114 Andosan" (ISHIY et al., 2006).

As primeiras tentativas de cruzamento de arroz no Brasil ocorreram em 1938 no IAC, utilizando variedades locais e introduzidas, enquanto no IRGA parecem ter ocorrido no início da década de 1940. A maior parte do germoplasma de arroz disponível no país para o melhoramento genético foi introduzida pelos próprios colonizadores e perpetuada pelo cultivo sucessivo nas comunidades que se estabeleceram no país (SANTOS et al., 2006).

O desenvolvimento de arroz híbrido tem sido um grande avanço no germoplasma melhorado, ocupando uma grande parte da área de cultivo na China, principal país produtor e consumidor deste cereal. Entretanto, devido ao uso de genitores geneticamente semelhantes em programas de melhoramento, as cultivares modernas são mais suscetíveis a insetos e doenças. Neste caso, as variedades

tradicionais podem ser utilizadas para transferir genes de tolerância mediante cruzamentos com cultivares comerciais (XU, et al., 2020).

2.2 INTRODUÇÃO DE GERMOPLASMA EXÓTICO

A introdução de germoplasma de outras regiões ou países pode ser uma estratégia efetiva para melhorar o potencial genético em uma determinada região. Essa estratégia pode ser aplicada por meio da introdução de variedades ou linhagens que possuem características desejáveis, como resistência a doenças, tolerância a estresses ambientais ou maior produtividade, aumentando assim a variabilidade genética disponível para a seleção e aprimoramento de cultivares locais (FAO, 2014).

No entanto, deve-se ter cuidado ao introduzir sementes oriundas de outros países, a fim de evitar a introdução de novas pragas e doenças no país. A Embrapa, por exemplo, mantém um serviço de quarentena no Cenargen, em Brasília, que é responsável por avaliar e autorizar a entrada de todo o material vegetal introduzido no país. Esses processos de quarentena são essenciais para garantir a segurança fitossanitária do país (EMBRAPA-CENARGEN, 2021).

Por essa razão, é importante planejar cuidadosamente as importações de sementes, avaliando os riscos e benefícios envolvidos. A adoção de medidas de controle, como a realização de testes para identificação de patógenos e a quarentena adequada das sementes, pode minimizar os riscos de introdução de novas pragas e doenças no país. Assim, as importações de sementes de arroz, por exemplo, devem ser realizadas com cautela e planejamento adequado para evitar possíveis problemas fitossanitários (BRASIL, 2016).

2.3 MÉTODO GENEALÓGICO

No melhoramento de arroz, o Método Genealógico é usado para selecionar plantas com características como maior produtividade, resistência a doenças e pragas, maior tolerância a condições climáticas adversas, entre outras. Para isso, são selecionadas plantas individuais que possuem as características desejadas e, a partir

delas, são produzidas sementes para o cultivo de novas plantas (PEREIRA et al., 2014).

O processo de seleção começa com a escolha de plantas que apresentam as características desejadas. Em seguida, essas plantas são autopolinizadas, ou seja, as flores são polinizadas com o próprio pólen da planta, para produzir sementes que possuem as mesmas características da planta mãe. Esse processo é repetido por várias gerações, selecionando sempre as plantas que apresentam as características desejadas (FAGERIA et al., 2010).

Uma das principais vantagens do Método Genealógico é que ele permite a obtenção de linhagens puras e homogêneas, o que facilita a seleção e a obtenção de plantas com características desejadas. No entanto, o Método Genealógico também apresenta algumas limitações, como a necessidade de um grande número de gerações para obter plantas com características desejadas, o que pode levar a um processo lento e demorado. Além disso, é necessário um controle rigoroso do processo de polinização para garantir a obtenção de linhagens puras e homogêneas (RANGEL et al., 2017).

Essa ferramenta tem sido utilizada para seleção de plantas com características desejadas, como maior produção de grãos, maior resistência a doenças e maior tolerância ao estresse hídrico, tem sido fundamental para a obtenção de variedades de arroz com melhor desempenho agrônômico. Em estudo de melhoramento vegetal, linhagens de arroz foram selecionadas para ambientes de baixa altitude, média altitude e alta altitude, a fim de adaptar o arroz às diferentes condições climáticas e geográficas (PEREIRA et al., 2014).

A EMBRAPA tem utilizado esse método com algumas modificações, para facilitar a condução de maior número de cruzamentos. Passaram a ser feitos nas gerações F3 e F4 seleções massais dentro de famílias, evitando-se o crescimento exagerado do número de famílias segregantes em cada geração (RANGEL et al., 2017).

2.4 HIBRIDAÇÃO

A produção em larga escala de sementes híbridas requer a emasculação da planta mãe para evitar a autofecundação. Para alcançar a heterose, que é o valor genético devido ao estado de heterozigose, é necessário recorrer a meios genéticos como o citoplasma WA. No caso do arroz, a máxima heterose é obtida em híbridos Indica-japônicos, que podem superar em até 30% a produtividade dos híbridos atuais. A tecnologia para produção de híbridos em grande escala foi desenvolvida por pesquisadores chineses, que criaram a primeira variedade de arroz híbrido em 1970 e o sistema de três linhas em 1973. Em 1995, a área plantada com arroz híbrido na China representava 50% da área plantada com essa cultura no país, enquanto outros países asiáticos, como o Vietnã, a Índia e as Filipinas, também plantavam áreas consideráveis com arroz híbrido (CHEN et al., 2020; ZHOU et al., 2017).

As variedades híbridas de arroz são, em média, 20 a 25% mais produtivas do que as variedades convencionais baseadas em linhas puras. Para a obtenção das sementes híbridas, são necessárias três linhagens no sistema chamado ABR: a linhagem A macho-estéril, a linhagem R com genes restauradores da fertilidade e a linhagem B mantenedora. A linha A é utilizada como fêmea na produção de semente híbrida de arroz, pois é macho estéril e não pode produzir pólen viável. A linha B é utilizada como polinizadora para manter a linha macho estéril, enquanto a linha R é uma linha que, quando cruzada com a linha A (macho-estéril), restaura a fertilidade do F1 e é utilizada como polinizadora da linha macho estéril para a produção de semente híbrida (LI e YANG, 2019).

A semente híbrida comercial (F1) é obtida pelo cruzamento da linhagem A com a linhagem R, e essa hibridação é facilitada pelo fato de a linhagem A ser macho-estéril, eliminando a necessidade de emasculação das plantas. Nos campos de cruzamentos para produção das sementes híbridas, são plantadas linhas com a linhagem A intercaladas com a linhagem R. Esse processo desenvolvido pelos chineses para ser viabilizado na produção de sementes envolve uma série de atividades (VIRMANI e SHARMA, 1993).

Essas atividades incluem o plantio da linhagem macho-estéril e da linhagem polinizadora em datas diferentes para sincronizar a floração, o corte das folhas-bandeira das plantas para melhorar a circulação dos grãos de pólen, a aplicação de um hormônio chamado ácido giberélico para melhorar a emissão das panículas e o auxílio manual à polinização por meio do movimento das panículas com uma corda durante o período de floração para aumentar a polinização e obter melhores resultados (CHEN et al., 2020).

Uma das principais vantagens dos híbridos é a possibilidade de combinar resistência múltipla a doenças, uma vez que os genes que controlam essa resistência são dominantes. Outra vantagem é a possibilidade de aumentar a conservação pós-colheita, além de uma provável diminuição na interação genótipo x ambiente (LI e YANG, 2019; ZHOU et al., 2017).

A Embrapa apresentou aos agricultores gaúchos uma nova cultivar de arroz híbrido, BRS Cirad 302, que promete aumentar a produtividade do cereal. Este é o primeiro híbrido de arroz desenvolvido pela Embrapa, cujas pesquisas começaram em 2007. A cultivar é recomendada para uso em todo o Rio Grande do Sul, mas foi na fronteira oeste onde ela se desenvolveu melhor. Embora a semente híbrida seja mais cara do que as sementes atualmente usadas no mercado, ela é mais econômica na hora de semear, pois são necessários apenas 40 quilos por hectare, em comparação com os 100 quilos das outras sementes (EMBRAPA, 2021).

2.5 SELEÇÃO RECORRENTE

A seleção recorrente consiste na seleção sistemática de indivíduos desejáveis de uma população, seguida de recombinação destes indivíduos para formar uma nova população. O processo de seleção recorrente em arroz envolve o cruzamento de duas ou mais variedades de arroz que possuem características desejáveis, como resistência a doenças, tolerância a condições climáticas adversas, alta produtividade e qualidade de grão. Em seguida, as plantas resultantes desse cruzamento são selecionadas cuidadosamente com base nessas características, e os indivíduos com

as características mais desejáveis são usados para produzir a próxima geração (SÁ et al., 2019).

Esse processo é repetido ao longo de várias gerações, com cada geração se tornando cada vez mais uniforme em relação às características desejáveis. Esse processo é chamado de seleção recorrente porque a seleção é repetida várias vezes ao longo de várias gerações. O objetivo final da seleção recorrente em arroz é produzir variedades de arroz de alta qualidade e produtividade, que sejam resistentes a doenças e tolerantes a condições climáticas adversas. Essas variedades são essenciais para garantir a segurança alimentar em muitas partes do mundo, especialmente em países em desenvolvimento, onde o arroz é um alimento básico (CRUZ, 2005).

No entanto, a seleção recorrente em arroz não é um processo rápido. Leva vários anos de trabalho duro para desenvolver uma nova variedade de arroz. Além disso, o processo de seleção recorrente requer muita atenção aos detalhes e habilidade na seleção das plantas com as características mais desejáveis. Porém, os resultados da seleção recorrente em arroz são muito promissores. Muitas das variedades de arroz que são usadas em todo o mundo hoje foram desenvolvidas usando essa técnica. A seleção recorrente em arroz também é uma técnica importante para desenvolver novas variedades de arroz que sejam resistentes a doenças e tolerantes a condições climáticas adversas, o que é cada vez mais importante à medida que enfrentamos mudanças climáticas e problemas de segurança alimentar em todo o mundo (FREITAS et al., 2017).

2.6 RETROCRUZAMENTO

O retrocruzamento é uma técnica utilizada no melhoramento genético de plantas, incluindo o arroz. Esse processo envolve o cruzamento de uma variedade que apresenta uma característica desejável com uma outra variedade que tem a característica recorrente, ou seja, a variedade original sem a característica desejável (DAROS et al., 2019).

A transferência de características qualitativas de um genitor doador para um genitor receptor, ou recorrente, tem sido um método utilizado no melhoramento de arroz. Na geração F1 do cruzamento inicial, ocorre a retrocruzada com o genitor recorrente para recuperar as características originais, sem perder a característica adquirida pelo doador. Esse processo é repetido algumas vezes, com a seleção de plantas portadoras do gene desejado (SOUZA JÚNIOR et al., 2014).

Esse método é utilizado para transferir genes de interesse, como resistência as variedades susceptíveis, qualidade nutricional ou melhorar a adaptação às condições ambientais específicas. No caso do arroz a única doença que justifica utilizar este método é a brusone, cuja resistência é geralmente condicionada por um gene dominante e para qual existe muitas fontes de resistência. A EMBRAPA arroz e feijão vem utilizando este método para incorporar resistência à brusone nas cultivares de arroz de várzea BR-IRGA 409 e Metica 1. A BR-IRGA 409 (EMBRAPA, 2012).

2.7 MUTAGÊNESE

A mutagênese é uma técnica utilizada no melhoramento de plantas para induzir mutações em seus genes, com o objetivo de criar novas variedades com características desejáveis. A mutagênese pode ser realizada de várias maneiras, como a exposição das plantas a agentes químicos ou físicos que induzem mutações, como radiações ionizantes ou ultravioleta. Após a exposição, as plantas são selecionadas para identificar aquelas com as mutações desejáveis e, em seguida, são realizados cruzamentos para fixar essas mutações nas próximas gerações (PARVATHI et al., 2016).

No arroz, a mutagênese tem sido usada para produzir variedades mais resistentes a doenças como a brusone e a mancha-parda, além de variedades mais produtivas e resistentes ao estresse abiótico, como a seca e a salinidade. Além disso, a mutagênese também tem sido utilizada para melhorar a qualidade nutricional do arroz, aumentando o teor de vitaminas e minerais (WANG et al., 2017).

Nesse contexto, um exemplo de sucesso na mutagênese do arroz é a variedade Ciherang-Sub1, desenvolvida pelo Centro Internacional de Agricultura

Tropical (CIAT), que apresenta uma mutação no gene Sub1, responsável pela resistência à submersão. Essa variedade tem sido amplamente adotada pelos agricultores em regiões propensas a inundações, melhorando significativamente a produção de arroz nessas áreas (MOURA ET AL., 2020).

2.9 ENGENHARIA GENÉTICA (BIOTECNOLOGIA)

A engenharia genética tem sido amplamente aplicada no melhoramento de arroz. Os avanços da genética permitiram o desenvolvimento de técnicas de manipulação e de introdução de genes exógenos ao genoma vegetal, produzindo as plantas transgênicas (ZHANG et al., 2014). As primeiras versões transgênicas foram criadas no final dos anos 80 e hoje representam um caminho promissor para o melhoramento vegetal. A biotecnologia é uma aliada dos programas de melhoramento clássico, capaz de introduzir novas características às plantas selecionadas e aceitas comercialmente de maneira rápida e precisa (OLIVEIRA et al., 2019).

No caso do arroz, já foram desenvolvidas variedades transgênicas que apresentam resistência a insetos, como a broca-do-colmo e o pulgão-da-raiz, e tolerância a herbicidas, como o glifosato (CHEN et al., 2020; ZHANG et al., 2014). Além disso, nos últimos anos, o sequenciamento do genoma do arroz tem permitido a exploração de novas estratégias de manipulação genética em cereais. Os transgênicos que produzem a toxina do *Bacillus thuringiensis*, por exemplo, já foram desenvolvidos em diversas espécies vegetais, incluindo o arroz, tornando-as resistentes a insetos (LIU et al., 2017).

Além disso, a engenharia genética tem permitido o desenvolvimento de variedades de arroz adaptadas a diferentes condições ambientais e necessidades do mercado. Por exemplo, já foram desenvolvidas variedades de arroz resistente à seca, que podem ser cultivadas em regiões com escassez de água, bem como variedades de arroz com maior teor de amilose, que são mais indicadas para a produção de alimentos para diabéticos (LI et al., 2018).

2.10 MELHORAMENTO ASSISTIDO POR MARCADORES MOLECULARES

O melhoramento molecular, também conhecido como "*molecular breeding*", é uma abordagem que utiliza mapas genéticos saturados com marcadores moleculares e análise genética quantitativa de fenótipos mensurados no campo para identificar regiões do genoma que contêm genes de interesse econômico. O uso eficiente dessas informações parece ser um dos grandes diferenciais para os programas de melhoramento do arroz nos próximos anos (CAI et al., 2021).

A clonagem de genes através da avaliação de genes candidatos nas regiões genômicas identificadas é uma consequência da integração dos conceitos de mapeamento genético com tecnologia genômica, conhecida como clonagem posicional. Essa estratégia abre a perspectiva de um aprofundamento no conhecimento biológico dos efeitos da expressão de um gene, bem como do impacto do mesmo como valor agregado no desenvolvimento de linhagens superiores (SINGH e SINGH, 2015).

Além disso, a integração de tecnologias genômicas com os métodos de melhoramento genético abre a perspectiva do uso de seleção assistida por marcadores moleculares em programas de melhoramento, com resultados iniciais no mínimo animadores para o desenvolvimento acelerado de novas cultivares de arroz. (BELÓ et al., 2018)

A análise molecular de espécies autógamas, como o arroz, frequentemente baseia-se na suposição de que um acesso ou variedade é uma amostra homogênea de sementes geneticamente puras. Quando a identidade genética era unicamente baseada na avaliação fenotípica, essa suposição era aceita como uma aproximação da realidade. No entanto, com a utilização de marcadores moleculares para espécies silvestres e variedades tradicionais, é possível identificar a extensão da variabilidade genética, fundamental para decidir qual acesso contém o maior número de novos alelos, quais podem ser duplicados e quais possuem características de interesse agrônomico (BRONDANI et al., 2018).

No caso de cultivares comerciais de arroz, o conceito de pureza genética é crítico, pois elas são registradas como linhas puras. Em contrapartida, a

heterogeneidade genética pode ser um diagnóstico de mistura de sementes indesejada, polinização cruzada ou, em casos raros, mutação. Em última análise, os marcadores moleculares podem ser úteis no estabelecimento da identidade genética, diagnóstico de heterogeneidade e para prevenir a propagação dessa variação (BORBA et al., 2020).

Os marcadores moleculares também podem auxiliar na preservação dos altos níveis de variabilidade alélica em variedades tradicionais, por meio da determinação do número mínimo de indivíduos requeridos para representar adequadamente a diversidade alélica dessas variedades heterogêneas. Essa informação é crucial durante a etapa de multiplicação dos acessos do banco de germoplasma, por servir como parâmetro para definir o tamanho de amostra de sementes que deve ser colhida para preservar a identidade genética de cada acesso (MATHEW et al., 2021).

Com o aumento do número de marcadores avaliados nos bancos de germoplasma, é possível determinar não só a constituição genética dos acessos, mas também a similaridade genética entre eles, permitindo a identificação de redundâncias e lacunas no banco de germoplasma, bem como a seleção de genitores para programas de melhoramento (CAI et al., 2021).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de melhoramento genético de arroz têm sido fundamentais para aumentar a produtividade e melhorar a qualidade nutricional desse importante cereal. Como visto, os métodos de melhoramento clássicos e os biotecnológicos apresentam vantagens e limitações, sendo que a sua aplicação será condicionada as características da população de plantas e dos objetivos dos programas de melhoramento. Com a evolução das tecnologias, novas abordagens, como a edição de genoma, têm sido aplicadas no melhoramento genético de arroz, permitindo o desenvolvimento de variedades que garantam a segurança alimentar global e o desenvolvimento sustentável da agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 38, de 29 de dezembro de 2016**. Regulamenta a importação de material vegetal. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/saude-vegetal/servicos/arquivos-normas-tecnicas/in-38-2016-material-vegetal.pdf/view>. Acesso em: 25 abr. 2023.

BELÓ, A. et al. Allelic diversity and genomic distribution of loci associated with agroecological traits in cultivated rice. **BMC plant biology**, v. 18, n. 1, p. 55, 2018.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. Editora UFV, 2017.

BUENO, A. S.; VITORINO, A. C. T.; MENEZES, I. P. P. Seleção assistida por marcadores moleculares no melhoramento genético de arroz irrigado. **Revista Agroambiental**, v. 7, n. 1, p. 77-86, 2015.

CAI, H. et al. Molecular breeding in rice: past, present, and future. **Journal of experimental botany**, v. 72, n. 9, p. 3299-3316, 2021.

CHEN, L. et al. Breeding and application of super hybrid rice in China. **The Crop Journal**, v. 8, n. 3, p. 319-329, 2020.

CRUZ, C. D. Genética quantitativa e seleção recorrente na melhoria do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 967-975, 2005.

DAROS, E. et al. Retrocruzamento em plantas: um processo de seleção recorrente. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 66, n. 1, p. 72-79, jan./fev. 2019.

Embrapa. **Cenargen**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cenargen>. Acesso em: 25 abr. 2023.

EMBRAPA. **Nova cultivar de arroz híbrido é lançada para agricultores do Rio Grande do Sul: BRS Cirad 302**. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/69614630/nova-cultivar-de-arroz-hibrido-e-lancada-para-agricultores-do-rio-grande-do-sul-brs-cirad-302>. Acesso em: 26 abr. 2023.

EMBRAPA. **Transferência de características qualitativas e heterose em arroz**. Santo Antônio de Goiás, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/arroz-e-feijao/busca-de-publicacoes/-/publicacao/928087/transferencia-de-caracteristicas-qualitativas-e-heterose-em-arroz>. Acesso em: 26 abr. 2023.

FREITAS, R. A. et al. Seleção recorrente no melhoramento genético do arroz. **Revista Científica de Produção Agroindustrial**, v. 19, n. 1, p. 15-24, 2017.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Yield physiology of rice. **Journal of Crop Improvement**, v. 29, n. 3, p. 237-274, 2015.

FAO. **Introdução de germoplasma em programas de melhoramento de plantas**. 2.ed. Roma, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i3714e.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2023.

FAGERIA, N.K. et al. The role of plant breeding in food security. **Plant Breeding and Genetics**, v. 1, n. 1, p. 101-116, 2010.

GALLO, P. B. et al. Genetic diversity and population structure of Brazilian rice cultivars using SSR markers. **Plant Genetic Resources**, v. 18, n. 1, p. 34-44, 2020.

ISHIY, T. et al. SCS 114 Andosan: A new rice mutant cultivar developed in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 599-605, 2006.

LI, Y.; YANG, X. Research progress and prospects of breeding super hybrid rice. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 4, p. 740-752, 2019.

LI, M. et al. Reassessment of the four yield-related genes Gn1a, DEP1, GS3, and IPA1 in rice using a CRISPR/Cas9 system. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 911, 2018.

LI, Y. et al. Field trials and molecular characterization of genetically modified rice expressing phytase. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 5, p. 1755-1762, 2015.

LIU, Q. et al. Advances in breeding and genetic engineering of rice for insect resistance. **Rice**, v. 10, n. 1, p. 4, 2017.

MOURA, E. F. et al. Arroz: Importância, Mutagênese e a Variedade Ciherang-Sub1. **Scientia Plena**, v. 16, n. 6, p. 1-5, 2020.

NASCIMENTO, M. et al. Recursos genéticos de arroz no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista Ceres**, v. 58, n. 2, p. 173-180, 2011.

OLIVEIRA, G. C. X. et al. Potential benefits of genome editing for crop improvement: A review. **Planta**, v. 250, n. 3, p. 883-901, 2019.

PATERSON, A. H.; LI, Z.; WAUGH, R.; KLEIN, R. R. Rice genetics: Past, present and future. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 45, Part A, p. 1-8, 2018.

PARVATHI, M. S. et al. Mutagenesis as a tool in plant genetics, functional genomics, and breeding. **Methods in molecular biology**, v. 1429, p. 1-9, 2016.

PEREIRA, M.G. et al. Uso do método genealógico no melhoramento do arroz. **Revista Ceres**, v. 61, n. 6, p. 925-932, 2014.

SÁ, C. P.; SILVA, D. F.; GOMES, F. P. Melhoramento genético do arroz: uso da seleção recorrente. **Revista Plantio Direto**, v. 130, p. 23-27, 2019.

SINGH, R. K.; SINGH, U. S. Marker-assisted selection: a paradigm shift in Basmati breeding. **Rice Science**, v. 22, n. 6, p. 255-269, 2015.

SOUZA JÚNIOR, C. L. et al. Retrocruzamento em arroz para transferência de caracteres de interesse agrônômico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Seropédica, v. 9, n. 5, p. 74-78, 2014.

SANTOS, R. C. et al. Identificação de locos de QTL para resistência à brusone em arroz utilizando RAPD e microssatélites. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 727-732, 2006.

RANGEL, P.H.N. et al. **Método genealógico no melhoramento de arroz**. Embrapa Arroz e Feijão, 2017.

VIRMANI, S. S.; SHARMA, R. M. Male-sterility systems in hybrid rice. **Crop Science**, v. 33, n. 5, p. 1015-1020, 1993.

WANG, Y. et al. Identification of mutational hotspots and genome-wide structural variation of Chinese rice cultivars induced by ion beam irradiation. **BMC genomics**, v. 18, n. 1, p. 898, 2017.

XU, X. et al. The genetics and improvement of heading date in rice. **Journal of Genetics and Genomics**, v. 47, n. 12, p. 745-770, 2020.

ZHANG, Q. Strategies for developing Green Super Rice. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 34, p. 8415-8417, 2018.

ZHOU, Y.; LIU, Q.; DENG, J.; WANG, Y. Research progress and prospect of hybrid rice technology. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 10, p. 2245-2254, 2017.

ZHANG, Q. et al. Transgenic rice plants harboring an introduced potato proteinase inhibitor II gene are insect resistant. **Nature Biotechnology**, v. 21, n. 8, p. 885-888, 2014.