



**EXPLORANDO O MELHORAMENTO GENÉTICO DO ARROZ: UMA REVISÃO
DOS PRINCIPAIS AVANÇOS**

EXPLORING RICE BREEDING: A REVIEW OF THE MAIN ADVANCES

DANTAS, Saulo de Jesus¹
SILVA, André Ribeiro da²

RESUMO

O melhoramento genético, aplicado à cultura do arroz (*Oryza sativa* L.), é uma das principais ferramentas para aumentar a sua produção, em diversas partes do mundo. As pesquisas em melhoramento genético têm como objetivo melhorar características importantes da cultura, como produtividade, tolerância a doenças e estresses ambientais, bem como a qualidade dos grãos. Essa técnica também é útil na criação de novas variedades de arroz que se adaptem às diferentes condições edafoclimáticas. A revisão da literatura científica sobre o assunto é de grande importância para entender os avanços recentes, perspectivas e desafios futuros no campo do melhoramento genético da cultura do arroz. Essa revisão abrange diversos aspectos do melhoramento genético do arroz, incluindo aspectos sobre sistemática vegetal e biologia reprodutiva, descobertas de genes ligados a resistência a pragas, doenças, acamamento e a qualidade de grãos, bem como as perspectivas de uso de novas tecnologias e ferramentas no campo. O melhoramento genético do arroz tem sido um fator importante para aumentar a produção de grão em todo o mundo, e a pesquisa continua a se concentrar em aprimorar ainda a técnicas empregadas na cultura.

Palavras-chave: Melhoramento vegetal. Arroz. Características agronômicas. Ganho genético.

ABSTRACT

Rice breeding (*Oryza sativa* L.) is one of the main tools to improve its production in different regions of the world. Research in plant breeding aims to improve important characteristics of the crop, such as productivity, tolerance to diseases and environmental stress, as well as grain quality. The technique is also useful in creating new rice varieties that adapt to different edaphoclimatic conditions. The review of the scientific literature on the subject is of great importance to understand the recent advances, perspectives and future challenges in the field of genetic improvement of

¹ Graduação em Engenharia Agrônoma, 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

² Orientador do TCC. Pós-doutor em Neurociências. E-mail: andreribeiro@unb.br

the rice crop. This review covers several aspects of rice genetic improvement, including aspects of plant systematics and reproductive biology, discoveries of genes linked to resistance to pests, diseases, lodging and grain quality, as well as perspectives for the use of new technologies and tools in the field. The genetic improvement of rice has been an important factor in increasing grain production worldwide, and research continues to focus on further improving the techniques employed in the crop.

KEYWORDS: Plant Breeding. Rice. Agronomic traits. Genetic gain.

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um alimento básico para a alimentação de bilhões de pessoas no mundo. Esse grão é uma excelente fonte de carboidratos, que fornecem energia de longa duração, e é pobre em gordura e colesterol. Além disso, o arroz é uma fonte de proteína vegetal e contém uma série de vitaminas e minerais importantes para a saúde, sendo um dos principais alimentos utilizados no combate à desnutrição humana.

Apesar de ser uma atividade intensiva em mão de obra, o cultivo do arroz é uma importante fonte de subsistência e renda para muitas comunidades rurais em todas as regiões do mundo, inclusive no Brasil. O cultivo do arroz pode ser realizado em diferentes condições de solo e clima, dependendo da variedade de arroz escolhida. Existem duas categorias principais de arroz: o arroz de terras altas, que é cultivado em áreas de clima mais seco, onde a água é fornecida principalmente pela chuva; e o arroz de várzea, que é cultivado em áreas alagadas e onde a água é fornecida principalmente por irrigação.

Com a crescente demanda e os desafios climáticos, torna-se cada vez mais importante aprimorar a produtividade e a resistência do arroz às condições adversas. O melhoramento genético tem sido fundamental para atender essas necessidades, trazendo avanços significativos na área. Ao longo das últimas décadas, os pesquisadores têm utilizado diversas técnicas para aprimorar as características agrônômicas dessa cultura, desde a seleção de características agrônômicas como rendimento e resistência, até o desenvolvimento de variedades mais nutritivas e adaptadas às mudanças climáticas.

Diante disso, esta revisão tem como objetivo explorar os principais avanços no melhoramento genético do arroz, demonstrar as estratégias adotadas pelos pesquisadores dos programas de melhoramento vegetal e quais os impactos sobre as características agronômicas da cultura, para atender às necessidades dos agricultores e consumidores.

1.1 METODOLOGIA

A metodologia para o desenvolvimento neste estudo se delineou a uma revisão de literatura, mediante a análise de publicações, tais como livros e artigos científicos, nacionais e internacionais, que abordam a temática de melhoramento genético na cultura do arroz. Para garantir a relevância e confiabilidade dos dados selecionados, foram estabelecidos critérios de inclusão, buscando-se fontes reconhecidas pela comunidade científica e que apresentassem uma metodologia adequada.

Entre os critérios de inclusão, destacam-se a relevância do tema, a metodologia empregada nos estudos e a qualidade dos resultados apresentados, não foi delimitado o período de tempo de publicação. A busca por informações foi realizada nas bases de dados: PubMed, Scopus, SCieLO, Web of Science, por meio do uso de palavras-chave relacionadas ao melhoramento genético de arroz.

Após a triagem inicial, foram analisados os artigos selecionados, visando extrair as informações mais relevantes sobre o assunto. Foram considerados estudos que abordaram aspectos sobre melhoramento de arroz, como sistemática, biologia reprodutiva, genes de resistência, qualidade de grãos, produtividades, entre outros.

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 na área do melhoramento genético do arroz.

2. ORIGEM E IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA

A Índia é considerada o centro de origem do arroz (*Oryza sativa* L.), em especial a região nordeste do país, onde estão localizadas as províncias de Assam e Bengala. O gênero *Oryza* possui diversas espécies espalhadas por todos os continentes, que habitam ambientes variados, como lagos de águas profundas, florestas densas e savanas. Devido a essa característica, esse gênero apresenta uma variação morfológica considerável (SINGH e SINGH, 2021).

O ancestral selvagem do *O. sativa* é o *Oryza rufipogon*, amplamente distribuído na área compreendida entre a Ásia subtropical e tropical, possuindo formas anuais, perenes e intermediárias. Não há consenso sobre qual destas formas é o ancestral do arroz cultivado, mas seguramente ele evoluiu a partir de alguma destas formas por domesticação do homem. Além do *O. Sativa*, também é cultivada a espécie *O. glaberrima* Steud., a qual foi domesticada no oeste Africano (SORENG et al., 2017).

No Brasil, os tupis já utilizavam uma espécie selvagem de arroz encontrada no litoral, a qual era chamada de “abatituaupé” ou “milho d’água”. Em meados do século XVI, os colonizadores portugueses passaram a cultivar arroz em terras secas brasileiras, ocupando áreas no Maranhão (1745), em Pernambuco (1750), no Pará (1772) e na Bahia (1857). Nesses locais, haviam pequenas lavouras para subsistência. A partir da abertura dos portos por D. João VI, em 1808, o cereal passou a entrar em grandes quantidades no país, tendo grande aceitação por parte da população a ponto de modificar os hábitos alimentares da época: o angu e a batata doce, que eram os alimentos mais consumidos no Brasil, perderam espaço para esse alimento (NUNES, 2016).

Essa cultura é de fundamental importância econômica em muitos países em desenvolvimento, constituindo-se alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas (SANTOS e RABELO, 2008). De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a produção mundial de arroz em 2020 foi de 504 milhões de toneladas, um aumento de 1,9% em relação ao ano anterior. Os principais produtores mundiais de arroz são China, Índia, Indonésia, Bangladesh e Vietnã. Esses países juntos são responsáveis por mais de 70% da

produção global de arroz. A China é o maior produtor mundial de arroz, com uma produção de 149 milhões de toneladas em 2020.

No Brasil, a produção de arroz em 2020 foi de aproximadamente 11,5 milhões de toneladas, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 70% da produção de arroz do país. Em seguida, vêm Santa Catarina e Tocantins. Em relação às exportações de arroz, o Brasil é um dos principais exportadores mundiais, com destaque para o arroz em casca, que representa cerca de 90% das exportações. Em 2020, o Brasil exportou cerca de 1,3 milhão de toneladas de arroz em casca, principalmente para países da América Latina, África e Oriente Médio.

A principal forma de consumo do arroz no país é por meio de grãos inteiros, sendo classificados como arroz branco, arroz integral e arroz parboilizado de acordo com o processamento pós-colheita (VIEIRA e RABELO, 2006). Cerca de 95% dos brasileiros consomem arroz, sendo que mais da metade o faz pelo menos uma vez por dia. O tipo de arroz mais consumido é o da classe longo fino, também conhecido como "arroz-agulhinha", que é translúcido e possui a característica de ser mais solto, macio e firme após o cozimento (BARATA, 2005). O arroz branco polido é responsável por mais de 70% do consumo total, seguido pelo arroz parboilizado, cujo consumo aumentou cinco vezes nas últimas duas décadas e corresponde a aproximadamente 25% do consumo. O arroz integral representa apenas de 3 a 4% do consumo total no Brasil (ELIAS et al, 2012).

3.SISTEMÁTICA VEGETAL E BIOLOGIA REPRODUTIVA

O arroz (*Oryza sativa*) pertence à divisão Angiosperma, classe das monocotiledôneas, ordem Poales, família Poaceae (anteriormente denominada Gramineae), subfamília Ehrhartoideae, tribo Oryzeae, e gênero *Oryza* (APG IV, 2016). A família Poaceae apresenta caule do tipo rizoma cilíndrico ou achatado, no caso do arroz o caule é oco do tipo colmo. As folhas são dísticas ou muito raramente espiralada, a bainha geralmente aberta, paralelinérveas, com lígula entre a bainha e

o limbo. A inflorescência é do tipo espiguetas, subtendida na base por um par de brácteas (glumas) (SINGH e SINGH, 2021).

As flores subtendidas por um par de brácteas, a inferior e mais externa denominado lema, e a superior mais interna denominada pálea, aclamídeas, anteras rimosas, estames 1-3-6, gineceu gamocarpelar, ovário súpero, bicarpelar, uni ovulado, estigma geralmente plumoso. O fruto é do tipo cariopse, com uma semente (SOUZA e LORENZI, 2008).

O gênero *Oryza*, que possui em torno de vinte espécies, sendo a mais cultivada a *Oryza sativa* (SORENG et al., 2017). Pertence à divisão *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*. O arroz é uma planta autógama caracterizada por homozigose, com flores hermafroditas que emergem da parte terminal do colmo. Sua inflorescência é composta por um grupo de flores denominadas espiguetas, cujo número pode variar de um, nas cultivares silvestres, até 500, sendo que cada espiguetas contém uma única flor (SOARES, 2000; CORDEIRO, 2008).

As flores são compostas por pedicelo, glumelas rudimentares, lema estéril, pistilo, estames e glumelas. O pedicelo é a estrutura de sustentação da flor e à conecta ao restante da planta. O órgão reprodutivo feminino, o gineceu, é composto por ovário, um estilete curto e dois estigmas plumosos, bifurcados e de coloração branca. O órgão reprodutivo masculino, o androceu, é constituído de seis estames, formados cada um, de um filete, conectivo, e, na sua extremidade, uma antera, que contém os grãos de pólen. Sendo que à antera pode conter de 500 a 1000 grãos de pólen com coloração amarela (VIDAL e VIDAL, 2013).

As panículas emergência, através da bainha, ocorrem em cerca de três dias e alcançam o máximo da floração entre o segundo e o quarto dia, após a completa emergência. Durante a floração, os filetes se alongam no interior das espiguetas e quando as anteras estão a ponto de tocar a parte superior desta e de iniciar a antese, se abrem e deixam cair o pólen sobre os estigmas (NUNES, 2016).

No máximo do alongamento dos filetes, as anteras são expostas para fora da espiguetas em seguida os estigmas começam a abrirem para os dois lados, esse momento é chama de clímax da antese e ocorre entre 10 e 20 minutos, depois que a espiguetas se abre. Esse processo ocorre com todas as espiguetas. O processo de

floração ocorre da parte apical da panícula para parte basal e pode durar de cinco a sete dias, sendo que cada espiguetas fica aberta por quarenta e cinco minutos em média, e os estigmas ficam receptivos de quatro cinco dias, enquanto que o grão de pólen só tem viabilidade por alguns segundos fora da antera (JIANG et al., 2021; XIAO et al., 2020).

4.PRODUTIVIDADE

A produtividade de grãos, das cultivares de arroz, pode ser aumentada com maior fertilidade das espiguetas, maior produtividade de biomassa das plantas e maior grau de colheita (MANGRAVITE et al., 2021). Segundo Stone e Pereira (1994), as cultivares mais novas apresentam maior índice de área foliar (IAF) e longa duração da área foliar, o que pode correlacionar-se positivamente com a produtividade de grãos em condições favoráveis de umidade do solo.

As novas cultivares de arroz têm maior qualidade de grãos e alto potencial produtivo, além de distribuição de folhas mais eretas, o que permite melhor aproveitamento da luz. Isso diminui o auto sombreamento, que ocorre com maior intensidade nas plantas com distribuição foliar horizontal, como nas cultivares tradicionais de arroz. No entanto, as novas cultivares também têm capacidade competitiva reduzida com as plantas daninhas, o que pode resultar em perdas na produção (MANGRAVITE et al., 2021).

Elevar o índice de colheita, a massa dos grãos e reduzir a esterilidade das espiguetas são considerados fatores prioritários em programas de melhoramento de arroz, para aumentar a produtividade. Portanto, o conhecimento na área é importante para selecionar as principais cultivares que se adequem ao tipo de solo e às principais pragas e doenças, permitindo a escolha do material genético mais adequado à realidade da lavoura (BORÉM et al., 2005).

5. QUALIDADE DE GRÃOS, BENEFICIAMENTO E APARÊNCIA DO PRODUTO

A qualidade dos grãos de arroz engloba quatro dimensões diferentes: desempenho no beneficiamento, aparência do produto, desempenho na cocção e valor nutritivo (BORÉM et al., 2005). O valor do produto é cada vez mais influenciado pelo conjunto dessas características que definem a qualidade. Conforme Bhattacharya e Basu (2013), dependendo da finalidade de consumo, do grupo étnico envolvido, do processamento do produto entre outros fatores o termo qualidade pode ter diferentes significados. Portanto, de acordo com as preferências e necessidades do consumidor, um produto pode ser julgado bom e adequado para um grupo e totalmente inadequado para outros.

No beneficiamento é realizado o descascamento e o polimento dos grãos, são produzidos a casca e o farelo como subprodutos e os grãos polidos como produto principal. Quanto maior a proporção do produto beneficiado recuperado, melhor, pois esta representa a parte de maior valor comercial e é definida como “renda do benefício” (grãos inteiros + quebrados), que normalmente, situa-se entre 68% e 70%. O rendimento de grãos inteiros é o componente mais importante, por ser mais variável e influenciado pelas condições ambientais e de manejo do produto (SIEBENMORGEN et al., 2013).

Essas características são muito influenciadas pelo ambiente e também pelas características varietais, pois à medida que os grãos perdem umidade no processo de maturação, diferentes variedades respondem diferentemente trincando seus grãos em reação a variações ambientais (WANG et al., 2019). Segundo Geng et al. (1984), o rendimento de grãos inteiros depende principalmente de quão secos estão os grãos na colheita, e em que condições esse processo de perda de umidade se deu.

No melhoramento de plantas, só dois caracteres, renda no benefício e rendimento de grãos, devem ser considerados com relação ao potencial máximo obtido por variedade e também pela capacidade dessas características de se manterem elevadas no campo, mesmo com o retardamento da colheita. Os cultivares Caiapó e BR IRGA 409 são exemplos de variedades de alto potencial de rendimento, de grãos inteiros e de estabilidade no rendimento (BONATO et al., 2018).

O consumidor, ao comprar o arroz no supermercado, está muito atento à aparência do produto. O arroz para o consumidor brasileiro deve preferencialmente ser tipo agulhinha, translúcido, sem áreas opacas no grão e livre de impurezas, de manchas e imperfeições causadas por manipulação inadequada, pragas ou doenças (CAVALLI et al., 2017). Para Jennings et al. (1979), as dimensões dos grãos são herdadas independentemente entre si, com pequena influência do ambiente. Sua herdabilidade aparentemente tem pouca ou nenhuma restrição para recombinação com outras características agrônômicas importantes da cultura.

A aparência do endosperma é uma característica importante de qualidade, que está ligada a cultivar, embora sofra forte influência das condições ambientais. As cultivares com maior frequência de gessados tendem a ser menos produtivas no beneficiamento. Os grãos completamente gessados são, normalmente, imaturos, colhidos precocemente e, conseqüentemente, mais frágeis. A presença e intensidade de centro-branco estão sob controle genético, havendo marcada diferença na sua expressão entre variedades. Entretanto, o ambiente tem forte influência na expressão dessa característica (BONATO et al., 2018; CAVALLI et al., 2017).

Do ponto de vista do consumidor brasileiro, além da aparência do produto cru, a preferência é por um arroz com qualidade de cocção que proporcione bom rendimento de panela, cozinhe rápido, apresente grãos secos e soltos após o cozimento e permaneça macio mesmo após o resfriamento. Os fatores que controlam o comportamento culinário do arroz estão ligados às propriedades do amido, como o seu conteúdo de amilose e a sua temperatura de gelatinização (BORÉM et al., 2005).

As variedades com baixo teor de amilose apresentam seus grãos empapados após cozidos, enquanto aquelas com alto teor de amilose os apresentam solto, porém mais duros. Os teores intermediários são os preferidos, contudo, deve-se ressaltar que durante o período de armazenamento, ocorre uma série de alterações no produto, normalmente ligadas à maturação pós colheita, que contribuem para melhorar muito o comportamento culinário do arroz (BORÉM et al., 2005).

6. RESISTÊNCIA A DOENÇAS

A indução de resistência nas cultivares suscetíveis, altamente produtivas e de boa qualidade de grãos, é pré-requisito para o melhoramento genético visando resistência às doenças. A brusone, causada pelo fungo *Magnaporthe oryzae*, é uma das doenças mais destrutivas na cultura do arroz, em todo o mundo. O melhoramento do arroz para resistência à brusone é uma das prioridades nacionais de pesquisa (SILVA et al., 2021).

A resistência genética é considerada uma das formas mais eficazes de controle do brusone, e a identificação de loci de resistência é crucial para o desenvolvimento de cultivares resistentes (ASHKANI et al., 2015). Atualmente, há cerca de 30 loci de resistência à brusone foram identificados no arroz, sendo 20 de efeito maior e os 10 restantes de QTLs. Os loci de efeito maior possuem mais de um alelo para a resistência, como é o caso do locus Pi-k, que possui cinco alelos distintos. Já os loci Pi-z e Pi-ta possuem dois alelos cada (SETEGIBARA et al., 2014). Essas descobertas são de fundamental importância para a seleção de genótipos resistentes e o desenvolvimento de estratégias de manejo integrado do brusone (SILVA et al., 2021).

Em estudos realizados na Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (CNPAP), em Santo Antônio de Goiás, mostraram resultados promissores que levam a indução de variabilidade genética mostrando uma boa alternativa quanto à resistência à brusone, proveniente de panículas imaturas das cultivares de arroz, Basmati-370, Araguaia e IAC-47 (OLIVEIRA et al., 2009). Em outro estudo, realizado com o objetivo de aumentar a frequência de alelos para resistência a doenças, foram utilizadas plantas a partir de F1 de cruzamentos entre cultivares suscetíveis e doadoras de resistência. Os resultados demonstraram uma maior frequência de plantas resistentes à brusone desenvolvido a partir da geração F1, do que nas cultivares suscetíveis a doença (ZHANG et al., 2021).

7. RESISTÊNCIA A PRAGAS

A obtenção de resistência completa a pragas, por meio de variedades é um dos maiores desafios dos programas de melhoramento vegetal, uma vez que, a praga é uma superpopulação de uma espécie que se alimenta de tecidos da planta cultivada. No entanto, existem variações genéticas para resistência a pragas no arroz, o que significa que ganhos podem ser alcançados por meio do melhoramento genético. Os insetos do gênero *Sitophilus* estão entre as pragas mais destrutivas no armazenamento (SILVA et al., 2014).

No Brasil, a espécie *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae), popularmente conhecido como caruncho do milho é uma praga na fase de armazenamento de grãos, destaca-se entre as principais pragas que causam elevados prejuízos para os produtores de arroz (SANTOS et al., 2019). Estima-se que no Brasil 20% da produção anual de grãos que está em torno de 120 milhões de toneladas, se perde entre a colheita e o armazenamento e que metade dessas perdas, e que os principais motivos que levam a esses números alarmante é o ataque de pragas durante o armazenamento (CHAGAS et al, 2020).

É encontrada em todas as regiões quentes e tropicais do mundo e são pragas primárias de arroz armazenado, podendo infestar os grãos no campo antes do armazenamento o que pode deixar uma produção inviável (SILVA e PIRES, 2018). O uso de variedades resistentes ou tolerantes é uma ferramenta promissora de controle dessa praga, devido à facilidade de utilização, não oneração do produto, ausência de contaminação dos grãos e compatibilidade com outros métodos de controle. Além de ofertar menos riscos o que é de suma importância para a saúde humana e animal (KUMAR e GAUTAM, 2016).

Para o desenvolvimento de variedades resistentes a insetos-pragas são necessários estudos sobre a detecção de genótipos que sirvam como fonte de resistência. A produção de plantas resistentes a insetos é uma das prioridades dos programas de melhoramento vegetal. Atualmente, há diversas estratégias sendo empregadas, por exemplo, o uso de materiais transgênicos que produzem a toxina do *Bacillus thuringiensis* (Bt). Diversas espécies vegetais, incluindo o arroz, expressando

a toxina Bt e resistentes a insetos, já foram obtidas. (OLIVEIRA et al., 2019; NASCIMENTO et al., 2019).

8. RESISTÊNCIA AO ACAMAMENTO

O acamamento em arroz resulta em baixo rendimento, decorrente principalmente do enchimento anormal dos grãos, perdas elevadas na colheita e aumento da ocorrência de doenças. Afeta também a qualidade do grão e rendimento da lavoura. A resistência ao acamamento está associada com a extensão do sistema radicular, altura da planta, espessura da parede do caule e comprimento dos entrenós (BORÉM et al., 2005).

Vários fatores concorrem para conferir resistência ao acamamento a uma variedade de arroz. A altura de planta apresenta forte correlação positiva com acamamento, por isso variedades cuja altura não ultrapassa muito 100 cm são preferidas. O diâmetro do colmo não ultrapassa e a espessura de suas paredes são importantes, assim como bainhas aderidas aos entrenós (SWAMY e KUMAR, 2021).

Desses fatores, apenas a altura é avaliada rotineiramente nos ensaios de competição. O acamamento é avaliado visualmente por uma escala de notas atribuídas na fase ideal de colheita. A utilização de variedades tradicionais chinesas, dentre elas Dee Geo e Woo Gen, visando baixa estatura de planta, foi um dos maiores avanços do melhoramento do arroz. Essas variedades portam um gene recessivo maior, que causa encurtamento dos entrenós, sem prejudicar as outras partes da planta (CHEN et al., 2019).

9. TOLERÂNCIA AO ESTRESSE HÍDRICO

Os avanços na engenharia genética estão possibilitando a criação de variedades de arroz mais tolerantes e adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas. Em estudo realizado por pesquisadores da Universidade de Cornell, USA, foram introduzidos no arroz dois genes de *Escherichia coli* (gene *otsA* e *otsB*) que sintetizam a trealose. Essa técnica permite controlar onde os genes introduzidos

se expressam, por exemplo, a folha produz trealose e o grão não produz (HUSSAIN et al., 2014).

A trealose é um dissacarídeo que pode ser encontrado em diversas plantas e microrganismos, sendo capaz de proteger a estrutura das células contra estresses ambientais, como a seca e o frio. A introdução desses genes de *E. coli* no arroz tem o potencial de aumentar a resistência das plantas a esses tipos de estresses, o que pode ser benéfico para as regiões onde a produção de arroz é afetada por longos períodos de seca (SINGH e SINGH, 2021; HUSSAIN et al., 2014).

10. GENES CONHECIDOS

O genoma de *Oryza sativa* contém aproximadamente 389 milhões de pares de bases (Mb), o menor genoma entre os cereais (JIANG et al., 2021). O seu sequenciamento é importante para explorar a possibilidade de melhoramento deste cereal. Foram estimados aproximadamente 38000 a 40000 genes por meio de sequências de ESTs (Yu et. al., 2005). Porém, mais recentemente o RAP-DB (Rice Annotation Project Database) determinou um número menor de genes: as evidências sugerem que 31.439 loci são expressos, sendo que 30.192 são potenciais codificadores de proteínas (LI et al., 2020).

O conhecimento da localização de todos os genes do genoma aumenta a utilidade de marcadores moleculares permitindo a identificação de genes candidatos envolvidos no controle de uma característica específica de interesse (SASAKI e BURR, 2000). Até recentemente *Arabidopsis thaliana* era a única planta a ter seu genoma sequenciado, mas as sequências genômicas de duas culturas de arroz mudaram este panorama. *O. sativa* é atualmente um dos poucos organismos a ter os genomas de duas importantes subespécies, *O. sativa japônica* e *O. sativa indica*, completamente sequenciados (YU et al. 2005).

Em comparações realizadas entre as subespécies *O. indica* e *O. japônica*, observou-se pequenas diferenças no conteúdo dos genes: entre 2 a 3% dos genes são únicos para uma das duas subespécies, porém existem enormes diferenças nas regiões Inter gênicas (YU et al., 2021). O International Genome Sequencing Project

(IRGSP), um consórcio de laboratórios de 10 países iniciaram o sequenciamento de *O. sativa* ssp. (1998) e *O. japonica* (2004), sequências de 95% do genoma foram disponibilizadas publicamente, sendo que os 5% restantes representam algumas regiões teloméricas e centroméricas (KHAN et al., 2021; MATSUMOTO et al., 2005).

11. ARROZ DOURADO (*Golden Rice*)

O arroz ouro é um exemplo de alimento geneticamente modificado que apresenta benefícios diretos para o consumidor. Sua produção envolveu a inclusão de três genes, sendo dois provenientes da planta *Narcissus poeticus*, da família das amarilidáceas, conhecida popularmente como dafodil ou narciso (genes *psy* e *lcy*), e um proveniente de uma bactéria (gene *crtI*), linhagem *japonicum* Taipei 309, comumente utilizada em experimentos de laboratório. Essa combinação genética resultou na produção de β -caroteno, precursor da vitamina A, que é de extrema importância para a saúde humana. Atualmente, o material está em fase de testes no IRRI e, caso apresente bons resultados, será transferido para variedades comerciais e distribuído aos agricultores (PAINE et al., 2017).

O desenvolvimento do arroz ouro é um marco na biotecnologia agrícola, pois representa uma solução para um problema nutricional crítico que afeta muitas populações em todo o mundo, especialmente em países em desenvolvimento, onde a deficiência de vitamina A é uma grande preocupação de saúde pública. Além disso, a tecnologia por trás do arroz ouro é uma evidência de que a biotecnologia agrícola pode ser utilizada para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos, bem como a produtividade e a sustentabilidade da agricultura (WANG et al., 2020).

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhoramento genético tem sido uma das principais estratégias para aumentar a produtividade e a qualidade do arroz. Mediante o uso de técnicas de seleção, hibridização e modificação genética, é possível desenvolver variedades com

características desejáveis, como resistência a pragas e doenças, maior adaptação a diferentes condições climáticas e de solo, melhor qualidade nutricional e culinária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APG IV. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, V.181, n.1, p.1-20, 2016.

ASHKANI, S. et al. Molecular progress on the mapping and cloning of functional genes for blast disease in rice (*Oryza sativa* L.): current status and future considerations. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 35, n. 3, p. 332-341, 2015.

BONATO, C. M. et al. Genetic divergence between upland and irrigated rice cultivars based on morphological and agronomic traits. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 5, p. 590-597, 2018.

BHATTACHARYA, K. R.; BASU, S. K. Rice Quality: A Guide to Rice Properties and Analysis. **Woodhead Publishing**, 2013.

BARATA, T. **Caracterização do consumo de arroz no Brasil: um estudo na região metropolitana de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Agronegócio). Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

BORÉM, Aluizio. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2.ed.. Viçosa, MG: UFV, 2005.

CHAGAS, E. A. et al. Perdas pós-colheita de grãos no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 10, p. 697-707, out. 2020.

CHEN, L.; ZHANG, Q.; XIE, H.; PENG, S. Improving Yield Potential of Super Hybrid Rice by Favorably Changing Plant Height. **Crop Journal**, v. 7, n. 1, p. 51-60, 2019.

CAVALLI, S. B.; GUERRA, M.; MARIANI, A. The Brazilian rice market and the characteristics of the consumer. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, n. 1, p. 69-82, 2017.

CORDEIRO, Z. J. M. **Cultivo de arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 85 p.

ELIAS, M. C. et al. Arroz integral: benefícios à saúde e métodos de preparo. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 3-10, 2012.

GENG, S.; WILLIAMS, J.F.; HILL, J.E. 1984. Harvest moisture effects on Rice milling quality. **California Agriculture**, v.38, n.1, p.11-12, 1984.

JIANG, L. et al. Recent progress and prospects in rice functional genomics research. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 63, n. 2, p.195-214, 2021.

JENNINGS, P. R.; COFFMAN, W. R.; KAUFFMAN, H. E. **Rice improvement**. Manilla: International Rice Research Institute. 1979. 186p.

HUSSAIN, H. et al. Enhanced drought resistance of rice plants with a synthetic trehalose gene. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 14, p. 1287-1296, 2014.

KHAN, M. S. I. et al. The complete genome sequence of *Oryza japonica* provides new insights into its genome evolution. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1-17, 2021.

KUMAR, R.; GAUTAM, R. K. Breeding rice for resistance to insect pests: achievements and challenges. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 8, n. 3, p. 1249-1266, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Produção Agrícola Municipal 2020**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9138-producao-agricola-municipal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 24/04/2023.

FAO. FAOSTAT - **Production, Crops**. [recurso eletrônico]. Rome, 2021. Produção de arroz em 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 21/04/2023.

LI, Z. et al. The application of CRISPR/Cas9 technology in rice breeding. **Journal of Genetics and Genomics**, v. 47, n. 8, p. 439-446, 2020.

MANGRAVITE, H. M.; NOELLE, R. J.; MARUYAMA, W. I.; BAVARESCO, A. Relationship between grain yield and yield components in irrigated rice genotypes. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1129-1140, 2021.

MATSUMOTO, T. et al. International Rice Genome Sequencing Project. The map-based sequence of the rice genome. **Nature**, v.436, p.793-800, 2005.

NASCIMENTO, A. R. B.; GUEDES, R. N. C.; OLIVEIRA, E. E. *Bacillus thuringiensis* em arroz irrigado por inundação: biologia, comportamento e resistência de pragas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 54, e00016, 2019.

NUNES, J. L. S. **A cultura do arroz; características do arroz (*Oryza sativa*)**. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/192869>. Acesso em: 21/04/2023. Publicado em 12/09/2016.

OLIVEIRA, E. E.; SANTOS, J. B.; FERREIRA, M. D.; SOUSA, J. S. *Bacillus thuringiensis* no manejo integrado de pragas do arroz armazenado. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 86, e0772018, 2019.

OLIVEIRA, A. C. de; AZEVEDO, J. L. de; SILVA, F. L. P. da. Indução de variabilidade

genética para resistência à brusone em panículas imaturas de três cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). **Revista Ceres**, v. 56, n. 3, p. 259-263, 2009.

PAINE, J. A. et al. Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. **Nature Biotechnology**, v. 35, n. 4, p. 372-375, 2017.

SILVA, D. D. et al. Brusone do arroz: resistência genética e manejo integrado. **Agropecuária Técnica**, v. 42, n. 2, p. 40-51, 2021.

SINGH, R. K.; SINGH, U. S. Rice breeding for yield improvement under changing climate. **Plant Breeding**, v. 140, n. 2, p. 215-227, 2021.

SWAMY, B. P.; KUMAR, A. Advances in breeding for high grain yield and quality in rice. **The Crop Journal**, v. 9, n. 1, p. 39-56, 2021.

SANTOS, J. B. et al. Pragas do arroz armazenado em diferentes sistemas de armazenamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 3, p. 1509-1517, 2019.

SILVA, J. A.; PIRES, E. M. Pragas do arroz armazenado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 16-24, 2018.

SORENG, R. J.; PETERSON, P. M.; ROMASCHENKO, K.; DAVIDSE, G.; TEPE, E. J.; VALDÉS-REYNA, J. A worldwide phylogenetic classification of the *Poaceae* (*Gramineae*) II: An update and a comparison of two 2015 classifications. **Journal of Systematics and Evolution**, v.55, n.4, p.259-290, 2017.

SETEGIBARA, M. F. et al. Mapeamento de QTL para resistência à brusone em arroz. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 81, n. 4, p. 348-353, 2014.

SILVA, P. R. F.; MENEZES, V. G.; OLIVEIRA, M. A. S. Resistência do arroz a insetos-praga. In: Embrapa. **A cultura do arroz no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 295-320.

SIEBENMORGEN, T. J.; COUNCE, P. A.; GRIGG, B. C. Rice milling and quality. In: WHEATON, T. A. **Encyclopedia of Food Grains**. Elsevier, p. 399-409, 2013.

SANTOS, A. B.; RABELO, R. R. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins**. - Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 136 p. - (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 218). 2008.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG II**. 2º Ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.

SASAKI, T.; BURR, B. International Rice Genome Sequencing Project: the effort to

completely sequence the rice genome. **Curr. Opin. Plant Biol**, v.3, p.138--141, 2000.

SOARES, A. A. **Características morfológicas da planta de arroz**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 21, n. 205, p. 7-11, 2000.

STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão. Efeito de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.10, p.1577- 1592, 1994.

VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R. Qualidade tecnológica. In: SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. A. **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio da Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, cap. 23. p. 869-900. 2006.

VIDAL, W. N. V.; VIDAL, M. R. R. **Botânica organografia: quadros sínóticos ilustrados de fanerógamos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. 425 p.

WANG, C. et al. Golden Rice and 'Golden' crops for human nutrition. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 61, p. 71-78, 2020.

WANG, Y. et al. Advances in Rice Grain Quality Research. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 16, p. 4046, 2019.

Yu, J.; Xu, C.; Tan, Y. Comparison of the genomes of indica and japonica rice: inter-subspecific gene and genome structure variation. **Molecular Plant**, v.14, n.4, p.625-637, 2021.

YU, J., WANG, J., LIU, W., LI, S., LI, H., et al. The genomes of *Oryza sativa*: A history of duplication. **Plos Biol**. v.3, n.2, p.266-281, 2005.

XIAO, Y. et al. Genome-wide association studies in maize: praise and stargaze. **Molecular Plant**, v. 13, n. 3, p. 287-306, 2020.

ZHANG, F. et al. Induced mutations targeting genes conferring resistance to rice blast in elite rice cultivars. **Plant Biotechnology Journal**, v. 19, n. 2, p. 345-347, 2021.