

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Correlações canônicas e divergência genética em tipos  
especiais de arroz com base em características  
quantitativas e multicategóricas**

**Mariana Caroline Guimarães Xavier**

**2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**CORRELAÇÕES CANÔNICAS E DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM TIPOS  
ESPECIAIS DE ARROZ COM BASE EM CARACTERÍSTICAS  
QUANTITATIVAS E MULTICATEGÓRICAS**

**MARIANA CAROLINE GUIMARÃES XAVIER**

*Sob a Orientação da Professora*

**Bruna Rafaela da Silva Menezes**

*e Co-orientação do Professor*

**Pedro Corrêa Damasceno Júnior**

Dissertação submetida como  
requisito parcial para obtenção do  
grau de **Mestre em Fitotecnia**, no  
Programa de Pós-Graduação em  
Fitotecnia, Área de concentração em  
Produção Vegetal.

Seropédica, RJ

Julho de 2022

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Biblioteca Central  
/ Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pela autora

X3c

Xavier, Mariana Caroline Guimarães, 1993 -  
Correlações canônicas e divergência genética em  
tipos especiais de arroz com base em características  
quantitativas e multicategóricas / Mariana Caroline  
Guimarães Xavier. - Seropédica, 2022.

77 f.: il.

Orientadora: Bruna Rafaela da Silva Menezes.  
Coorientador: Pedro Corrêa Damasceno Junior.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação  
em Fitotecnia, 2022.

1. *Oryza sativa* L. 2. distância genética . 3.  
produção. I. Menezes , Bruna Rafaela da Silva, 1985-,  
orient. II. Damasceno Junior , Pedro Corrêa, 1973-,  
coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Pós-graduação em Fitotecnia. IV. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



**HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 86 / 2024 - DeptFITO**  
**(12.28.01.00.00.00.32)**

**Nº do Protocolo: 23083.056115/2024-67**

**Seropédica-RJ, 11 de outubro de 2024.**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**MARIANA CAROLINE GUIMARÃES XAVIER**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Fitotecnia, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Produção Vegetal.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 19/07/2022.

Dra. Bruna Rafaela da Silva Menezes - UFRRJ  
(Orientadora)

Dr. Luiz Beja Moreira - UFRRJ

Dra. Verônica Brito da Silva - UFPI

*(Assinado digitalmente em 11/10/2024 18:38 )*  
BRUNA RAFAELA DA SILVA MENEZES  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptG (12.28.01.00.00.00.50)  
Matrícula: 2271445

*(Assinado digitalmente em 11/10/2024 18:43 )*  
LUIZ BEJA MOREIRA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DeptFITO (12.28.01.00.00.00.32)  
Matrícula: 386054

*(Assinado digitalmente em 11/10/2024 18:57 )*  
VERONICA BRITO DA SILVA  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 930.516.623-72

Visualize o documento original em  
**<https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>** informando seu número: **86**,  
ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de  
emissão: **11/10/2024** e o código de verificação: **3d5f53c3a8**

**DEDICO,**

Às donas da minha vida, mãe, Helena e Heloísa.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por tudo.

À todas Entidades pelo que fizeram e fazem por mim.

À UFRRJ e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pelo apoio acadêmico, técnico e estrutural.

À minha excepcional orientadora, Bruna Rafaela da Silva Menezes, pelos ensinamentos, apoio, paciência, dedicação e por me proporcionar a grata oportunidade de ser sua orientada.

Ao meu coorientador, Pedro Corrêa Damasceno Júnior, pela enorme honra e aprendizado que ser sua orientada me proporcionaram.

Aos melhores parceiros de campo Juliana Correa Araujo e Antônio de Amorim Brandão, sem os quais este trabalho teria sido mais difícil.

A todos os funcionários do Setor de Grandes Culturas da UFRRJ, que foram fundamentais para que eu realizasse esse trabalho, sendo tão grande meu carinho e apreço por todos eles.

Ao Instituto Agronômico de Campinas e ao pesquisador José Almeida Pereira da Embrapa Meio-Norte por ceder sementes de alguns genótipos.

À toda minha família, especialmente minha mãe, fonte de todo amor que carrego em mim.

Ao meu parceiro dessa e também outras vidas, Tiago Xavier, pelo amor, dedicação e carinho ofertados. Tenho sorte.

Ao destino que me trouxe meu companheiro, Davidson Izaias, e com ele meus maiores presentes, minhas meninas. Tenho sorte.

Aos meus amigos Talita, Karolyn, Rafael, Débora e Carlos por toda ajuda, paciência e carinho ao longo desses anos.

A todos os pesquisadores que contribuem com o desenvolvimento da agricultura no país.

Aos trabalhadores rurais que nos alimentam e doam suas vidas pelo simples amor à terra, por tudo o que fazem por nós.

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (**PORTARIA N° 206, DE 4 DE SETEMBRO DE 2018 DA CAPES**)”.

## RESUMO

**XAVIER, Mariana Caroline Guimarães.** Correlações canônicas e divergência genética em tipos especiais de arroz com base em características quantitativas e multicategóricas. 2022. 77p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

O consumo de tipos especiais de arroz (*Oryza sativa L.*) no mercado brasileiro vem sendo fomentado devido ao crescente interesse por produtos diferenciados que atendam a públicos diversificados. Grãos com padrões especiais como o arroz vermelho, o cateto, o arbóreo, o japonês, os tipos aromáticos e o arroz preto aos poucos ganham espaço entre produtores e consumidores que ainda priorizam o tipo branco e polido. Na análise de correlações canônicas várias características morfoagrônomicas são avaliadas simultaneamente, permitindo identificar as que possuem alta correlação, sendo de maior efeito direto em sentido favorável à seleção indireta. A estimativa da divergência genética é essencial para estudos que envolvem hibridações, pois permite a seleção de genitores que quando cruzados proporcionarão em seus híbridos maior efeito heterótico. Assim sendo, o presente estudo teve como objetivo a avaliação de características agronômicas para determinação da magnitude de associação e interdependência entre dois grupos de características e estimativa da divergência genética entre genótipos de tipos especiais de arroz. O experimento foi conduzido no Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da UFRRJ, Seropédica-RJ. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram avaliados 17 genótipos, dos quais 5 de arroz branco e 12 de tipos especiais. As características morfoagronômicas avaliadas foram em um total de 25 variáveis entre descritores morfológicos e componentes da produção, sendo 19 consideradas quantitativas e 6 qualitativas. As médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott ( $P<0,05$ ). Para a determinação das correlações canônicas foram utilizados dois grupos de variáveis, sendo o grupo I composto por quatro características morfológicas e o grupo II composto por quatro componentes da produção. As análises estatísticas foram realizadas utilizando os programas computacionais Genes. Houve diferenças significativas ( $P<0,01$ ) entre os genótipos para as oito características avaliadas. O primeiro, segundo e terceiro pares apresentaram correlações canônicas significativas a 5% de probabilidade, demonstrando que esses grupos não são independentes. A seleção de genótipos superiores para produção pode basear-se na escolha de plantas com maior espessura da folha bandeira, maior altura e menor ângulo da folha bandeira. A matriz de dissimilaridade foi obtida utilizando a distância de Gower. Os genótipos foram agrupados pelo método de Otimização de Tocher e o método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages*). O dendrograma gerado estabeleceu nove grupos, sendo que dois grandes grupos juntos concentraram cerca de 47% dos genótipos. O método de agrupamento de Tocher dividiu os genótipos em oito grupos heteróticos, sendo que o maior agrupamento foi constituído por sete genótipos. A divergência observada entre os genótipos de arroz, através das análises multivariadas, demonstra que no presente estudo houve variabilidade genética.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa L.*, distância genética, produção.

## ABSTRACT

**XAVIER, Mariana Caroline Guimarães.** Canonical correlations and genetic divergence in special types of rice based on quantitative and multicategorical traits. 2022. 77p. Dissertation (Plant Science). Institute of Agronomy, Post-graduate Program in Plant Science. University Federal Rural of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

The consumption of special types of rice (*Oryza sativa* L.) in the Brazilian market has been fostered due to the growing interest in differentiated products that serve diverse audiences. Grains with special patterns such as red rice, peccary, arboreal, japonica, aromatic types and black rice gradually gain space among producers and consumers who still prioritize the white and polished type. In the analysis of canonical correlations, several morphoagromic characteristics are evaluated simultaneously, identifying those that are discharged by voice, with a greater direct effect in favor of indirect selection. The estimation of genetic divergence is essential for studies involving hybridizations, as it allows the selection of parents that, when crossed, will provide a greater heterotic effect in their hybrids. Therefore, the present study aimed to evaluate agronomic traits to determine the magnitude of association and interdependence between two groups of traits and to estimate the genetic divergence between genotypes of special types of rice. The experiment was carried out at the Department of Plant Science, Institute of Agronomy at UFRRJ, Seropédica-RJ. The experimental design was randomized blocks, with four replications. 17 genotypes were evaluated, of which 5 were white rice and 12 were special types. The morphoagronomic characteristics evaluated were in a total of 25 variables between morphological descriptors and production components, 19 being considered quantitative and 6 qualitative. Means were compared using the Skott-Knott test ( $P<0.05$ ). To determine the canonical correlations, two groups of variables were used, with group I composed of four morphological characteristics and group II composed of four production components. Statistical analyzes were performed using the computer programs Genes. There were significant differences ( $P<0.01$ ) between the genotypes for the eight traits evaluated. The first, second and third pairs showed significant canonical correlations at 5% probability, demonstrating that these groups are not independent. The selection of superior genotypes for production can be based on choosing plants with greater flag leaf thickness, greater height and lower flag leaf angle. The dissimilarity matrix was obtained using the Gower distance. The genotypes were grouped using the Tocher Optimization method and the hierarchical method UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages*). The generated dendrogram established nine groups, and two large groups together concentrated about 47% of the genotypes. The Tocher clustering method divided the genotypes into eight heterotic groups, with the largest cluster consisting of seven genotypes. The divergence observed between the rice genotypes, through the multivariate analysis, demonstrates that in the present study there was genetic variability.

**Keywords:** genetic distance, production, *Oryza sativa* L.

SUMÁRIO	Página
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	1
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	4
<b>3. HIPÓTESE CIENTÍFICA .....</b>	4
<b>4. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	5
4.1. Importância econômica da cultura do arroz .....	5
4.2. Centro de origem da espécie .....	6
4.3. Características morfoagronômicas e de produção .....	8
4.4. Tipos especiais de arroz .....	10
4.5. Composição química e características nutricionais .....	12
4.6. Melhoramento genético da cultura .....	14
4.7. Correlação canônica .....	15
4.8. Divergência genética .....	16
<b>CAPÍTULO I: correlações canônicas entre características morfológicas e de produção em tipos especiais de arroz .....</b>	20
<b>RESUMO .....</b>	20
<b>ABSTRACT .....</b>	21
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	22
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	23
2.1. Implementação do ensaio experimental .....	23
2.2. Características avaliadas .....	25
2.3. Análises genético-estatísticas .....	26
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	27
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	33
<b>CAPÍTULO II: Divergência genética em tipos especiais de arroz com base em características quantitativas e multicategóricas .....</b>	34
<b>RESUMO .....</b>	34
<b>ABSTRACT .....</b>	35
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	36

<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	37
2.1. Implementação do ensaio experimental .....	37
2.2. Características avaliadas .....	38
2.2.1.Características morfológicas qualitativas discretas .....	38
2.2.2. Características morfoagronômicas quantitativas contínuas .....	39
2.3. Análises genético-estatísticas .....	41
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	41
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	48
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	49
<b>ANEXOS .....</b>	64

## **1. INTRODUÇÃO**

A cultura de cereais engloba espécies da família Poaceae e que apresentam seus frutos comestíveis. São importantes para consumo humano e animal e cultivadas em maiores quantidades. Milho, trigo e arroz constituem cerca de 90% da produção global total de cereais, sendo o arroz correspondente a aproximadamente 33% da produção mundial. O cultivo de arroz corresponde ao maior uso da terra para a produção de alimentos, sendo a fonte de energia e proteínas diárias para diversos povos, além de seu valor social e identidades culturais relacionadas à alimentação, estando presente em rituais religiosos e na culinária como uma maneira de representar e reforçar determinados costumes, valores e crenças, devido principalmente às tradições milenares de seu cultivo e consumo (GRISP, 2013; FAO, 2018).

Mundialmente, o Brasil posiciona-se como o único país não-asiático entre os 10 maiores produtores de arroz. O volume da produção de grãos no país para a safra 2022/23 está estimado em 312,4 milhões de toneladas, dos quais o arroz ocupa a terceira maior produção de cereais com cerca de 10,8 milhões de toneladas. A Região Sul é detentora de 80% da oferta nacional, com cultivo predominantemente irrigado, sendo o Estado do Rio Grande do Sul o maior produtor na Região. A produção de arroz no país é proveniente de dois sistemas de cultivo: várzeas ou irrigado e de sequeiro ou terras altas. O país é o maior produtor mundial de arroz de sequeiro, mesmo que essa produção represente menos de 10% de toda produção nacional de arroz. As plantas cultivadas nesses ecossistemas apresentam comportamento distinto, devido primordialmente pela discrepante disponibilidade de nutrientes e água, sendo o sistema irrigado responsável por maiores produtividades (FAO, 2020; CONAB, 2022).

Avanços genéticos na década de 70 permitiram o desenvolvimento de cultivares altamente produtivas, através da introdução de cultivares de porte baixo (semi-anãs) que apresentavam alta capacidade de perfilhamento, folhas eretas e responsivas à adubação, permitindo um ganho significativo em produtividade (VIEIRA, 2007). Atualmente, esses avanços enfrentam entraves inerentes à baixa diversidade entre os genótipos comerciais, reforçando dessa maneira a necessidade da pesquisa e caracterização de acessos diversificados que atendam os mais diferentes mercados.

As preferências de consumo pelos brasileiros são voltadas para o arroz branco polido longo e fino (tipo agulhinha), seguido em menor escala pelo parabolizado e integral. Entretanto, têm-se observado um interesse por arrozes denominados “tipos especiais”, onde características peculiares como grãos com o pericarpo pigmentado, aromáticos e com diferentes texturas

despertam interesse de consumidores e produtores, pois são considerados alimentos funcionais e possuem um maior valor agregado em nichos específicos de mercado (RIBEIRO et al. 2016).

A pigmentação no pericarpo de alguns desses arrozes tem sido associada por diversos autores a uma atividade antioxidante em função da presença de compostos bioativos como ácidos fenólicos, flavonóides, antocianinas, proantocianidinas, tocoferóis e tocotrienóis, entre outros. Essas moléculas impedem a formação, neutralizam e protegem as células dos danos causados por radicais livres, atuando na prevenção do desenvolvimento de doenças crônicas e degenerativas (WALTER e MARCHESAN, 2011; GOUFO e TRINDADE, 2014; WICKERT et al., 2014; GHASEMZADEH et al., 2018). Dentre os arrozes aromáticos os mais difundidos são o Basmati e Jasmin que possuem um aroma agradável devido principalmente à presença do composto químico 2-acetil-1-pirrolina, responsável pelo aroma singular, conferindo um sabor natural amanteigado (RIBEIRO et al., 2016). O arroz arbóreo possui grãos de formato redondo e porosos que absorvem o sabor e liberaram amilose sendo bastante na culinária italiana (WICKERT et al., 2018).

Fatores como genótipo, disponibilidade de nutrientes e as condições ambientais sob as quais a cultura se desenvolve podem afetar as características físicas e químicas dos grãos. A ampla diversidade genética observada na cultura fornece recursos genéticos úteis ao melhoramento da cultura. O estudo dessa diversidade possibilita a obtenção de informações e recursos valiosos para o desenvolvimento de cultivares de produção estável, adaptadas às mais diversas condições de cultivo e com características nutricionais funcionais.

A planta de arroz apresenta grande variação morfológica entre os genótipos, especialmente em características vegetativas como altura da planta e comprimento da folha. A associação entre essas características e os componentes da produção são fundamentais na seleção de caracteres importantes para o melhoramento genético, principalmente na identificação dos efeitos que alterações promovidas em determinada característica têm sobre as demais (SOHRABI et al. 2012; CREVELARI et al. 2019).

A análise de correlações canônicas pode ser utilizada para aumentar a eficiência de seleção de genótipos superiores, pois várias características são avaliadas simultaneamente. A relação entre dois grupos de variáveis e o conhecimento da contribuição relativa entre duas ou mais características possibilita a seleção de um ideótipo de planta desejável para determinada cultura. Conhecer e classificar as limitações, bem como a capacidade das plantas, permite direcionar a seleção entre as diferentes características morfológicas e produtivas, a fim de transferir características desejáveis para outras plantas buscando alcançar o rendimento máximo

de uma planta em determinado ambiente (SOLTANI et al. 2000; CRUZ et al. 2012; HAGHSHENAS et al. 2020).

Frente a grande variabilidade de tipos de arrozes e devido a crescente demanda dos produtores por produtos diferenciados, com alto valor agregado e que atendam às expectativas dos consumidores torna-se indispensável estudos que determinem genótipos efetivamente adaptadas, apresentando alto desempenho e estabilidade em diferentes condições ambientais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Assim sendo, o presente estudo teve como objetivo a avaliação de características agronômicas, determinação da magnitude de associação e interdependência entre dois grupos de características e estimativa da divergência genética entre genótipos de tipos especiais de arroz.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar e comparar as características agronômicas de genótipos de tipos especiais de arroz;
- Estimar e analisar as correlações fenotípicas e explicar a relação entre dois conjuntos de variáveis, características morfológicas e componentes da produção, por meio das correlações canônicas;
- Estimar a distância genética entre os genótipos por meio da distância de Gower e realizar os agrupamentos por meio dos métodos de Otimização de Tocher e o Hierárquico de UPGMA.

## **3. HIPÓTESE CIENTÍFICA**

Existe associação entre variáveis morfológicas e componentes da produção e divergência genética entre genótipos de tipos especiais de arroz acessada por meio de características morfológicas e agronômicas.

## 4. REVISÃO DE LITERATURA

### 4.1. Importância econômica da cultura do arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerado alimento primário para mais da metade da população mundial (GROSS e ZHAO, 2014). O cultivo desse cereal é tido como um dos pilares na garantia da segurança alimentar e nutricional, permitindo o acesso regular à um alimento de qualidade, sendo este um direito humano fundamental (ALBUQUERQUE, 2009).

Segundo dados disponibilizados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) a produção mundial de arroz em 2018 foi de aproximadamente 782 milhões de toneladas de arroz em casca, colhidas em uma área de 167 milhões de hectares, com uma produtividade média de 4.679 kg ha<sup>-1</sup>. De acordo com a última previsão da FAO a produção mundial de arroz em 2022 é estimada em 512,8 milhões de toneladas de arroz branqueado, acima da média de colheita. O Brasil é um dos maiores produtores deste cereal, ocupando a nona posição mundial, sendo responsável por aproximadamente 11 milhões de toneladas (FAO, 2018; OCDE-FAO, 2022).

Mais da metade da produção global de arroz está concentrada na China e na Índia, sendo responsáveis por 50% do arroz cultivado e consumido. No geral, os países da Ásia representam cerca de 90% do total produzido. O arroz é uma das fontes de energia mais importantes no continente asiático, na África e nas Américas (MUTHAYYA et al., 2014).

No Brasil, o arroz é um dos cereais que compõem o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), destacando sua importância nas ações sociais governamentais que buscam assegurar os níveis de oferta e consumo, além de favorecer pequenos produtores e a população mais carente, que têm no arroz um elemento básico em sua dieta (CONAB, 2015). Atualmente, no Brasil, o arroz ocupa o terceiro lugar em área cultivada com culturas anuais. Soja, milho, arroz e algodão são as principais culturas produzidas no país, tendo o arroz produzido, na safra 2018/2019, cerca de 10,4 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

A estimativa da produção de grãos no Brasil, para a safra 2022/23, é de 312,4 milhões de toneladas com a produção de arroz estimada em 10,8 milhões de toneladas e produtividade de 6,7 kg/ha. É um cereal produzido em todo o país, representando a principal fonte de renda agrícola de alguns estados. As principais regiões produtoras são a Região Sul, a Centro-Oeste e a Sudeste, sendo a primeira responsável pela concentração de 80% da oferta nacional (CONAB, 2020). A orizicultura irrigada é responsável pela maior parcela da produção de arroz no Brasil. Na safra 2022/23 a área cultivada é estimada na ordem de 1,54 mil hectares, sendo

cerca de 80% correspondente ao cultivo irrigado e 20% nas condições de sequeiro (CONAB, 2022).

A produção no sul do país é considerada um estabilizador da safra nacional, uma vez que o suprimento abundante de água através do sistema de irrigação por inundação, predominante no cultivo dessas áreas, não é tão dependente do regime de chuvas, além de fatores como características de solo e meteorológicas, tais como radiação solar e temperatura, serem determinantes para o sucesso do cultivo nessa região (CASTRO et al., 2003; SOSBAI, 2018). A forte dependência de chuvas frequentes e regulares é o principal fator limitante para o bom desenvolvimento da cultura em sequeiro, sendo os períodos de deficiência hídrica responsáveis, por exemplo, pela descontinuidade do processo de enchimento de grãos. Um suprimento de água adequado está diretamente ligado à maiores produtividades e grãos com uma qualidade superior (CASTRO et al., 2003; EMBRAPA, 2008).

Segundo Baiocchi (2011) o cereal destaca-se por sua relevância socioeconômica, não somente pelo alto consumo, pela ampla distribuição em nível mundial como também pelas diversas formas de utilização: na alimentação básica, meios de subsistência, geração de empregos, uso destinado à indústria, entre outras, bem como seus subprodutos, direcionados à alimentação animal, cervejarias, substratos, adubação agrícola e produção de óleos.

Devido a grande proporção econômica que a cultura possui, pesquisas que promovem descobertas quanto a origem, centros de domesticação e as interações da planta com o ambiente, são de suma importância na busca de genótipos estáveis e com alta produtividade em diferentes ambientes, promovendo assim, a otimização da produção e rendimento do grão, bem como do espaço cultivado e suas diferentes finalidades (GROSS e ZHAO, 2014).

#### **4.2. Centro de origem da espécie**

Pertencente ao gênero *Oryza*, o arroz é uma planta que remete a tradições milenares de cultivo, sendo uma das culturas mais antigas, estudadas e importantes do mundo. A diversidade fenotípica encontrada em grupos de cultivares de arroz e em raças tradicionais espelham a grande riqueza da cultura (CIVÁÑ et al., 2019). Estruturas celulares e restos macrobotânicos dessas plantas foram encontradas região central e inferior do vale do rio Yangtze, na China e datados de 11.000 a 12.000 a.C., sendo a evidência arqueológica mais antiga do uso de arroz por humanos (LONDO et al., 2006; SWEENEY e MCCOUCH, 2007; GROSS e ZHAO, 2014; CIVÁÑ et al. 2015).

Apesar da relevância na agricultura mundial e dos diversos estudos arqueológicos, sua história evolutiva ainda não foi completamente elucidada. Dentro da espécie *Oryza sativa*,

existe uma extensa variação morfológica, ecológica e fisiológica, resultado da seleção para adaptações a diferentes habitats e condições de crescimento em todo o mundo (LONDO et al., 2006).

O arroz, que tem como centro de origem o sudeste da China, é uma cultura tradicional no leste e sudeste da Ásia (LONDO et al., 2006; SWEENEY e MCCOUCH, 2007; HUANG et al. 2012; GROSS e ZHAO, 2014; CIVÁÑ et al. 2015; CIVÁÑ et al. 2019). Sítios arqueológicos que datam de 8.000 a.C., apresentam evidências de restos de arroz, entretanto a data da domesticação permanece como motivo de debates contínuos (LONDO et al., 2006; SWEENEY e MCCOUCH, 2007).

Embora a domesticação do arroz de seu ancestral silvestre *Oryza rufipogon* Griff seja aceita, documentada e tenha ocorrido em algum lugar no leste ou sudeste da Ásia, o número de domesticações, localização geográfica precisa e o tempo de domesticação são debatidos, uma vez que a principal característica de domesticação do não-estilhaçamento não foi fixada por mais 1.000 anos ou talvez mais, uma vez que um cultivo de pré-domesticação pode ter ocorrido antes da domesticação de fato, tendo ocorrido entre 9 e 8 mil anos atrás (LONDO et al., 2006; HUANG et al., 2012; GROSS e ZHAO, 2014).

O arroz é uma monocotiledônea da família Poaceae, do gênero *Oryza*, atualmente composto por cerca de vinte e uma espécies silvestres e duas cultivadas: *O. glaberrima*, o arroz cultivado africano e *O. sativa* L., arroz cultivado asiático, sendo esse amplamente cultivado pelo mundo e conhecido por sua importância na alimentação humana (BOTELHO, 1914 citado por MAGALHÃES JÚNIOR, 2007; VAUGHAN e CHANG, 1995). A espécie *O. sativa* é comumente dividida em cinco grupos de acordo com sua ecologia, genética e propriedades culinárias, sendo: *japonica* (com subdivisões em tropical e temperado), *indica*, javânea, *aus* e aromático (LONDO et al., 2006; YANG et al., 2012; CIVÁÑ et al. 2015).

Pesquisas recentes identificaram que os grupos de arroz *indica*, *japonica* e *aus* se originaram de três conjuntos gênicos diferentes de *Oryza rufipogon* Griff, o ancestral silvestre do arroz cultivado (HUANG et al. 2012; CIVÁÑ et al. 2015; CIVÁÑ et al. 2019), tendo o *japonica* se originado no vale do rio Yangtze (China), enquanto o *indica* se originou nas planícies de Ganges (Índia) (GROSS e ZHAO, 2014).

De acordo com Civáñ (2019 apud Oka, 1988) e Garris (2005) os grupos *indica* e *japonica* podem ser distinguidos pela forma de seus grãos e teor de amilose. O grão do grupo *indica* geralmente é mais longo e não-pegajoso, já os de *japonica* são mais curtos e apresentam baixo teor de amilose, tornando-o pegajoso após o cozimento, além algumas características agroecológicas, como por exemplo, tolerância ao frio típica do *japonica*.

Proveniente do subcontinente indiano o arroz aromático se originou a partir de cruzamentos entre a população silvestre local e exemplares de *japonica* já domesticados que foram propagados para essa região a partir do leste da Ásia, seu próprio centro de origem. Entende-se que tais eventos ocorreram entre 4.000 e 2.400 anos atrás, logo após a introdução de *japonica* na região (CIVÁÑ et al. 2019).

A descoberta e compreensão dos centros de origem, processos de domesticação das plantas cultivadas e sua diversidade genética são imprescindíveis na exploração de recursos genéticos, atividades de pesquisa e na percepção do comportamento dessas espécies em diferentes ambientes. Essas informações permitem avanços genéticos e inspiram soluções para as principais adversidades presentes no cultivo de arroz, bem como o desenvolvimento de novas cultivares com características agronomicamente desejáveis, tais como adaptação à diferentes ambientes e sistemas de cultivo, altamente produtivas e resistente às principais pragas e doenças.

#### **4.3. Características morfoagronômicas e de produção**

O arroz (*O. sativa* L.) é uma gramínea anual, pertencente ao grupo de plantas com sistema fotossintético C3, formada de raízes, caule, folhas e panículas. São considerados dois grandes ecossistemas para a cultura, o de várzeas e o de terras altas, podendo essa se desenvolver em condições de solo alagado ou seco. A produção em sistemas de terras baixas irrigadas, onde o cereal é cultivado em campos alagados, é responsável por cerca de três quartos da produção mundial de arroz. A adaptação ao ambiente aquático é possível devido à presença de aerênquimas no colmo e nas raízes da planta, propiciando eficiente suprimento de oxigênio ao sistema radicular, mesmo em condições anaeróbicas (GUIMARÃES et al., 2002; MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2004; MUTHAYYA et al., 2014; SOSBAI, 2018).

Os elementos climáticos exercem papel fundamental para o estabelecimento, desenvolvimento e a produtividade do arroz. A cultura não tolera temperaturas excessivamente altas ou baixas, onde a sensibilidade da planta é variável em função da fase fenológica, sendo a floração seguida pela pré-floração os estádios mais sensíveis. A ocorrência de temperaturas inferiores à 17 – 19°C ou superiores a 35°C, associadas à suprimento limitado de água, podem causar esterilidade de espiguetas. A faixa de temperatura ideal para o desenvolvimento situa-se entre 20°C e 35°C. A cultura exige temperaturas mais elevadas da germinação à maturação, crescentes até a floração, onde a faixa ótima é de 30°C a 33°C, decrescendo de forma suave após a floração, sendo 20°C a 25°C a faixa ótima para a maturação (CASTRO et al., 2003, EMBRAPA, 2008; SANTIAGO et al., 2013; CONAB, 2015; SOSBAI, 2016; SOSBAI, 2018).

O suprimento de água requerido pode ser fornecido através de diversos métodos de irrigação. Os mais utilizados no cultivo de várzea são a inundação contínua e a inundação intermitente. Já no cultivo de sequeiro faz-se uso do regime de chuvas, podendo a irrigação por aspersão ser utilizada de maneira a suplementar o volume de água fornecido pelas chuvas, de forma que a necessidade hídrica das plantas seja satisfeita (SANTIAGO et al., 2013; SOSBAI, 2018). O arroz irrigado possui maiores médias de produtividade, quando comparado ao arroz de sequeiro, que possui limitações quanto disponibilidade de água quando cultivado utilizando o regime de chuvas como fonte exclusiva de suprimento de água, onde os períodos de baixa disponibilidade são responsáveis por prejuízos no desenvolvimento da cultura e enchimento de grãos, resultando no comprometimento da produtividade (EMBRAPA, 2008; MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2012; CONAB, 2020).

A produtividade da cultura é determinada pela produção de grãos, podendo ser estimada através de características morfológicas relacionadas à capacidade de resposta produtiva das plantas, tais como, o número de panículas por  $m^2$ , o número de grãos por panícula, a porcentagem de espiguetas cheias e a massa de cem grãos, portanto, a produção de grãos é uma combinação de vários componentes que por sua vez estão relacionados a densidade de plantio, deficiência hídrica, manejo de invasoras, pragas e doenças, aporte de nutrientes, entre outras (GUIMARÃES et al., 2002).

A planta de arroz é bastante exigente em nutrientes durante seu desenvolvimento, sendo o potencial genético das cultivares, o manejo da cultura e do solo, além das condições climáticas, determinantes na produtividade e na resposta à adubação. Esses parâmetros são fundamentais na adequação das recomendações de adubação que devem ser pensadas de acordo com as diferentes expectativas de incremento na produtividade (SOSBAI, 2016). Em geral, baixos teores de nitrogênio são limitantes à produção, pois com exceção do potássio, é o nutriente que a planta mais acumula. O nitrogênio é componente da clorofila e favorece o aumento da área foliar, otimizando a interceptação da radiação solar e a taxa fotossintética, consequentemente, favorecendo a produtividade de grãos (FAGERIA et al., 2003). A deficiência de potássio, afeta o crescimento da planta, reduzindo o tamanho dos internódios e a dominância apical, provoca acamamento, além de provocar uma redução na taxa fotossintética e na qualidade dos grãos. O uso de potássio promove um importante papel na resistência às doenças, e assim como o fósforo, promove o desenvolvimento do sistema radicular. Já plantas cultivadas sob deficiência de fósforo apresentam redução de perfilhamento, colmos finos, folhas novas estreitas e curtas e prolongamento do ciclo da cultura (FAGERIA et al., 1995; EMBRAPA, 2008; SILVA et al., 2020).

A incidência de pragas e doenças é um dos fatores limitantes ao desenvolvimento da cultura, e dentre essas se têm destaque a brusone, principal doença da cultura e maior limitador do potencial produtivo e da qualidade dos grãos. A doença é causada pelo fungo *Magnaporthe oryzae* (*Pyricularia oryzae*) que afeta toda a parte aérea das plantas, causando lesões de tamanhos variáveis de acordo com a idade e grau de resistência da cultivar, promovendo a redução da área fotossintética, desuniformidade na emissão de panículas e chochamento das espiguetas, por exemplo. A ocorrência da doença é favorecida pelo molhamento das folhas, alta densidade de plantas, déficits hídricos e desequilíbrios nutricionais. O controle preventivo é feito através do manejo integrado, época de plantio adequada, uso de sementes sadias, densidade de plantio recomendada, bom preparo do solo e incorporação de restos culturais (FAGERIA et al., 1995; EMBRAPA, 2008; UTUMI, 2008; FILIPPI et al., 2015).

A escolha de tipos de arrozes e cultivares deve ser realizada com base em fatores agronômicos, tais como produtividade, ciclo, adaptação ao sistema e local de cultivo, qualidade industrial do grão, mas também os aspectos econômicos, onde a busca por produtos diversificados que atendam a diferentes mercados deve ser considerada como um dos critérios determinantes na escolha.

#### **4.4. Tipos especiais de arroz**

O gênero *Oryza* dispõe de uma ampla diversidade de ecótipos de arrozes, onde a variação das características morfológicas entre cultivares é contínua. Essa grande variabilidade se deve principalmente a combinação da influência humana e da natureza, do cultivo em diferentes ambientes e das mais variadas práticas culturais ao longo de sua história evolutiva (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2012).

Grãos com pericarpo vermelho, roxo e preto são algumas das variações de cores encontradas nas espécies cultivadas de arroz pelo mundo, entretanto, a maior parte do arroz consumido possui a coloração branca (WICKERT et al., 2014). As variabilidades das características físico-químicas de arrozes considerados peculiares abrangem aspectos relacionados à cor, formatos, tamanho, sabores, textura e o aroma dos grãos, de modo que esses são qualificados e conhecidos como tipos especiais (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2012). Dentre as diversas cultivares com sabores específicos, pode-se citar como as mais populares o vermelho, cateto, arbóreo (Itália), moti (Japão), preto (China) e os aromáticos basmati (Índia e Paquistão) e jasmim (Tailândia) (PEREIRA, 2002; CIVÁÑ et al. 2015).

O pericarpo vermelho é característico dos grãos nas espécies ancentrais do arroz cultivado (*O. rufipogon* e *O. nivara*) e está relacionado aos genes com caráter dominante Rd no

cromossomo 1 e pelo gene Rc no cromossomo 7, sendo a coloração branca resultante de uma mutação do gene Rc. As cultivares vermelhas são preferidas em algumas regiões do mundo devido à sua coloração, sabor, textura e valor ceremonial. Sua pigmentação vermelha corresponde a proantocianidina, à qual se atribuem propriedades antioxidantes e ação coibitiva contra patógenos e predadores da cultura (SWEENEY et al., 2006; SHARMA, 2010; PEREIRA e MORAIS, 2014). Já o arroz arbóreo é bastante difundido na culinária italiana, sendo utilizado para elaboração de pratos como os risotos e sopas. Tem como características grãos de formato redondo e porosos que absorvem o sabor e liberaram amilose, conferindo cremosidade ao prato (WICKERT et al., 2018).

Arrozes com pericarpo preto, se apresentam dessa forma devido aos grãos com pericarpos roxos escuros que possuem altos níveis de antocianinas, tal característica é determinada pelos dois genes Pb e Pp localizados no cromossomo 1 e 4, respectivamente. Associados a tradições e cerimônias culturais, os arrozes negros são cultivados e consumidos principalmente nos países asiáticos (RAHMAN et al., 2013; WICKERT et al., 2014). O grupo aromático é caracterizado por variados tipos de arrozes que possuem compostos químicos que dão fragrância ao grão, sendo 2-acetil-1-pirrolina o principal responsável pelo aroma singular, conferindo às variedades perfumadas uma característica muito valorizada, sendo esses repletos de significado cultural em muitas regiões do Oriente (BUTTERY et al., 1983; SINGH, 2000).

A preferência por determinados tipos de grãos consumidos está associada a aspectos econômicos, éticos e culturais de uma determinada localidade ou mercado ao qual está inserido. O consumo no Brasil é pouco diversificado, sendo o arroz branco polido longo e fino (tipo agulhinha), parbolizado ou integral os prediletos dos brasileiros (MAGALHÃES JUNIOR et al., 2003; FITZGERALD et al., 2008). Anteriormente restrito à alta gastronomia, os arrozes do tipo especial vêm ganhando destaque entre os consumidores, onde a crescente demanda por novas experiência sensoriais, através da combinação de novos aromas, formatos, cores, texturas e sabores, além das propriedades funcionais presentes em alguns desses, tem propiciado grande atenção e interesse do mercado e dos produtores, devido ao seu alto valor agregado propiciando elevado potencial como fonte de renda aos agricultores, principalmente aqueles de pequena escala de produção (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2012; COLOMBARI-FILHO e RANGEL, 2015; CÂNDIDO et al., 2017).

Diante dessa nova prospecção, o conhecimento das características químicas e nutricionais desses arrozes torna-se imprescindível, uma vez que o alimento está presente na dieta diária de diversos povos, sendo frequentemente considerados como super alimentos, apresentando muitas vezes uma alta concentração de nutrientes e

fitoquímicos, como por exemplo, compostos antioxidantes, que atuam na redução do risco de desenvolvimento de diversas doenças.

#### **4.5. Composição química e características nutricionais**

Considerado uma fonte primária de energia e proteínas, o arroz é uma alimento básico e essencial na composição de uma dieta saudável. O cereal destaca-se como fonte de energia na forma de carboidratos complexos (amidos) e de proteínas, fornecendo também vitaminas e minerais, sendo um alimento com baixo teor de lipídios (WALTER et al., 2008; EMBRAPA, 2008; LOPES e LOPES, 2008).

As inúmeras variedades de arroz cultivado apresentam características diferentes e únicas de sabor, cor, aroma, nutrientes, composição química e propriedades de cozimento. Essas variações podem ser explicadas pelos genótipos das plantas, além da interferência do ambiente de cultivo, sendo fertilidade do solo e condições climáticas, entre outros, fatores que modificam a composição físico-química dos grãos (EMBRAPA, 2008; SILVA et al., 2020).

O amido é o principal constituinte do cereal sendo responsável por cerca de 80% da composição de carboidratos, além da presença de açúcares livres e fibra. O grão de arroz contém dois tipos de amido: amilose e amilopectina. A fração amilose é a principal determinante das características do arroz como maciez, cor, brilho, volume de expansão, absorção de água e capacidade de aglutinação, portanto, relacionada com a qualidade culinária e aparência do grão pós cocção. O teor protéico médio do grão cru é de 7,5%, podendo oscilar entre 5% e 13% pelas diferenças varietais, constituído por diferentes frações protéticas, sendo a glutelina a maior fração presente no grão (70 a 80% da proteína total). Já o teor de lipídeos no arroz polido corresponde a menos de 1%, podendo conter no grão integral um teor de até 3% (KENNEDY e BURLINGAME, 2003; FERREIRA, et al. 2005; PEREIRA et al., 2007; LOPES e LOPES, 2008).

Os diferentes graus de beneficiamento do arroz como o polimento e parboilização também determinam variações consideráveis nos teores dos nutrientes no grão, sendo o polimento responsável pela redução do conteúdo de fibras, tiamina, niacina, ferro e zinco, devido a remoção das camadas superiores do grão, onde estes se apresentam em maior concentração. O valor nutricional do arroz integral é superior ao do arroz polido uma vez que aproximadamente 80% dos lipídios, até 70% de fibra e em torno de 50% dos teores de ferro e zinco são removidos na produção do arroz polido a partir do arroz integral (EMBRAPA, 2008).

Os arrozes vermelho, marrom e preto que possuem pericarpo pigmentado estão associados a uma notável atividade antioxidante em função da presença de fitoquímicos bioativos específicos, ausentes nas variedades não pigmentadas. Eles apresentam maior

atividade antioxidante e menor digestibilidade que o arroz branco, propriedades funcionais importantes para prevenir relacionados a doenças crônicas, como os distúrbios metabólicos causados por diabetes tipo II e doenças cardiovasculares e até mesmo câncer. Vários compostos com atividade antioxidante já foram identificados nesse cereal, incluindo ácidos fenólicos, flavonóides, antocianinas, proantocianidinas, tocoferóis e tocotrienóis, entre outros (YAWADIO et al., 2007; WALTER et al., 2013; GOUFO e TRINDADE, 2014; GHASEMZADEH et al., 2018; SHAO et al. 2018; PIOVESAN et al., 2020; SILVA et al., 2020; YULIANA e AKHBAR, 2020).

Dessa forma, estudos recentes demonstraram que os arrozes pretos e vermelhos contém altos níveis de fitoquímicos, possuindo uma potente atividade farmacêutica, sendo considerado como um super alimento devido aos altos níveis de ferro, aminoácidos essenciais e fibras presentes na composição dos grãos, além de uma importante fonte de antocianina (preto) e proantocianidinas (vermelho), tornando-os funcionais, devido a sua capacidade antioxidante (WICKERT et al., 2014, GHASEMZADEH et al., 2018). Os compostos fenólicos antioxidantes no arroz preto foram anteriormente associados à sua atividade antitumoral (CHOI et al., 2013), anti-inflamatória (CHOI et al., 2010) e benefícios para a saúde cardiovascular (WANG et al., 2011).

Alguns compostos encontrados no arroz também foram relatados como possuindo atividade citotóxica. Peonidina 3-glucósideo e cianidina 3-glucosídeo, que são as principais antocianinas no arroz preto, mostraram atividade inibidora significativa contra o crescimento celular de alguns tipos carcinoma humano (CHEN et al., 2006). Os antioxidantes, por sua vez, são moléculas orgânicas que impedem a formação, neutralizam e protegem as células contra danos causados por radicais livres formados no estresse oxidativo, responsável pelo desenvolvimento de diversas doenças crônicas e degenerativas, atuando também no processo de envelhecimento (KOIDE et al., 1996; HYUN & CHUNG, 2004; GOUFO e TRINDADE, 2014).

De acordo com o exposto, ficam evidentes os benefícios do consumo regular de arroz, especialmente os com propriedades funcionais, pois além de seu valor nutritivo, atuam na prevenção de diversas doenças e até mesmo no tardamento do processo de envelhecimento. Apesar do conhecimento já adquirido sobre esses grãos e seus efeitos na saúde humana, faz-se necessária a realização de estudos relacionados a sua caracterização físico-química, capacidade antioxidante, potenciais usos na indústria alimentícia e farmacêutica, bem como as variações resultantes da interação da espécie com os mais diversificados ambientes de cultivo.

#### **4.6. Melhoramento genético da cultura**

O melhoramento genético vegetal é tido como a arte e ciência de modificar plantas e seu desempenho, a fim de que algum progresso seja incorporado a uma determinada espécie. De maneira geral, este progresso se relaciona com a necessidade do estreitamento da relação genótipo e o ambiente onde a mesma será cultivada. Engloba todas as técnicas, métodos, estratégias ou recursos disponíveis, buscando suprir as carências dos agricultores, desenvolvendo cultivares geneticamente superiores quanto a uma série de caracteres de importância agronômica (BORÉM e MIRANDA, 2013).

Genótipos altamente produtivos, adaptados a diferentes condições edafoclimáticas, tolerantes à estresses bióticos e abióticos, tais como pragas, doenças, baixas temperaturas e à seca, tratos culturais facilitados, além da adequação ao mercado e preferência dos consumidores são alguns dos objetivos almejados pelos melhoristas. Esses devem criar e ampliar variabilidade, selecionar genótipos desejáveis e submetê-los à diferentes ambientes de cultivo, buscando ajustes que permitam a máxima expressão do seu potencial (BERTAN, 2005; BORÉM e MIRANDA, 2013; SILVA JÚNIOR, 2017).

A espécie *O. sativa* L. é autógama diplóide com número de cromossomos  $2n= 24$ , possuindo flores hermafroditas. O gênero *Oryza* apresenta ainda outras espécies diplóides como *O. glaberrima* e algumas espécies silvestres, ou ainda tetraplóides (espécies silvestres) com  $4n = 48$  (GUIMARÃES et al., 2006; BIOLOGY OF RICE, 2009). Nove diferentes grupos genômicos são reconhecidos entre as espécies do gênero *Oryza*, diferenciados por meio de análises genômicas, através do pareamento cromossômico e fertilidade em híbridos interespecíficos e seus graus de compatibilidade sexual (BIOLOGY OF RICE, 2009). Nas espécies autógamas uma cultivar é representada por uma linhagem, ou uma mistura de linhagens fenotipicamente semelhantes. São abundantes os métodos de melhoramento aplicáveis às espécies autógamas, sendo os mesmos distribuídos em três categorias: introdução de linhagens, seleção de linhas puras e hibridação (NASS et al., 2001).

O aumento de produtividade do arroz é uma das prioridades dos programas de melhoramento genético. O potencial produtivo das cultivares receberam incrementos significativos nas últimas décadas, devido principalmente a modificações na arquitetura das plantas. Durante a Revolução Verde na década de 70 surgia um novo conceito para o desenvolvimento de novas variedades, onde as plantas apresentavam características como baixa estatura, alta capacidade de perfilhamento, colmos fortes, folhas eretas e responsivas à adubação, permitindo um aumento excepcionalmente efetivo no potencial produtivo das áreas

cultivadas com arroz e que atualmente corresponde à mais de 60% da área cultivada no mundo. O descobrimento do alelo recessivo para porte baixo, presente nas cultivares semi-anãs transformou o cultivo de arroz, sendo IR-8 a primeira cultivar considerada moderna lançada pelo IRRI (*International Rice Research Institute*) utilizada como genitora em programas de melhoramento do mundo todo (MAGALHÃES JUNIOR et al., 2003; VAUGHAN et al., 2003; VIEIRA, 2007; STRECK et al., 2019).

Contudo, em função do estreitamento da base genética do arroz cultivado, têm-se observado uma estagnação nos ganhos em produtividade, uma vez que os genitores utilizados pertencem à um grupo restrito de ancestrais, devido principalmente ao *pool* gênico ocasionado pela seleção de caracteres agronômicos, como aderência dos grãos à panícula, porte compacto, entre outros, onde esses grupos de interesse vão sendo mantidos e outros eliminados da população (RANGEL et al., 1996; RANGEL, 2005; MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2012). Esse afunilamento constitui-se como um dos principais entraves no avanço do melhoramento da cultura, por restringir a variabilidade, podendo acarretar instabilidades frente à fatores bióticos e abióticos inerentes ao cultivo, bem como a restrição dos ganhos de seleção pelo melhoramento, especialmente as características quantitativas (RANGEL et al., 2002).

Diante dessa nova realidade, os esforços para o avanço do melhoramento na cultura devem estar voltados para a caracterização e busca de um conjunto diversificado de acessos, favorecendo o estudo e exploração de sua ampla diversidade, possibilitando ainda a obtenção de novas cultivares dos diferentes tipos de arrozes cultivados, efetivamente adaptadas, apresentando alto desempenho e estabilidade em diferentes condições ambientais.

#### **4.7. Correlação canônica**

O potencial produtivo de uma cultura é determinado por condições do ambiente ao qual está inserida, bem como técnicas de manejo da fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, entre outros fatores genéticos, físicos e bioquímicos. Dessa forma, ferramentas que auxiliem na compreensão e classificação das limitações são imprescindíveis quando se busca conhecer e explorar o máximo potencial das culturas.

Devido às variações genéticas entre cultivares, a determinação de um ideótipo de plantas, onde se reúnem os traços morfológicos e fisiológicos de interesse, torna possível o máximo aproveitamento do potencial da planta em diferentes ambientes através do manejo agronômico (MARTRE et al. 2015; HAGHSHENAS et al., 2020).

Métodos estatísticos como as técnicas de análises multivariadas têm-se mostrado uma ferramenta eficaz para o melhoramento de plantas, pois utilizam múltiplas variáveis, sendo

capazes de capturar a variabilidade presente no objeto de estudo, possibilitando uma visão ampla das características analisadas de forma conjunta (CRUZ et al., 2014; YANG et al., 2019; SILVA et al., 2020).

A expressão e associação de diferentes componentes que determinam a produção de uma planta podem ser mensurados através da análise de correlação canônica (ACC). A ACC é a principal técnica para redução da dimensionalidade de dados de dois grupos e/ou conjuntos de variáveis (X e Y) e caracteriza-se por determinar as correlações multivariadas, demonstrando a magnitude e o sentido, medindo a existência e intensidade das relações entre os grupos. É uma ferramenta de grande utilidade para os melhoristas, uma vez que possibilita a avaliação da interdependência entre os grupos de variáveis, permitindo assim a identificação de critérios de seleção indireta (CRUZ et al., 2014; SILVA et al. 2020).

O principal objetivo da ACC é encontrar a combinação linear no primeiro e no segundo grupo de tal maneira que a correlação entre as duas combinações seja máxima (HAIR et al., 2009). Essa relação linear entre as variáveis é definida como multicolinearidade, ou seja, corresponde ao grau em que uma variável pode ser explicada pelas outras variáveis do modelo (HAIR et al., 2009; ALIN, 2010).

Na ocorrência de colinearidade, duas variáveis estão altamente correlacionadas entre si, quando mais de duas variáveis estão fortemente relacionadas entre si, tem-se a multicolinearidade. O grau de multicolinearidade pode ser expresso através do número de condição (NC) e dá uma medida da extensão de como determinada variável afeta a outra (GONÇALVES e FRITSCHE-NETO, 2012; DORMANN et al., 2013).

No melhoramento vegetal é de fundamental importância o estudo das correlações entre os grupos de caracteres fenológicos, morfológicos, produtivos e nutricionais de culturas como o arroz, pois possibilitam o conhecimento de quanto a alteração de um caráter pode influenciar os demais, no decorrer da seleção, podendo ser utilizados como critério de seleção indireta. A ACC pode ser utilizada para aumentar a eficiência de seleção de novos genótipos com maior potencial agronômico, visto que a correlação entre a produção de grãos e seus componentes de caráter complexo é resultante da expressão e associação de diferentes componentes. (STRECK et al., 2019, HOUR et al., 2020).

#### **4.8. Divergência genética**

Dentro de uma mesma espécie os aspectos fenotípicos e genotípicos divergem, refletindo desta forma no desenvolvimento e produtividade da planta. A produtividade de determinada cultura é resultado da expressão e associação de diferentes componentes, podendo

o grau dessa associação ser determinado por meio de correlações que possibilitem identificar critérios de seleção indireta que aumentem a produtividade (GUIMARÃES et al., 2008; CARGNIN et al., 2010; STRECK et al., 2019).

A rica diversidade genética e ampla adaptação a diversos ambientes observadas na cultura do arroz fornecem recursos genéticos úteis ao melhoramento do cereal. Quando estudados em conjunto, a diversidade morfológica, fisiológica e genética das diversas cultivares podem fornecer informações e recursos imprescindíveis para o desenvolvimento de variedades de produção estável e que se adaptem bem às mais diversas condições de cultivo (HOUR et al., 2020; UDDIN e FUKUTA, 2020).

A avaliação da diversidade nas populações, a partir de informações fenotípicas e genotípicas, é indispensável para os programas de pré-melhoramento ou conservação. A quantidade de variação presente na espécie de interesse é um indicativo da base genética em que população foi formada, bem como um parâmetro de identificação para genitores adequados à obtenção de híbridos com maior efeito heterótico que por sua vez proporcionem maior segregação quando recombinados, resultando em variabilidade genética (CRUZ et al., 2020).

A divergência genética é caracterizada pela dissimilaridade entre indivíduos dentro das espécies ou entre elas, ou entre genótipos de uma população, podendo o grau de dissimilaridade ser quantificado por meio de análises estatísticas multivariadas, como: análise de componentes principais, variáveis canônicas e análise de agrupamento (REGAZZI e CRUZ, 2020). Originalmente realizada a partir de características morfológicas e agronômicas, a avaliação da diversidade genética atualmente conta com técnicas presentes na biologia molecular, onde com a utilização de marcadores moleculares, é possível a detecção da variabilidade existente diretamente em nível do DNA (CRUZ et al., 2020).

A heterose se torna mais pronunciada quanto maior for a divergência entre os genitores, pois, segundo Falconer (1987), a heterose manifestada em híbridos é função dos efeitos da dominância dos genes para o caráter em questão e do quadrado da diferença das frequências gênicas de seus genitores (MALUF et al., 1983; CRUZ et al., 2020).

A perda da variação genética em determinadas populações está associada ao aumento da endogamia em pequenas populações, devido a consanguinidade resultante do menor tamanho efetivo da população. O fluxo gênico reduzido promove consanguinidade e deriva genética e, portanto, resulta na diminuição da variação genética em espécies como o arroz (GAO e GAO, 2016).

A erosão genética, caracterizada pela perda de genes e de combinações de genes, é um traço característico das variedades de arroz que foram modificadas em seleções naturais e

artificiais, o que levou à adaptação fenotípica e diferenciação genética em determinados ambientes, como por exemplo arrozes de terras altas e de várzea. A diminuição da diversidade genética em determinada espécie está ligada a redução da capacidade natural de reagir às mudanças climáticas e aos mais diversos estresses bióticos e abióticos, sendo sua manutenção extremamente relevante na identificação de genitores que quando cruzados, possibilitem o desenvolvimento de cultivares geneticamente superiores (CARGNIN e SOUZA, 2007; CRUZ et al., 2020; UDDIN e FUKUTA, 2020).

A grande diversidade observada na cultura do arroz vem sendo mantida a partir do trabalho de pequenos agricultores e povos tradicionais que desde a antiguidade têm conservado, selecionado e melhorado as espécies, mantendo variedades adaptadas a diferentes regiões por várias gerações. As variedades tradicionais de arroz são uma importante fonte de alelos potencialmente adaptados às diversas condições de cultivo locais. A substituição dessas variedades pelas cultivares modernas de elite pode levar a perda de genótipos de interesse, levando a problemas como a erosão genética e a simplificação e empobrecimento dos sistemas produtivos, tendo um impacto expressivo sobre a agricultura familiar, cultivo por povos tradicionais e programas de melhoramento (SILVA et al., 2002; NUÑEZ; MAIA 2006; BEVILAQUA, et al. 2009).

Os programas de melhoramento, através dos Bancos de Germoplasma, vêm possibilitando ganhos genéticos na cultura do arroz e têm como objetivo reduzir a perda geral de diversidade genética vegetal, resultante da estreita base genética existente nas cultivares tradicionais devido ao uso intensivo de variedades modernas. A gradativa substituição de variedades locais por cultivares comerciais, ocorridas principalmente a partir da Revolução Verde na década de 60, levou a priorização de um grupo restrito de genitores elite, afim de preservar as melhores combinações gênicas, resultando na redução da base genética da cultura (CARVALHO et al., 2009; ROZZETO, 2019).

A conservação dos conjuntos de genes garante a base genética de uma das safras mais importantes do mundo, reduzindo a perda do germoplasma tradicional da espécie. A conservação *in situ on farm* destas sementes pelos agricultores possui um papel fundamental na conservação da diversidade genética da espécie e na segurança alimentar, pois permite a continuidade da evolução dos genótipos e as adaptações às condições edafoclimáticas da região ecogeográfica específica das comunidades tradicionais onde são cultivados (VAUGHAN; CHANG, 1992; MANDEL et al., 2011).

Visto a quantidade de acessos conservada no Brasil e a importância do cultivo no país, esperava-se que a base genética das cultivares fosse bastante diversificada. No entanto, Rabelo

(2013) verificou a genealogia das cultivares brasileiras de arroz irrigado comerciais recomendadas para o cultivo no Brasil, de 1965 a 2012, e encontrou uma base genética relativamente estreita entre as cultivares. Segundo o autor, apenas 13 ancestrais contribuíram com 70% do conjunto gênico das cultivares e que a relação entre o número de ancestrais e cultivares foi de 1,12 ancestrais/cultivar, indicando uma base genética estreita. Portanto, a identificação e utilização de novas fontes de variabilidade é fundamental para preservação dos recursos genéticos e ampliação da base genética.

A preservação e manutenção da diversidade é imprescindível, uma vez que as cultivares tradicionais normalmente apresentam características mais adaptadas às suas regiões de produção, além de características de interesse como maior resistência a doenças e ataque de pragas. Estas características presentes no material genético das sementes tradicionais são essenciais para o desenvolvimento de novas cultivares comerciais mais resistentes e também uma solução para a redução da perda de variabilidade genética na cultura (NUÑEZ; MAIA 2006, DURÃO, 2013).

## CAPÍTULO I

### CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E DE PRODUÇÃO EM TIPOS ESPECIAIS DE ARROZ

#### RESUMO

A rica diversidade genética e ampla adaptação a diversos ambientes observadas na cultura do arroz (*Oryza sativa L.*) fornecem recursos fundamentais para conservação e melhoramento do cereal. A análise de correlações canônicas pode ser utilizada para aumentar a eficiência de seleção de genótipos superiores, pois várias características são avaliadas simultaneamente. Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo comparar características morfoagronômicas e estimar a magnitude da associação e interdependência entre dois grupos de características em genótipos de tipos especiais de arroz. O ensaio foi realizado entre novembro de 2020 e abril de 2021, no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica – RJ. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram avaliados 17 genótipos, dos quais 5 de arroz branco e 11 de tipos especiais. Para a determinação das correlações canônicas foram utilizados dois grupos de variáveis, sendo o grupo I composto por quatro características morfológicas e o grupo II composto por quatro componentes da produção. Houve diferenças significativas ( $P<0,01$ ) entre os genótipos para as oito características avaliadas. O primeiro, o segundo e terceiro pares apresentaram correlações canônicas significativas a 5% de probabilidade, demonstrando que esses grupos não são independentes. A seleção de genótipos superiores, para produção, pode basear-se na escolha de plantas com maior espessura da folha bandeira, maior altura e menor ângulo da folha bandeira.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa L.*; análise multivariada; melhoramento de plantas.

## **CANONICAL CORRELATIONS BETWEEN MORPHOLOGICAL AND PRODUCTION CHARACTERISTICS IN SPECIAL TYPES OF RICE**

### **ABSTRACT**

The rich genetic diversity and wide adaptation to different environments observed in rice (*Oryza sativa* L.) provide fundamental resources for the conservation and improvement of the cereal. The analysis of canonical correlations can be used to increase the efficiency of selection of superior genotypes, since several traits are evaluated simultaneously. Given the above, this study aimed to estimate the magnitude of the association and interdependence between two groups of traits in genotypes of special types of rice. The trial was carried out between November 2020 and April 2021, at the Department of Plant Science of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica - RJ. The experimental design was randomized blocks, with four replications. 17 genotypes were evaluated, of which 5 were white rice and 11 were special types. To determine the canonical correlations, two groups of variables were used, with group I composed of four morphological characteristics and group II composed of four production components. There were significant differences ( $P<0.01$ ) between the genotypes for the eight evaluated traits. The first, second and third pairs showed significant canonical correlations at 5% probability, demonstrating that these groups are not independent. The selection of superior genotypes for production can be based on choosing plants with greater flag leaf thickness, greater height and lower flag leaf angle.

**Key words:** *Oryza sativa* L.; multivariate analysis; plant breeding.

## **1. INTRODUÇÃO**

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma alimento básico e essencial na composição de uma dieta saudável, sendo considerado fonte primária de energia e proteínas. As inúmeras variedades de arroz cultivado apresentam características diferentes e únicas de sabor, cor, aroma, nutrientes, composição química e propriedades de cozimento. Os arrozes que possuem pericarpo pigmentado, como o vermelho, estão associados a uma notável atividade antioxidante em função da presença de fitoquímicos bioativos específicos. Essas variedades contém altos níveis de ferro, aminoácidos essenciais e fibras presentes na composição dos grãos, além de uma importante fonte de proantocianidinas (vermelho), tornando-os funcionais, devido à sua capacidade antioxidante (GHASEMZADEH et al., 2018; STRECK et al., 2019; SILVA et al., 2020).

Dentro de uma mesma espécie os aspectos fenotípicos e genotípicos divergem, refletindo desta forma no desenvolvimento e produtividade da planta. A produtividade de determinada cultura é resultado da expressão e associação de diferentes componentes, podendo o grau dessa associação ser determinado por meio de correlações que possibilitem identificar critérios de seleção indireta que aumentem a produtividade (STRECK et al., 2019). Quando estudados em conjunto, a diversidade morfológica, fisiológica e genética das diversas cultivares podem fornecer informações e recursos imprescindíveis para o desenvolvimento de novas cultivares de produção estável e que se adaptem bem às mais diversas condições de cultivo (HOUR et al., 2020).

A análise de correlações canônicas é uma técnica que permite avaliar um conjunto de dados fenotípicos úteis para o conhecimento do germoplasma disponível, a magnitude e o sentido dos efeitos gênicos que controlam uma determinada característica, por demonstrarem associações entre dois grupos de variáveis, permitindo fazer inferências do quanto a alteração de determinado caráter pode influenciar os demais (CRUZ et al., 2014). A análise de correlação canônica tem sido utilizada em diferentes culturas como a soja (PEREIRA et al., 2017), capim-elefante (MENEZES et al., 2014), trigo (CARVALHO et al., 2015), quinoa (VERGARA et al., 2021), dentre outras. (CRUZ et al. 2014).

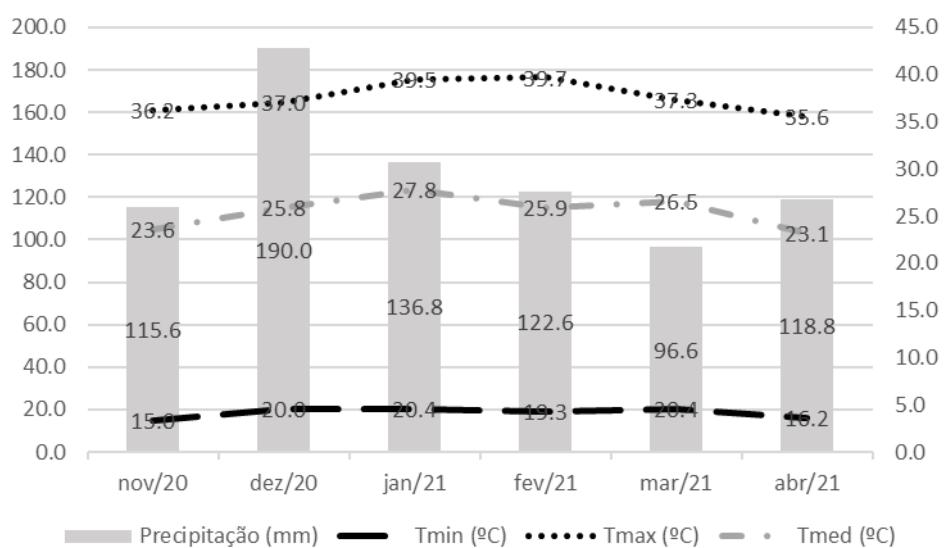
Com isso, os objetivos deste trabalho foram comparar características morfoagronômicas e estimar a magnitude da associação e interdependência entre dois grupos de características em genótipos de tipos especiais de arroz.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Implementação do ensaio experimental

O ensaio foi realizado em casa de vegetação no Setor de Grandes Culturas -Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica, RJ ( $22^{\circ} 45'S$ ,  $43^{\circ} 41'W$ ; 35 - 40 m de altitude). O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), enquadra-se no tipo Aw - Clima tropical, caracterizado por estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro, sendo julho o mês mais seco.

A semeadura foi realizada no dia 10 de novembro 2020, em vasos de 5L, com densidade de cinco sementes por vaso. Os vasos foram mantidos sob proteção em casa de vegetação recoberta por sombrite, sendo a irrigação por gotejamento utilizada de forma suplementar ao regime de chuvas. Quinze dias após a semeadura (DAS) o desbaste foi realizado, mantendo-se duas plantas por vaso. O substrato utilizado no preenchimento dos vasos foi obtido através da homogeneização de solo com textura arenosa, esterco curtido e argila vermelha na proporção 2:1:1. Adubações foram realizadas com formulado NPK 15-15-20 aos 59, 74 e 90 DAS. Os valores de temperatura mínima, média e máxima e precipitações encontram-se na Figura 1.



**Figura 1:** Temperaturas mínima, média e máxima e precipitações (mm) registradas nos meses de execução do trabalho (Seropédica, 2020/2021). Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com 4 repetições e 17 tratamentos (Figura 2). A unidade experimental foi constituída por vasos com duas plantas de arroz. As avaliações tiveram início em dezembro de 2020 quando o primeiro genótipo apresentou floração plena aos 44 DAS e se estenderam até abril de 2020 com a colheita do último genótipo.



**Figura 2:** Ensaio com 17 genótipos de tipos especiais de arroz aos 30 DAS. Seropédica - RJ, 2020.

Nesse ensaio foram avaliados 17 genótipos de arroz (Figura 2; Tabela 1):

**Tabela 1:** Identificação dos 17 genótipos de arroz e suas respectivas procedências (Seropédica, RJ, 2020/2021).

Número	Código	Tipo	Procedência
1	IAC 201	Branco	Instituto Agronômico de Campinas
2	BRS Esmeralda	Branco	Embrapa
3	IAC 500	Aromático	Instituto Agronômico de Campinas
4	IAC 109	Branco	Instituto Agronômico de Campinas
5	ENA AR1901	Cateto	Palhoça – SC
6	ENA AR1902	Arbóreo	Palhoça – SC
7	ENA AR2001	Vermelho	Seropédica - RJ
8	ENA AR1903	Carolina Gold	Rio de Janeiro - RJ
9	ENA AR1904	Duborskian	Rio de Janeiro - RJ
10	ENA AR2002	Amarelo agulha	Porto União - SC
11	ENA AR2003	Cateto	Palhoça – SC
12	ENA AR1905	Vermelho aromático	Rio de Janeiro - RJ
13	ENA AR1601	Vermelho	Seropédica - RJ
14	ENA AR1602	Vermelho	Virgínia - MG
15	BRS 901	Vermelho	Embrapa (Teresina – PI)
16	BRS 902	Vermelho	Embrapa (Teresina – PI)
17	ENA AR1906	Blue Bonnet	Rio de Janeiro - RJ

## 2.2. Características avaliadas

Foram avaliadas as seguintes características morfoagronômicas (BIOVERSITY INTERNATIONAL, 2007):

- Comprimento da folha bandeira (CFB, em cm):* em duas folhas de dois colmos tomados ao acaso, foi medido o comprimento da folha bandeira da lígula até a ponta da lâmina da folha, após a antese.
- Espessura da folha bandeira (EFB, em mm):* foram tomadas duas folhas de dois colmos ao acaso que tiveram a porção mais larga da folha bandeira medida;

- c) *Ângulo da folha bandeira (ANG)*: medida do ângulo de ligação entre a lâmina da folha bandeira (última a surgir no colmo) e o eixo da panícula principal de duas amostras tomadas ao acaso que foram avaliadas na antese (abertura dos botões florais);
- d) *Altura da planta (ALT, em cm)*: distância da superfície do solo até a extremidade da panícula do perfilho mais alto, em amostragem de duas plantas, a partir do enchimento dos grãos;
- e) *Número de perfilhos viáveis (NPV)*: foi contabilizado o número de perfilhos com pelo menos uma espigueta viável;
- f) *Porcentagem de espiguetas férteis (%EF)*: duas panículas tomadas ao acaso, onde foi obtida a relação entre o número de espiguetas férteis, com grãos cheios, e o total de espiguetas em cada panícula;
- g) *Massa de cem grãos (MCG, em g)*: em duas panículas tomadas ao acaso em cada parcela foi feita a contagem de cem grãos, a 13% de umidade, e posterior pesagem para determinação do peso médio;
- h) *Produção (PROD, em g.planta<sup>-1</sup>)*: foi feita a pesagem da produção total de grãos em casca de cada planta, a 13% de umidade;
- i) *Floração plena (FP)*: dias transcorridos entre a data efetiva de semeadura (quando as sementes são umedecidas ou pré-embebidas pela primeira vez) e a data em que 80% das plantas estão floridas;
- j) *Ciclo cultural (maturação, CC)*: dias transcorridos do plantio efetivo ao ponto de colheita, isto é, a data em que 80% dos grãos nas panículas estão completamente maduros.

Ao final do ciclo os grãos foram colhidos manualmente e submetidos à secagem até atingirem 13% de umidade.

### **2.3. Análises genético-estatísticas**

Após a análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott ( $P<0,01$ ). Foi realizado o diagnóstico de multicolinearidade e os dados submetidos a análise de correlação canônica. Para a determinação das correlações canônicas foram utilizados dois grupos de variáveis, sendo o grupo I composto por características morfológicas: comprimento da folha bandeira (CFB), espessura da folha bandeira (EFB), ângulo da folha bandeira (ANG) e altura da planta (ALT) e o grupo II composto por componentes da produção: número de perfilhos viáveis (NPV), porcentagem de espiguetas férteis (%EF), massa de cem grãos (MCG) e produção (PROD). A verificação da significância entre os grupos de caracteres foi avaliada

com base na estatística qui-quadrado (CRUZ et al. 2012). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa computacional Genes (CRUZ, 2013).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Na Tabela 2 estão os valores médios de floração plena, ciclo cultural e de três características morfológicas avaliadas em dezessete genótipos de arroz. As cultivares de arroz são classificadas quanto ao ciclo em precoces (< 120 dias); médias (121 a 135 dias); semi-tardias (136 a 150 dias) e tardias (acima de 150 dias). Nas condições edafoclimáticas em que o experimento foi conduzido, os genótipos de arroz branco e de tipos especiais apresentaram variações de ciclo que vão do precoce ao tardio.

O genótipo ENA AR 1905 atingiu a floração plena aos 51 dias após o plantio, seguido do genótipo ENA AR1904 53 dias. Os genótipos IAC 109 (111 dias) e o ENA AR1906 (112) foram os que apresentaram maior tempo para atingir a data em que 80% das plantas estão floridas. O menor ciclo cultural foi observado nos genótipos IAC 201, ENA AR 1904, ENA AR 2002 e ENA AR 1905 (119 dias), sendo classificados como precoce. Os genótipos IAC109, BRS 902 e ENA AR1906 (158 dias) apresentaram o maior número de dias transcorridos do plantio a colheita e são classificados como tardios.

A data de semeadura pode influenciar da duração do ciclo de cultivares de arroz. De acordo com Freitas et al. (2006) cultivares com ciclos contrastantes quando semeadas em épocas distintas, possuem variação no número de dias após a emergência para apresentarem um certo número de folhas expandidas em mesmo estádio fenológico. À medida que a semeadura é retardada, ocorre redução do ciclo total da cultura.

Genótipos precoces normalmente apresentam menores porcentagens de redução de produção de grãos em condições ambientais adversas, como altas temperaturas e déficit hídrico. Porém, a redução do ciclo total pelo melhoramento deve ser realizada de forma que não afete a produção da cultivar. De acordo com Streck et al. (2006) a redução do ciclo pode reduzir drasticamente o número de folhas no colmo principal. A redução da área foliar também pode afetar a acumulação de reservas de fotoassimilados no colmo, que seriam translocados para os grãos.

**Tabela 2:** Valores médios de 5 características avaliadas em 17 genótipos de arroz. Seropédica - RJ, 2020/2021.

Genótipo	FP (dias)	CC (dias)	CFB	EFB	ANG
IAC 201	67	119	58,25 a	17,67 b	3,37 b
BRS Esmeralda	75	135	49,20 b	16,63 b	2,67 c
IAC 500	77	125	37,42 c	20,14 a	2,75 c
IAC 109	112	158	19,05 e	12,09 d	2,00 c
ENA AR1901	75	123	43,42 d	20,23 a	3,25 b
ENA AR1902	94	123	32,2 d	20,45 a	2,62 c
ENA AR2001	93	125	25,11 d	13,79 c	2,69 c
ENA AR1903	91	133	27,77 d	14,96 c	3,37 b
ENA AR1904	53	119	48,2 b	14,45 c	4,62 a
ENA AR2002	76	119	39,52 c	18,52 b	2,50 c
ENA AR2003	67	129	48,92 b	18,18 b	4,00 a
ENA AR1905	51	119	27,30 d	11,28 d	3,75 b
ENA AR1601	102	142	24,17 d	13,67 c	2,62 c
ENA AR1602	98	129	22,75 d	12,84 d	1,69 c
BRS 901	92	133	15,44 e	12,73 d	2,87 c
BRS 902	108	158	18,41 e	11,72 d	2,81 c
ENA AR1906	111	158	28,63 d	15,52 c	3,00 c
Média	-	-	33,28	15,58	2,80
CV (%)	-	-	14,34	7,30	20,83

FP - floração plena; CC - ciclo cultural; CFB: Comprimento da folha bandeira, em cm; EFB: Espessura da folha bandeira, em mm; ANG: Ângulo da folha bandeira. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade.

Observa-se que houve diferenças significativas ( $p<0,01$ ) para todos os dez caracteres avaliados, demonstrando variabilidade entre os genótipos avaliados (Tabelas 2 e 3). A estimativa do erro experimental em relação à média geral do ensaio é expressa através do coeficiente de variação (CV), onde quanto menor a estimativa do CV, maior será a precisão experimental e vice-versa. Características quantitativas por apresentarem alta influência das condições ambientais (STRECK et al., 2019), tendem a apresentar altos valores de CV. Os valores de CV no presente estudo variaram de 2,8%, para a característica ângulo da folha bandeira (ANG), até 27,99%, para a característica número de perfilhos viáveis (NPV).

A cultivar IAC201 apresentou o maior comprimento da folha bandeira (CFB), com valor médio de 58,25 cm. O genótipo ENA AR1904 maior ângulo da folha bandeira (ANG), com

valor de 4,62°, juntamente com o genótipo ENA AR2003, com valor de 4,0°. Os genótipos IAC 500, ENA AR1901 e ENA AR1901 apresentaram os maiores valores médios para a espessura da folha bandeira (EFB) com 20,14; 20,23; e 20,45 mm, respectivamente (Tabela 2). As estimativas de correlações fenotípicas indicam que houve tendência dos genótipos com maior ANG apresentarem maior CFB, sendo a correlação entre as duas características de 0,66 ( $P<0,01$ ). Porém, houve correlação fenotípica negativa de -0,76 ( $P<0,05$ ) entre as características EFB e porcentagem de espiguetas férteis (%EF) (Tabela 4).

Plantas com arquitetura tradicional, ou seja, porte alto, folhas longas, largas e decumbentes tem potencial genético de produção menor que plantas de arquitetura moderna. De acordo com Santos et al. (2017) em condições de plantio de arroz irrigado por inundação, onde as cultivares possuem arquitetura moderna e alto potencial produtivo, houve correlação positiva entre perfilhamento e os índices área foliar específica, biomassa da parte aérea e o índice de área foliar e, com isso, o aumento da produtividade. Neste sistema de produção de arroz as plantas estão menos sujeitas as condições adversas, como a de déficit hídrico em relação ao sistema de sequeiro.

Os genótipos ENA AR1903 e ENA AR1602 apresentaram as maiores alturas de plantas (ALT), com valores de 125,17 e 118,84 cm, respectivamente (Tabela 3). Essa característica é altamente influenciada pelas condições de ambiente. Lopes et al. (2017) observaram que as doses de nitrogênio promovem o aumento na altura das plantas de dois cultivares de arroz irrigado (Irga 424 e Epagri 116), sem, portanto, resultar em acamamento de plantas. Em Sangoi et al. (2014) o cv. Epagri 106 apresentou a menor estatura nos dois locais de avaliação (Itajaí e Pouso Redondo, Santa Catarina). Os autores relacionaram este resultado a maior precocidade da cultivar. Os genótipos ENA AR2001 e ENA AR1905 que apresentaram o maior número de perfilhos viáveis (NPV) estiveram entre os genótipos com menores ALT, 73,10 e 77,80 cm, respectivamente. No entanto, não houve correlação fenotípica significativa entre as duas características (Tabela 4).

**Tabela 3:** Valores médios de 5 características avaliadas em 17 genótipos de arroz. Seropédica - RJ, 2020/2021.

Genótipo	ALT	NPV	%EF	MCG	PROD
IAC 201	102,71 b	14,00 b	65,76 b	2,38 e	15,12 b
BRS Esmeralda	85,75 c	7,67 c	33,30 d	2,42 e	8,50 c
IAC 500	72,50 d	14,50 b	7,28 e	2,68 d	7,04 c
IAC 109	83,17 c	16,50 b	84,40 a	2,71 d	21,33 a
ENA AR1901	83,87 c	15,50 b	51,71 c	4,29 a	8,62 c
ENA AR1902	67,61 d	11,12 c	12,60 e	2,45 e	6,12 c
ENA AR2001	73,10 d	27,25 a	69,59 b	2,04 e	27,00 a
ENA AR1903	12,17 a	11,87 c	81,61 a	2,93 d	22,72 a
ENA AR1904	100,49 b	15,87 b	84,12 a	3,32 c	15,85 b
ENA AR2002	85,21 c	12,62 c	53,96 c	2,94 d	10,06 c
ENA AR2003	108,80 b	8,83 c	66,02 b	3,65 b	8,50 c
ENA AR1905	77,80 d	25,37 a	68,65 b	2,64 d	10,10 c
ENA AR1601	106,12 b	19,00 b	66,17 b	2,38 e	16,76 b
ENA AR1602	118,84 a	15,62 b	90,43 a	2,80 d	23,26 a
BRS 901	87,94 c	16,25 b	73,26 a	2,39 e	19,90 a
BRS 902	68,37 d	10,00 c	82,12 a	2,76 d	12,82 c
ENA AR1906	109,90 b	11,17 c	77,04 a	3,16 c	12,17 c
Média	91,61	14,89	62,83	2,82	14,45
CV (%)	8,96	27,99	13,75	8,64	27,27

ALT: Altura da planta, em cm; NPV: Número de perfilhos viáveis; %EF: Porcentagem de espiguetas férteis; MCG: Massa de cem grãos, em g; PROD: produção, em g.planta<sup>-1</sup>. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade.

Verificou-se correlação fenotípica negativa entre as características EFB e produção por planta (PROD) de -0,64. Porém, foi observada correlação fenotípica positiva entre porcentagem de espiguetas férteis (%EF) e PROD de 0,69 (Tabela 4). Alvarez et al. (2012), analisando o crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas, verificaram que a maior produtividade da cultura está relacionada mais com a fertilidade das espiguetas e massa de mil grãos, do que com o índice de área foliar. Porém, no presente estudo não foi observada correlação fenotípica significativa entre massa de cem grãos (MCG) e PROD.

Os genótipos IAC 109, ENA AR2001, ENA AR1903, ENA AR1602 e BRS 901 apresentaram maior PROD com valores de 21,33; 27,00; 22,72; 23,26 e 19,90 g planta<sup>-1</sup>,

respectivamente. Destes cinco genótipos, três são do tipo vermelho. Os genótipos de arroz vermelho em condições de sequeiro apresentam produtividade semelhante a cultivares de arroz branco, no entanto, em condições de cultivo irrigado apresentam produtividade menor quando comparadas a cultivares recomendadas para esse sistema de produção (MENEZES et al., 2012). Este resultado não corrobora com o que foi observado no presente estudo em relação a produção por planta, pois a cultivar IAC 109 de arroz branco é recomendada para o cultivo irrigado por inundação. Com exceção do genótipo ENA AR2001 os outros quatro genótipos apresentaram maior %EF. O genótipo ENA AR1901, do tipo cateto, apresentou maior (MCG) com valor de 4,29 g, porém esteve entre os valores mais baixos de %EF e PROD (Tabela 3).

**Tabela 4:** Matriz de correlações fenotípicas entre as características morfológicas (grupo I) e os componentes da produção (grupo II) em 17 genótipos de arroz (Seropédica, RJ, 2020/2021).

	CFB	ANG	ALT	NPV	%EF	MCG	PROD
EFB	0,47 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>	-0,76 **	0,36 <sup>ns</sup>	-0,64 **
CFB		0,66 **	-0,44 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>
ANG			0,16 <sup>ns</sup>	-0,00 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>
ALT				-0,21 <sup>ns</sup>	0,52 *	0,25 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>
NPV					-0,20 <sup>ns</sup>	-0,32 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>
%EF						0,11 <sup>ns</sup>	0,69 **
MCG							-0,36 <sup>ns</sup>

EFB: Espessura da folha bandeira, em mm; CFB: Comprimento da folha bandeira, em cm; ANG: Ângulo da folha bandeira. ALT: Altura da planta, em cm; NPV: Número de perfilhos viáveis; %EF: Porcentagem de espiguetas férteis; MCG: Massa de cem grãos, em g; PROD: produção, em g.planta<sup>-1</sup>. <sup>ns</sup> não significativo, \*\* e \* significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Nenhum dos genótipos com maior PROD apresentou época de floração inferior a 90 dias, ou seja, com floração em fevereiro quando a temperatura média reduziu a 25,9°C quando comparada a temperatura média do mês de janeiro de 27,8°C (Figura 1). A luz e a temperatura afetaram o rendimento do arroz principalmente através de seus efeitos sobre o número total e de grãos e sua fertilidade (ZHOU et al., 2006). Em estudo realizado por XU et al. (2020), o alelo Hap2 esteve presente em 93,9% dos acessos de regiões com temperatura média anual acima de 29 °C. Em contrapartida, o alelo o Hap1 esteve presente em 96,1% dos de regiões com temperatura média anual abaixo de 18 °C. Distribuição geográfica semelhante foi observada ao traçar a distribuição do alelo SLG1-Hap1/Hap2 em germoplasmas de regiões de

temperatura média. Esses resultados sugerem que Hap1 e Hap2 do SLG1 podem ter potencial contribuição para adaptações do arroz a diferentes temperaturas.

Quando as variáveis estão correlacionadas entre si diz-se que ocorre a presença de multicolinearidade. A multicolinearidade em níveis considerados moderados a severos, as variâncias associadas a certos estimadores podem assumir valores demasiadamente elevados, gerando resultados inapropriados (CRUZ et al. 2014). O NC no presente estudo foi de 68,91, indicando multicolinearidade fraca.

A correlação canônica tem como objetivo descrever e prever a relação entre dois conjuntos de variáveis (NAYAK et al., 2018). Foi verificada significância de 5% de probabilidade para os três primeiros pares canônicos pelo teste do X<sup>2</sup>. De acordo com os coeficientes do primeiro par o aumento da EFB determinou o aumento da MCG e PROD e a redução de %EF e NPV, sendo de maior intensidade para a redução da %EF. Plantas com maior EFB, tendem a apresentar menores %EF e NPV, porém maior MCG e PROD. Em relação ao segundo par canônico o aumento da ALT determinou também o aumento da MCG e da PROD e a redução de %EF e NPV, sendo de maior intensidade para a redução da PROD. Em TANG et al. (2021), as correlações do rendimento com a planta altura e o índice de área foliar foram relativamente altos, indicando que essas duas características tiveram um impacto maior no rendimento.

De acordo com o terceiro par canônico foi possível observar que genótipos com maior ANG tenderam a apresentar menor PROD. Isso provavelmente está relacionado com a captação de energia luminosa. Genótipos com maior ANG tenderam a maior MCG. Isso está relacionado aos genótipos de arroz vermelho e cateto avaliados apresentarem arquitetura mais tradicional. No entanto, três genótipos de arroz vermelho estiveram entre os que apresentam maior PROD, mas provavelmente devido à alta %EF (Tabela 3). O maior ANG teve menor efeito sobre o NPV (Tabela 5).

**Tabela 5:** Correlações canônicas e pares canônicos estimados entre características morfológicas (grupo I) e componentes da produção (grupo II) em 17 genótipos de arroz. Seropédica - RJ, 2020/2021.

Caracteres	Pares Canônicos			
	1º	2º	3º	4º
CFB	-0,12411	0,10257	-0,21356	1,58403
EFB	0,97883	0,35254	0,20388	-0,59716
ANG	0,03101	-0,58143	0,99485	-0,80427
ALT	-0,26086	0,91482	0,35938	-0,21691
NPV	-0,893	-0,94346	0,15067	0,64896
%EF	-1,1048	-0,54922	0,61707	0,86485
MCG	0,44453	0,46985	0,68817	-0,84502
PROD	0,2285	1,33511	-0,59413	-1,0642
R	0,9321*	0,6442*	0,5449*	0,1180 <sup>ns</sup>

CFB: Comprimento da folha bandeira, em cm; EFB: Espessura da folha bandeira, em mm; ANG: Ângulo da folha bandeira. ALT: Altura da planta, em cm; NPV: Número de perfilhos viáveis; %EF: Porcentagem de espiguetas férteis; MCG: Massa de cem grãos, em g; PROD: produção, em g.planta<sup>-1</sup>. ns não significativo, \* significativos a 5% de probabilidade pelo teste do qui-quadrado.

#### 4.CONCLUSÕES

Os genótipos IAC 109, ENA AR2001, ENA AR1903, ENA AR1602 e BRS 901 apresentaram maior produção por planta.

Houve correlação fenotípica negativa entre a produção por planta e espessura da folha bandeira e correlação positiva entre a produção por planta e porcentagem de espiguetas férteis.

A maior espessura da folha bandeira e altura da planta determinaram a produção de menor número de perfilhos viáveis e porcentagem de espiguetas férteis e maior massa de cem grãos e produção por planta.

## CAPÍTULO II

### DIVERGÊNCIA GENÉTICA EM TIPOS ESPECIAIS DE ARROZ COM BASE EM CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS E MULTICATEGÓRICAS

#### RESUMO

A estimativa da divergência genética entre genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.) baseada em descritores morfológicos é uma das formas de se prever a variabilidade genética. Estimativas de distância entre genótipos permitem a identificação de genitores adequados à obtenção de híbridos com maior efeito heterótico. A contribuição relativa dos caracteres de interesse analisados indica o grau de dissimilaridade e podem ser quantificadas por meio de modelos biométricos. Assim, o objetivo deste estudo foi estimar a divergência genética entre genótipos de tipos especiais de arroz com base em caracteres quantitativos e qualitativos. O ensaio foi realizado entre novembro de 2020 e abril de 2021 em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica RJ. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Foram avaliados 17 genótipos, dos quais 5 de arroz branco e 11 de tipos especiais. Para as análises estatísticas foram utilizadas 26 variáveis entre características morfológicas e componentes da produção, sendo, 19 consideradas quantitativas e 7 qualitativas. A estimação da matriz de distância genética foi realizada com base no algoritmo de Gower. Os agrupamentos dos genótipos foram obtidos pelos métodos de Otimização de Tocher e o Hierárquico de UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average*). A correlação cofenética, que indica o ajuste entre as matrizes originais de distâncias com as distâncias da matriz cofenética, foi de 0,68. O dendrograma gerado estabeleceu nove grupos, sendo que dois grandes grupos juntos concentraram cerca de 47% dos genótipos. O método de agrupamento de Tocher dividiu os genótipos em oito grupos heteróticos, sendo que o maior agrupamento foi constituído por sete genótipos. A técnica de análise de características quantitativas e qualitativas é uma alternativa viável para conhecimento da divergência entre genótipos de arroz, mostrando que no presente estudo houve variabilidade genética.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; análise de agrupamento; variabilidade genética.

## **GENETIC DIVERGENCE IN SPECIAL TYPES OF RICE BASED ON QUANTITATIVE AND MULTI-CATEGORY CHARACTERISTICS**

### **ABSTRACT**

The estimation of genetic divergence between rice (*Oryza sativa L.*) genotypes based on morphological descriptors is one of the ways to predict genetic variability. Estimates of distance between genotypes allow the identification of suitable parents to obtain hybrids with greater heterotic effect. The relative contribution of the analyzed characters of interest indicates the degree of dissimilarity and can be quantified through biometric models. Thus, the aim of this study was to estimate the genetic divergence between genotypes of special types of rice based on quantitative and qualitative traits. The experiment was carried out between November 2020 and April 2021 in a greenhouse at the Department of Plant Science of the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica RJ. The experimental design was randomized blocks, with four replications. 17 genotypes were evaluated, of which 5 were white rice and 11 were special types. For the statistical analysis, 26 variables were used between morphological characteristics and production components, 19 of which were considered quantitative and 7 qualitative. The estimation of the genetic distance matrix was performed based on the Gower algorithm. The groupings of genotypes were obtained by the Tocher Optimization methods and the Hierarchical UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average*). The cophenetic correlation, which indicates the fit between the original distance matrices and the cophenetic matrix distances, was 0.68. The generated dendrogram established nine groups, and two large groups together concentrated about 47% of the genotypes. The Tocher grouping method divided the genotypes into eight heterotic groups, with the largest grouping consisting of seven genotypes. The technique of analysis of quantitative and qualitative characteristics is a viable alternative for understanding the divergence between rice genotypes, showing that in the present study there was genetic variability.

**Key words:** *Oryza sativa L*; cluster analysis; genetic variability.

## **1. INTRODUÇÃO**

A variabilidade genética observada dentro das diferentes espécies de *O. sativa*, alcançada mediante o processo evolutivo e de domesticação ao qual foram submetidas, proporciona um amplo escopo para o melhoramento da cultura, onde suas inúmeras variações se adaptaram a diferentes agroecossistemas (XIA et al., 2014; UDDIN e FUKUTA, 2020).

A indicação de cultivares de arroz requer estudos de adaptação, uma vez que a interação genótipos x ambiente pode alterar o potencial de desenvolvimento e produção das plantas. Os efeitos resultantes dessa interação podem ser atenuados através da identificação de genótipos que se adequem as diferentes condições de cultivo, onde, variedades com maior adaptabilidade e/ou estabilidade, permitam a expressão do desempenho produtivo esperado (BORÉM e MIRANDA, 2013; CONDÉ et al., 2021).

A avaliação da diversidade genética dentro e entre grupos de populações, a partir de características fenotípicas e genotípicas, é indispensável para os programas de pré-melhoramento ou conservação, dado que possibilita a identificação e monitoramento do germoplasma disponível, permitindo o uso racional de recursos e também a antecipação de potenciais genitores com o máximo de divergência, buscando elevar as chances de obtenção de ganhos genéticos superiores nas gerações segregantes (CRUZ et al., 2020; SINGH et al., 2020; CORDEIRO et al., 2021).

O desenvolvimento de genótipos de rendimento estável é um dos objetivos do melhoramento de plantas. Características qualitativas e quantitativas diferem quanto a resposta de participação dos efeitos do ambiente. A adaptação fenotípica devido ao respectivo ambiente de cultivo ao qual a planta está inserida ocorre com maior intensidade em caracteres com herança quantitativa, pois são controlados por elevado número de genes, e podem ser explorados fornecendo diferentes condições de cultivo. Já as de herança qualitativa sofrem menor participação dos efeitos ambientais, desta forma, a escolha de genitores para gerações segregantes com variabilidade genética deve ser baseada num ideótipo do que se deseja na seleção (STRECK et al., 2018; UDDIN e FUKUTA, 2020).

A divergência genética entre genótipos de uma população pode ser estimada por diversas medidas de dissimilaridade. As análises estatísticas multivariadas como as de agrupamento e a distância de Gower, têm sido amplamente utilizadas em diferentes espécies, especialmente no melhoramento do arroz, pois leva em consideração para estimativa da divergência genética caracteres qualitativos e quantitativos (REGAZZI e CRUZ, 2020).

Dentre as estratégias para potencializar e diversificar a produção da cultura, a avaliação de novas perspectivas como o cultivo de tipos especiais de arroz é indispensável, podendo ser

uma excelente opção de cultivo ao grão tradicional, especialmente para a agricultura familiar e pequenos produtores, visto que trata-se de uma atividade que apresenta um potencial elevado de renda, uma vez que esses arrozes possuem alto valor agregado, sendo voltados para mercados específicos e por atender um nicho de mercado em expansão.

Com isso, o objetivo deste estudo foi estimar a divergência genética entre genótipos de tipos especiais de arroz com base em caracteres quantitativos e qualitativos, utilizando a distância de Gower.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Implementação do ensaio experimental**

O ensaio foi realizado em casa de vegetação no Setor de Grandes Culturas - Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica, RJ ( $22^{\circ} 45'S$ ,  $43^{\circ} 41'W$ ; 35 - 40 m de altitude). O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), enquadra-se no tipo Aw - Clima tropical, caracterizado por estação chuvosa no verão, de novembro a abril, e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro, sendo julho o mês mais seco.

A semeadura foi realizada no dia 10 de novembro 2020, em vasos de 5L, com densidade de cinco sementes por vaso. Os vasos foram mantidos sob proteção em casa de vegetação recoberta por sombrite, sendo a irrigação por gotejamento utilizada de forma suplementar ao regime de chuvas. Quinze dias após a semeadura (DAS) o desbaste foi realizado, mantendo-se duas plantas por vaso. O substrato utilizado no preenchimento dos vasos foi obtido através da homogeneização de solo com textura arenosa, esterco curtido e argila vermelha na proporção 2:1:1. Adubações complementares foram realizadas com formulado NPK 15-15-20 aos 59, 74 e 90 DAS.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições e dezessete tratamentos. A unidade experimental foi constituída por vasos com duas plantas de arroz. As avaliações tiveram início em dezembro de 2020 quando o primeiro genótipo apresentou floração plena aos 44 DAS e se estenderam até abril de 2020 com a colheita do último genótipo.

Nesse ensaio foram avaliados 17 genótipos de arroz (Tabela 1):

**Tabela 1:** Identificação dos 17 genótipos de arroz e suas respectivas procedências. Seropédica - RJ, 2020.

Número	Código	Tipo	Procedência
1	IAC 201	Brando	Instituto Agronômico de Campinas
2	BRS Esmeralda	Brando	Embrapa
3	IAC 500	Aromático	Instituto Agronômico de Campinas
4	IAC 109	Brando	Instituto Agronômico de Campinas
5	ENA AR1901	Cateto	Palhoça – SC
6	ENA AR1902	Arbóreo	Palhoça – SC
7	ENA AR2001	Vermelho	Seropédica – RJ
8	ENA AR1903	Carolina Gold	Rio de Janeiro – RJ
9	ENA AR1904	Duborskian	Rio de Janeiro – RJ
10	ENA AR2002	Amarelo agulha	Porto União – SC
11	ENA AR2003	Cateto	Palhoça – SC
12	ENA AR1905	Vermelho aromático	Rio de Janeiro - RJ
13	ENA AR1601	Vermelho	Seropédica - RJ
14	ENA AR1602	Vermelho	Virgínia – MG
15	BRS 901	Vermelho	Embrapa (Teresina – PI)
16	BRS 902	Vermelho	Embrapa (Teresina – PI)
17	ENA AR1906	Blue Bonnet	Rio de Janeiro - RJ

## 2.2. Características avaliadas

Foram avaliadas as seguintes características morfoagronômicas (BIOVERSITY INTERNATIONAL, 2007):

### 2.2.1. Características morfológicas qualitativas discretas

a.2) *Resistência ao acamamento (RA):* graus de acamamento (plantas curvadas ou caídas) observados na maturação;

b.2) *Postura da folha bandeira (PFB):* observação tardia em duas folhas de dois colmos tomados ao acaso do ângulo de ligação entre a lâmina da folha bandeira e o eixo da panícula;

c.2) *Senescênci*a (SE): na colheita foi avaliada a capacidade de retenção da coloração verde nas folhas abaixo da folha bandeira;

d.2) *Postura do eixo principal da panícula (PEP)*: em duas panículas tomadas ao acaso, observou-se a postura em relação ao eixo principal da planta, próximo à maturação;

e.2) *Postura das ramificações da panícula (PRP)*: em duas panículas tomadas ao acaso, avaliou-se a compacidade da panícula de acordo com sua forma, ângulo das ramificações primárias e densidade de espiguetas, próximo à maturação;

f.2) *Facilidade de debulha (FD)*: em duas panículas tomadas ao acaso a panícula foi ser apertada com a mão, aplicando leve pressão com a palma da mão e dos dedos, avaliando a porcentagem de grãos removidos nesta ação.

## **2.2.2. Características morfoagronômicas quantitativas contínuas**

a) *Comprimento da lâmina da folha (CL, em cm)*: duas folhas de dois colmos tomados ao acaso a penúltima folha, ou seja, a folha mais alta abaixo da bandeira, foram medidas da lígula até a extremidade da folha, após a antese;

b) *Espessura da lâmina da folha (ELF, em mm)*: foram tomadas duas folhas de dois colmos ao acaso, onde a penúltima folha, ou seja, a folha mais alta abaixo da bandeira, teve sua porção mais larga medida;

c) *Comprimento da folha bandeira (CFB, em cm)*: em duas folhas de dois colmos tomados ao acaso, foi medido o comprimento da folha bandeira da lígula até a ponta da lâmina da folha, após a antese.

d) *Espessura da folha bandeira (EFB, em cm)*: foram tomadas duas folhas de dois colmos ao acaso que tiveram a porção mais larga da folha bandeira medida;

e) *Ângulo da folha bandeira (ANG)*: medida do ângulo de ligação entre a lâmina da folha bandeira (última a surgir no colmo) e o eixo da panícula principal de duas amostras tomadas ao acaso que foram avaliadas na antese (abertura dos botões florais);

f) *Comprimento do colmo (CMC, em cm)*: em dois colmos tomados ao acaso, foram medidos do nível do solo à base da panícula, sete dias após a antese;

g) *Diâmetro no internódio basal (DIB, em mm)*: em duas plantas, foi medido o diâmetro externo da porção basal do colmo principal.

h) *Comprimento da panícula (CP, em cm)*: em duas panículas tomadas ao acaso, foi medido o comprimento do eixo principal da base à ponta da panícula, sete dias após a antese ou quando as panículas se apresentaram completamente expostas;

- i) *Altura da planta (ALT, em cm)*: distância da superfície do solo até a extremidade da panícula do perfilho mais alto, em amostragem de duas plantas, a partir do enchimento dos grãos;
- j) *Comprimento do (espigueta) (CG, em mm)*: com auxílio de paquímetro digital, em uma amostra média de dez grãos, foi medida a distância da base à ponta da lema ou pálea (a mais longa);
- k) *Largura do grão (espigueta) (LG, em mm)*: com auxílio de paquímetro digital, em uma amostra média de dez grãos, foi medida a distância entre a lema fértil e a pálea no ponto mais largo;
- l) *Comprimento da cariopse (CC em mm)*: com auxílio de paquímetro digital, em uma amostra média de dez grãos sem casca, foi medida a distância da base à ponta da cariopse;
- m) *Largura da cariopse (LC, em mm)*: com auxílio de paquímetro digital, em uma amostra média de dez grãos sem casca, foi medida a medida de maior comprimento da cariopse.
- n) *Número de colmos (NC)*: foi realizada a contagem do número total de perfilhos (férteis e estéreis) em duas plantas próximo à maturação.
- o) *Número de perfilhos viáveis (NPV)*: foi contabilizado o número de perfilhos com pelo menos uma espigueta viável;
- p) *Número de espiguetas por panícula (NEP)*: contagem de espiguetas em duas panículas tomadas ao acaso, a fim de obter-se a média de espiguetas por panícula;
- q) *Porcentagem de espiguetas férteis (%EF)*: duas panículas tomadas ao acaso, onde foi obtida a relação entre o número de espiguetas férteis, com grãos cheios, e o total de espiguetas em cada panícula;
- r) *Massa de cem grãos (MCG, em g)*: em duas panículas tomadas ao acaso em cada parcela foi feita a contagem de cem grãos, a 13% de umidade, e posterior pesagem para determinação do peso médio;
- s) *Produção (PROD, em g.planta<sup>-1</sup>)*: foi feita a pesagem da produção total de grãos em casca de cada planta, a 13% de umidade;

Ao final do ciclo os grãos foram colhidos manualmente e submetidos à secagem até atingirem 13% de umidade.

### **2.3. Análises genético-estatísticas**

Após a análise de variância, as médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott ( $P<0,05$ ) (Anexo). Para a avaliação da divergência genética utilizando características quantitativas e qualitativas foram utilizadas a moda para as características qualitativas e a distância de Gower. Os métodos de agrupamentos de Otimização de Tocher e Hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method using Arithmetic Averages*). As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa computacional Genes (CRUZ, 2013).

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As medidas de dissimilaridade genética, utilizando-se a distância de Gower para análise conjunta de todas as características morfoagronômicas (Tabela 2), apresentaram magnitude de 0,13 a 0,48. Identificou-se que os genótipos BRS Esmeralda e ENA AR1905 foram os mais distantes, com magnitude 0,4863, bem como IAC 500 e ENA AR1904, com magnitude 0,4823. Valores altos de dissimilaridade também foram encontrados para as combinações entre ENA AR1902 x ENA AR1904 (0,47), IAC 201 x ENA AR1905 (0,46) e IAC 201 x ENA AR1602 (0,46), indicando alta divergência genética entre esses genótipos.

O maior valor de dissimilaridade genética entre os cultivares BRS Esmeralda e ENA AR1905, deve-se ao fato de serem contrastantes em algumas das principais características morfoagronômicas, onde ENA AR1905, apresentou médias superiores para %EF (68,65%) e NPV (25,37) e postura da folha bandeira (PFB) decumbente, postura do eixo principal da panícula (PEP) levemente inclinada e postura das ramificações da panícula (PRP) espalhada, enquanto BRS Esmeralda apresentou as maiores médias para as características CL (55,83 cm) e ELF (12,75 cm), CP (26,10 cm) e CG (9,83 mm), PFB horizontal, PEP semi-perpendicular e PRP ereta. BRS Esmeralda é uma cultivar de arroz branco recomendada para o cultivo em sequeiro, enquanto ENA AR1905 é um genótipo de arroz vermelho. As diferenças observadas podem ser devido a este fator. Porém, foi observado que BRS Esmeralda, mesmo sendo uma cultivar de arroz branco, apresentou resistência ao acamamento (RA) fraca e facilidade de debulha (FD) intermediária e ENA AR1905 RA muito forte e FD difícil. Este resultado sugere que apesar da alta divergência genética o genótipo de arroz vermelho apresenta características desejáveis em cultivares de arroz branco.

A combinação entre ENA AR1601 e BRS 901 apresentou a menor similaridade, com valor de 0,13. Ambas são cultivares de arroz vermelho. Menores valores de dissimilaridades também foram observadas entre as combinações IAC 500 x ENA AR1902 (0,14) dos tipos aromático e arbóreo, respectivamente, além de ENA AR1601 x ENA AR1602 (0,16). Entre as

características avaliadas, IAC 500 e ENA AR1902, apresentam similaridades referentes às características CC (125 e 123 dias), PFB (ereta), SE (tardia), PRP (semi-ereta), FD (intermediária), ELF (18,16 e 16,42 mm), CMC (48,21 e 46,37 cm), CP (21,04 e 19,29 cm), CG (8,69 e 8,72 mm), ANG (2,75° e 2,62°) e PROD (7,04 e 6,12 g.planta<sup>-1</sup>). Nos genótipos do tipo vermelho ENA AR1601 x ENA AR1602, houve forte similaridade nas características CFB (24,17 e 22,75 cm), NPV (19,00 e 15,62), ELF (12,79 e 12,74 mm) e CP (23,30 e 22,65 cm), ainda, ambas foram classificadas com RA muito fraca ??, PFB ereta, SE tardia, PEP semi-perpendicular e FD intermediária (Anexo).

Os resultados encontrados podem ser explicados devido a estreita base genética sob as quais cultivares de arroz forma desenvolvidas. Raimondi et al. (2014) analisaram a similaridade genética de quarenta cultivares de arroz cultivadas no Sul do país, através de marcadores AFLP e genealogia, e demonstraram que 90% das cultivares foram desenvolvidas a partir de cruzamentos entre seis genitores, tendo a pouca diversidade genética entre eles confirmada pelos marcadores AFLP, uma vez que 111 primers polimórficos identificaram 87% de similaridade entre as cultivares. Esses resultados sugerem risco de alta vulnerabilidade genética.

Em contrapartida, na pesquisa realizada por Streck et al. (2019) estimando a divergência genética entre 70 genótipos de tipos especiais de arroz irrigado no município de Capão do Leão – RS e considerando a análise combinada das principais características agronômicas, observaram alta variabilidade genética para os caracteres avaliados, sendo evidenciada pela alta magnitude das estimativas dos coeficientes de variação genotípica e herdabilidade individual.

O agrupamento pelo método de Tocher revelou a formação de oito grupos, os quais são apresentados na Tabela 3. O grupo I inclui os genótipos ENA AR1601, BRS 901, ENA AR1602, ENA AR1903, ENA AR1906, BRS 902 e ENA AR2002; o grupo II, IAC 500, ENA AR1902, BRS Esmeralda e ENA AR2003; os grupos III, IV, V, VI, VII e VIII, apenas um genótipo cada, sendo ENA AR1901, IAC 201, ENA AR2001, IAC 109, ENA AR1904 e ENA AR1905, respectivamente.

**Tabela 2:** Matriz de distâncias de Gower entre os 17 genótipos de arroz. Seropédica - RJ, 2020/2021.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1	0	0,24	0,35	0,36	0,40	0,36	0,37	0,34	0,31	0,30	0,29	0,46	0,38	0,46	0,45	0,44	0,29	
2		0	0,27	0,32	0,32	0,25	0,36	0,38	0,43	0,18	0,21	0,48	0,38	0,45	0,42	0,38	0,29	
3			0	0,40	0,26	0,14	0,30	0,35	0,48		0,23	0,28	0,42	0,36	0,43	0,34	0,32	0,36
4				0	0,43	0,31	0,29	0,36	0,41	0,26	0,37	0,42	0,33	0,31	0,30	0,26	0,25	
5					0	0,31	0,39	0,31	0,34	0,26	0,27	0,41	0,38	0,41	0,41	0,33	0,34	
6						0	0,27	0,35	0,47	0,19	0,30	0,46	0,35	0,44	0,38	0,31	0,31	
7							0	0,33	0,37	0,31	0,41	0,36	0,25	0,36	0,29	0,32	0,31	
8								0	0,31	0,24	0,27	0,36	0,25	0,19	0,29	0,27	0,20	
9									0	0,41	0,38	0,32	0,35	0,37	0,39	0,35	0,27	
10										0	0,18	0,39	0,29	0,30	0,31	0,27	0,21	
11											0	0,43	0,32	0,36	0,35	0,29	0,24	
12												0	0,33	0,38	0,32	0,23	0,39	
13													0	0,16	0,13	0,28	0,25	
14														0	0,20	0,28	0,26	
15															0	0,22	0,31	
16																0	0,30	
17																	0	

1 - IAC 201; 2 - BRS Esmeralda; 3 - IAC 500; 4 - IAC 109; 5 - ENA AR1901; 6 - ENA AR1902; 7 - ENA AR2001; 8 - ENA AR1903; 9 - ENA AR1904; 10 - ENA AR2002; 11 - ENA AR2003; 12 - ENA AR1905; 13 - ENA AR1601; 14 - ENA AR1602; 15 - BRS 901; 16 - BRS 902; 17 - ENA AR1906.

Os genótipos presentes no mesmo grupo apresentam similaridade genética, apresentando características comuns entre a maioria dos genótipos avaliados (CORDEIRO et al., 2021). O grupo I é o mais amplo sendo constituído por quatro genótipos de arroz vermelho, cultivares de sequeiro (exceto ENA AR2002), maior altura de planta (exceto BRS 902), maior porcentagem de espiguetas férteis e menor número de espiguetas por panícula. A média para altura das plantas varia de 121,17 a 68,37 cm, RA intermediária ou muito forte, PFB ereta, exceto ENA AR1906 (semi-ereta) e FD variando de fácil a difícil. O grupo II reúne os genótipos que possuem grãos longos e com uma menor largura, maior número de espiguetas por panícula, grãos de menor peso, plantas mais baixas (exceto ENA AR2003) e menor produção por planta. Apresentaram ainda a mesma classificação para diversas características qualitativas, sendo classificados como CC médio, RA muito forte (exceto IAC 500, fraca), PFB ereta (exceto BRS Esmeralda, decumbente), SE tardia e FD intermediária. O grupo III formado pelo genótipo ENA AR1901 de arroz cateto apresentou a maior massa de cem grãos (4,29 g), forte resistência ao acamamento, PFB ereta, PEP levemente inclinada e FD difícil, além de características de cultivares de arquitetura tradicional, como maior comprimento e espessura da folha e menor produção por planta.

Os genótipos que formam os grupos IV, V, VI e VII se encontram entre as maiores médias para produção, diferindo, principalmente, no porte da planta, sistema de cultivo (irrigado x sequeiro), coloração do grão (branco x vermelho) e postura das ramificações da panícula. Se mostraram similares para as características SE (tardia), PEP (fortemente inclinada), RA fraca ou muito fraca, exceto IAC 109 (muito forte). Por fim, o grupo VIII foi formado pelo genótipo ENA AR1905 de arroz vermelho aromático que apresentou como principais características RA fraca, PFB horizontal, PRP ereta, menor altura de plantas (77,80 cm), maior número de perfilhos viáveis (25,37), maior largura do grão (3,00 mm), menor produção por planta ( $10,10 \text{ g.planta}^{-1}$ ) e menor comprimento do grão (7,43 mm). Segundo Barros et al. (2005) a formação de grupos com apenas um genótipo sugere que estes sejam divergentes em relação aos demais.

**Tabela 2:** Agrupamento de Tocher com base nas estimativas de Gower (1971) de 17 genótipos de arroz. Seropédica - RJ, 2020/2021.

Grupo	Genótipos
I	ENA AR1601/BRS 901/ENA AR1602/ENA AR1903/ENA AR1906/BRS 902/ENA AR2002
II	IAC 500/ENA AR1902/BRS Esmeralda/ENA AR2003
III	ENA AR1901
IV	IAC 201
V	ENA AR2001
VI	IAC 109
VII	ENA AR1904
VIII	ENA AR1905

Resultados semelhantes ao deste trabalho foram encontrados por Singh et al. (2020) que avaliando 22 genótipos de arroz caracterizados por meio de 16 características quantitativas, observaram a formação de 6 grupos distintos, onde o primeiro grupo reuniu 68,18% dos genótipos avaliados. Cordeiro et al. (2021) avaliando 36 híbridos de milho cultivados no norte de Mato Grosso e sudeste de Rondônia, constataram a formação de 7 grupos a partir método de otimização de Tocher, nos quais cerca de 64,4% das cultivares foram reunidas no grupo I. O grupo II reuniu 6 genótipos, já os demais grupos reuniram apenas 1 genótipo cada. Através do método UPGMA foram formados 3 grupos, tendo o grupo I reunido 94,4% do total de genótipos avaliados.

A identificação de genótipos divergentes em populações de arroz é uma das etapas do programa melhoramento genético, e essencial quando se busca ampliar a base genética da cultura através da hibridação controlada, uma vez que possibilita a visualização de grupos heteróticos e potencialmente promissores na obtenção de novas linhagens.

O coeficiente de correlação cofenética, que indica o ajuste entre as matrizes originais de distâncias com as distâncias da matriz cofenética, foi de 0,68, evidenciando um bom ajuste na representação gráfica (ROHLF, 2000) e confiabilidade nas inferências realizadas a partir da avaliação visual do dendrograma.

Pela Figura 1, relativa ao agrupamento hierárquico da ligação média (UPGMA), observa-se a formação de nove grupos, diferenciando-se do método de Tocher, onde foram formados oito grupos. O agrupamento dos genótipos pelo método UPGMA foi um pouco

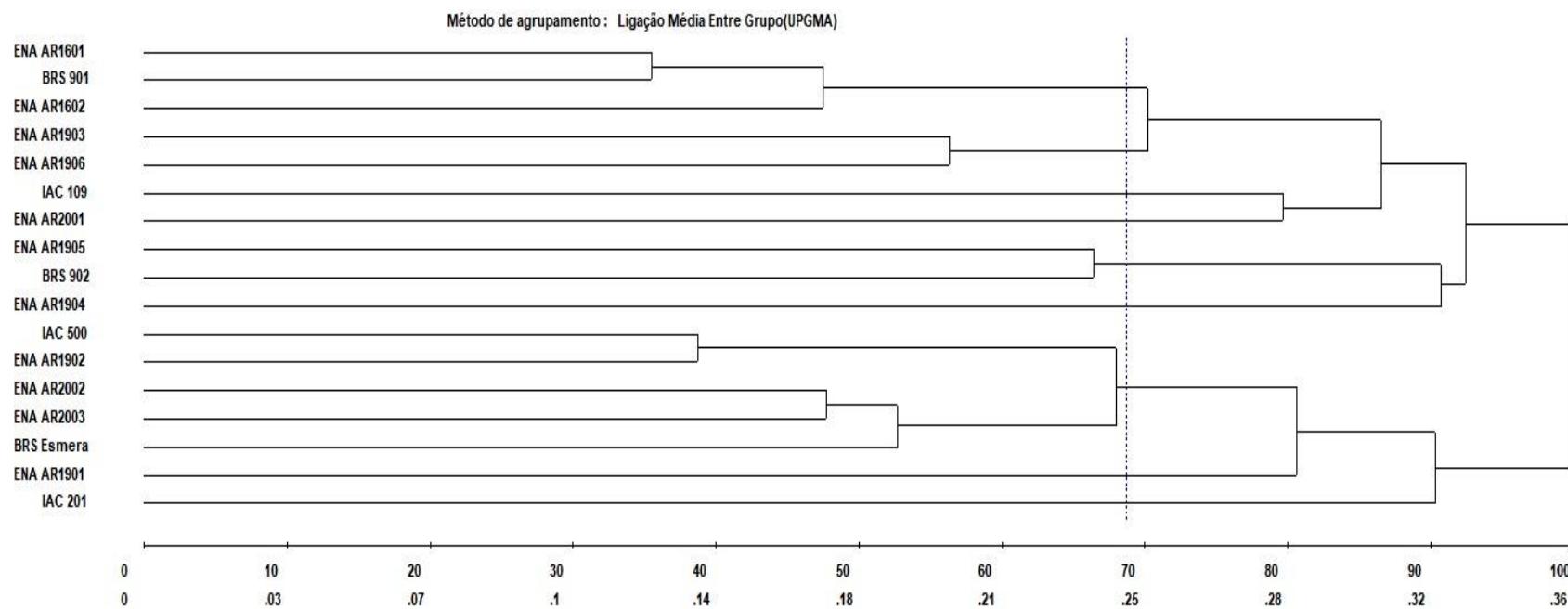
distinta quando comparada ao método Tocher. O primeiro grupo, composto por sete genótipos anteriormente, formou-se com os genótipos ENA AR1601, BRS 901 e ENA AR1602.

O grupo II, constituído por ENA AR1903 e ENA AR1906 tem como características comuns as médias para CFB (27,77 e 28,63 cm), EFB (14,96 e 15,52 cm), NPV (11,87 e 11,17), %EF (81,61 e 77,04%) e LG (3,02 e 2,84 mm). Ambos os genótipos foram classificados com RA intermediária e SE tardia. Para valores contrastantes, destacam-se as características PROD com 22,72 e 12,17 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente, CC (6,54 e 7,44 mm), PEP (levemente inclinada e fortemente inclinada) e FD (difícil e intermediária).

O grupo V constituído por dois genótipos de arroz vermelho, ENA AR1905 e BRS 902, apresentam valores similares para algumas das principais características multicategóricas, como SE (tardia), FD (difícil), PEP (semi-perpendicular), CG (7,43 e 8,00 mm), EFB (11,28 e 11,72 cm), ALT (77,80 e 68,37 cm), MCG (2,64 e 2,7 g) e PROD, 10,10 e 12,82 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

Já o grupo VII é bastante diverso e reúne os genótipos de arroz aromático, arbóreo, amarelo, cateto e branco. IAC 500, ENA AR1902, ENA AR2002, ENA AR2003 e BRS Esmeralda, apresentaram algumas das menores médias observadas nas características ANG, exceto ENA AR2003 (4,00°), com valores médios de 2,67°; 2,75°; 2,62° e 2,50°, respectivamente, e PROD de 8,50; 7,04; 6,12; 10,06 e 8,50 g.planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Além dessas, os genótipos possuem como características comuns RA muito forte, exceto IAC 500 (fraca), PFB ereta, exceto BRS Esmeralda (decumbente) e folhas longas, BRS Esmeralda, IAC 500 e ENA AR2003 obtiveram valores médios elevados para CL, 55,83; 50,31 e 48,40 cm.

Os demais grupos não foram modificados, sendo iguais aos formados no método Tocher. Resultados semelhantes foram observados por Passeri-Lima et al. (2020) onde caracterizando a divergência genética entre cinco genótipos de tipos especiais de arroz em Seropédica-RJ, concluíram que os métodos de agrupamento de Otimização Tocher e Hierárquico UPGMA, apresentaram semelhança na formação de grupos e que a produtividade foi a característica responsável por mais de 90% da divergência genética. Gonçalves et al. (2014) avaliando a divergência genética de 65 acessos tradicionais de feijoeiro do Banco Ativo de Germoplasma de *Phaseolus* da Unemat, através da caracterização da semente e por meio de descritores morfológicos qualitativos e quantitativos, observaram que ambos os métodos de agrupamento foram parcialmente concordantes, onde os acessos que apresentaram similaridade foram ordenados no mesmo grupo, tendo sido possível a identificação de materiais completamente dissimilares.



**Figura 1:** Dendrograma de divergência genética entre 17 genótipos de arroz, obtido pelo método UPGMA, com base no algoritmo de Gower. Seropédica - RJ, 2020/2021.

#### **4. CONCLUSÕES**

Os dois métodos de agrupamento foram capazes de evidenciar dissimilaridade a partir das características morfoagronômicas para os 17 genótipos de tipos especiais de arroz.

O método hierárquico UPGMA proporcionou a formação de um maior número de grupos em relação ao método de otimização de Tocher, no entanto, houve elevada concordância na definição dos genótipos mais divergentes.

As características multicategóricas utilizadas apresentaram-se adequadas para a caracterização por meio das análises multivariadas, tendo sido possível observar a divergência presente entre os genótipos e demonstrar que no presente estudo houve variabilidade genética.

Possíveis cruzamentos entre os genótipos de arroz vermelho presentes no grupo I e as duas cultivares de arroz branco IAC 201 e IAC 109, são potencialmente promissores na obtenção de novas linhagens ou híbridos, sendo estes os mais indicados para uma possível utilização em programas de melhoramento genético, quando busca-se obter cultivares com alto potencial agronômico e produtivo.

## **REFERÊNCIAS**

ALBUQUERQUE, M. F. M. A segurança alimentar e nutricional e o uso da abordagem de direitos humanos no desenho das políticas públicas para combater a fome e a pobreza. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 22, n. 6, p. 895-903, dez. 2009.

ALIN, A. **Multicollinearity**. Wiley interdisciplinary reviews: Computational statistics, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 370–374, 2010.

ALVAREZ, R.C.F.; CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 42: 397-406, 2012.

BAIOCCHI, M. L. M. **Aproveitamento de subproduto do beneficiamento de arroz:** desenvolvimento de farinha modificada como alternativa para a indústria de panificação. 2011. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Goiás, 2011.

BARROS, A. M. et al. Variabilidade genética e ecológica de *Stylosanthes macrocephala* determinadas por RAPD e SIG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, p.899-909, 2005.

BEVILAQUA, G. A. P. et al. Desenvolvimento in situ de cultivares crioulas através de agricultores guardiões de sementes. **Revista Brasileira De Agroecologia**, v. 4, n.1, p. 1273-1275, 2009.

BERTAN, I. **Distância genética como critério para escolha de genitores em programas de melhoramento de trigo (*Triticum aestivum* L.)**. 2005. 93 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2005.

BIOLOGY OF RICE. **Series of crop specific biology documents**. Department of Biotechnology: Ministry of Science and Technology Government of India, 2009. 43p.

BIOVERSITY INTERNATIONAL, IRRI and WARDA. **Descriptors for wild and cultivated rice (*Oryza* spp.).** Bioversity International, Rome, Italy; International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines; WARDA, Africa Rice Center, Cotonou, Benin. 63p. 2007.

BORÉM, A., MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas.** 6. ed. rev. ampl. – Viçosa – MG: UFV, 2013. 523 p. ISBN: 978-85-7269-354-7

BRASIL. Decreto nº 2.366, de 5 de novembro de 1997. Regulamenta a lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997, que institui a **Proteção de Cultivares, dispõe sobre o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares – SNPC, e dá outras providências.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, n. 216, p. 25333–25354, 7 nov. 1997.

BUTTERY R. G. et al. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 31, n. 4, p. 823-826, jul. 1983.

CARVALHO, I. R. et al. Correlações canônicas entre caracteres morfológicos e componentes de produção em trigo de duplo propósito. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.8, p.690-697, 2015.

COLOMBARI-FILHO, J. M.; RANGEL, P. H. N. Cultivares. In: BORÉM, A.; NAKANO, P. H. (Ed.). **Arroz: do plantio à colheita.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. p. 220-242.

CÂNDIDO, H. M. et al. Desempenho agronômico de linhagens de arroz irrigado em ensaios de VCU para tipos especiais. In: Seminário Jovens Talentos, 11. Santo Antônio de Goiás. **Anais ...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. 54p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 316).

CARGNIN, A. et al. Diversidade genética em cultivares de arroz e correlações entre caracteres agronômicos. **Revista Ceres**, v. 57, n.1, p. 053-059, 2010.

CARGNIN, A.; SOUZA, M. A. **Diversidade genética em cultivares de arroz.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 16p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 196).

CASTRO et al. E. M. **Qualidade de grãos e competitividade do arroz de terras altas.** In: I Congresso da Cadeia Produtiva de Arroz. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 280 p. (Documentos / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9644; 153)

CHEN, P. et al. Black rice anthocyanins inhibit cancer cells invasion via repressions of MMPs and u-PA expression. **Chemico-Biological Interactions**, v.163, p.218–229, 2006.

CHOI, S. P. et al. Protective effects of black rice bran against chemically-induced inflammation of mouse skin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, n.18, p.10007–10015, 2010.

CHOI S. P. et al. Antitumor effects of dietary black and brown rice brans in tumor-bearing mice: relationship to composition. **Molecular Nutrition & Food Research**, v.57, n.3, p.390–400, 2013.

CIVÁÑ, P. et al. Three geographically separate domestications of Asian rice. **Nature plants**, v. 1, 15164, 2015.

CIVÁÑ, P. et al. Origin of the aromatic group of cultivated rice (*Oryza sativa* L.) traced to the indian subcontinent. **Genome Biology and Evolution**, v. 11, n. 3, p. 832-843, 2019.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do arroz.** Brasília: Conab, 2015. 180 p. ISBN: 978-85-62223-06-8. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br> >. Acesso em: 26 abr. 2020.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Boletim da safra de grãos**, v.07, Safra 2019/20, n.7, 2020. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> >. Acesso em: 27 abr. 2019.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v.10, Safra 2022/23, n.1 – Primeiro levantamento, 76p. 2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos> >. Acesso em: 15 out. 2022.

CONDÉ, A. B. T. et al. Introduction of special rice genotypes under upland conditions. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 15, p. 1-11, 2021. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v15i0.7096

CORDEIRO, A. G. M. et al. Diversidade genética entre genótipos de milho (*Zea mays* L.) a partir de caracteres morfoagronômicos. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 19, n. 2, p. 125–131, 2021.

CREVELARI, J. A. et al. Canonical correlation for morphoagronomic and bromatological traits in silage corn genotypes. **Plant Breeding**. Bragania, Campinas, v. 78, n. 3, p.337-349, 2019. DOI: 10.1590/1678-4499.20180146

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v.35, n.3, p. 271-276, 2013.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 514 p.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: Editora UFV, 2014. 668 p.

CRUZ, C.D. et al. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Viçosa - MG: UFV, 2020. 626p.

DORMANN, C. F. et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecography**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 27–46, 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Informações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Estado do Tocantins - safra 2008/2009**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2008. 136 p. (Documentos, 218)

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

FAGERIA, N.K. et al. **Seja o doutor de seu arroz**. Piracicaba: Potafos, 1995. 20 p. (Arquivo do Agrônomo, 9).

FAGERIA, N. K. et al. **Manejo de nitrogênio em arroz irrigado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 58).

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279 p.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAO Rice market monitor**. v. XXI, n.1, 38p., april 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. 2020. Disponível em:< <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize> >. Acesso em: 27 abr. 2020.

FERREIRA, C.M. et al. **Qualidade e utilização das principais cultivares de arroz de terras altas**. In: Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção de arroz de terras altas no Brasil. p. 37-50. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005.

FERREIRA, T.; RASBAND, W. **ImageJ 1.46r**. National Institutes of Health, USA, 2012.

FILIPPI, M. C. C et al. **Brusone no arroz** – Brasília, DF: Embrapa, 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1030631/brusone-no-arroz>>. Acesso em: 24 de maio de 2020.

FITZGERALD, M. A. et al. Is there a second gene for fragrance in rice? **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 6, n. 4, p. 416–423, 2008.

FREI, M. et al. Studies on the in vitro starch digestibility and the glycemic index of six different indigenous rice cultivars from the Philippines. **Food Chemistry**, v.83, n.3, p.395-402, 2003.

FREITAS, T. F. S. et al. Validação de escala de desenvolvimento para cultivares brasileiras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.404-410, 2006.

GAO, L. Z.; GAO, C. W. lowered diversity and increased inbreeding depression within peripheral populations of wild rice *Oryza rufipogon*. **Plos One**, v.11, n.3, e0150468, 2016.

GARRIS A. J. et al. Genetic structure and diversity in *Oryza sativa* L. **Genetics**, v. 169, n. 3, p. 1631-1638, 2005.

GHASEMZADEH, A. Phytochemical constituents, antioxidant activity, and antiproliferative properties of black, red, and brown rice bran. **Chemistry Central Journal**, n.12, v.17, 2018.

GONÇALVES, M. C.; FRITSCHE-NETO, R. **Tópicos especiais de biometria no melhoramento de plantas**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2012. 282p.

GONÇALVES, D. L. et al. Divergência genética de acessos tradicionais de feijoeiros através de características da semente. **Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v. 30, n. 6, p. 1671-1681, 2014.

GOUFO, P.; TRINDADE, H. Rice antioxidants: phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, c-oryzanol, and phytic acid. **Food Science & Nutrition**, v.2, n.2, p. 75– 104, 2014.

GRISP (Global Rice Science Partnership. **Rice almanac**. 4th edition. Los Baños (Philippines): International Rice Reserch Institute. 283p.

GUIMARÃES, C. M. et al. **Como a planta de arroz se desenvolve**. Piracicaba: Potafos, 2002. 12 p. (Arquivo do Agrônomo, 13).

GUIMARÃES, C. M. et al. **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 53-96, 2006.

GUIMARAES, C. M. et al. Eficiência produtiva de cultivares de arroz com divergência fenotípica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 465-470, 2008.

GROSS, B. L.; ZHAO, Z. Archaeological and genetic insights into the origins of domesticated rice. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111 n. 17, p. 6190–6197, 2014.

HAGHSENAS, H. Selecting the ideotype of improved rice cultivars using multiple regression and multivariate models. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v.66, n.8, p.1134-1153, 2020.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2009.

HOUR, A. L. et al. Genetic diversity of landraces and improved varieties of rice (*Oryza sativa* L.) in Taiwan. **Rice**, v.13, 82, 2020.

HUANG, X. et al. A map of rice genome variation reveals the origin of cultivated rice. **Nature**, v. 490 (7421), p. 497–503, 2012.

HYUN, J.W.; CHUNG, H.S. Cyanidin and malvidin from *Oryza sativa* cv. Heugjinjubyeo mediate cytotoxicity against human monocytic leukemia cells by arrest of G2 /M phase and induction of apoptosis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.52, p.2213-2217, 2004.

KENNEDY, G.; BURLINGAME, B. Analysis of food composition data on rice from a plant genetic resources perspective. **Food Chemistry**, v.80, n.4, p. 589-596, 2003.

KOIDE, T. et al. Antitumor effect of hydrolyzed anthocyanin from grape rinds and red rice. **Cancer Biotherapy and Radiopharmacology**, v.11, n.4, p.273-277, 1996.

KÖPPEN W. **Climatología: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Ed. Fundo de Cultura; 1948. 479p.

LONDO, J. P. et al. Phylogeography of Asian wild rice, *Oryza rufipogon*, reveals multiple independent domestications of cultivated rice, *Oryza sativa*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 103, n. 25, p. 9578-9583, 2006.

LOPES, A. de M.; LOPES, M. F. de L. Aspectos qualitativos e nutricionais do arroz. In: Encontro técnico: "Tecnologias para a produção de arroz no sudeste paraense", 1., 2008, São Geraldo do Araguaia. **Anais ...** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. p.105-110

LOPES, M. B. S. et al. Adubação nitrogenada em arroz cultivado em solos arenosos de várzea tropical. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, 10:17-24, 2017.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. et al. **Melhoramento genético, biotecnologia e cultivares de arroz irrigado.** In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; GOMES, A. da S. Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognóstico climático. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2003. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 113). p. 13-33.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. et al. **Aspectos genéticos, morfológicos e de desenvolvimento de plantas de arroz irrigado.** In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.143-160, 2004.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. **Recursos genéticos de arroz (*Oryza sativa* L.) no Sul do Brasil.** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2007. 160 p. (Tese de Doutorado).

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. et al. **Indicação de tipos especiais de arroz para diversificação de cultivo.** Pelotas: Editora Embrapa, 2012. 8 p. (Circular Técnica, 133).

MAGALHÃES JUNIOR, A. M.; GOMES, A. S. **Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognóstico climático.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2003. p.13-33. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).

MALUF, W.R. et al. Genetic divergence in tomatoes and its relationship with heterosis for yield in F1 hybrids. **Revista Brasileira de Genética.** Ribeirão Preto: v.3, p.453-460, 1983.

MARTRE, P. et al. **Model-assisted phenotyping and ideotype design.** In book: Applications for genetic improvemtn and agronomy, 2nd edition, p.349-373, Academic Press, 2014.

MANDEL J. R. et al. Genetic diversity and population structure in cultivated sunflower and a comparison to its wild progenitor, *Helianthus annuus* L. **Theory Applied Genetics**, v.123, n.5, p.693–704, 2011.

MENEZES, B. R. S. et al. Características morfoagronômicas de dois genótipos arroz vermelho em cultivo inundado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.394-401, 2012.

MENEZES, B. R. S. et al. Correlações e análise de trilha em capim-elefantepara fins energéticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, n.3, p.465-470, 2014.

MUTHAYYA, S. et al. An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1324, p. 7–14, 2014.

NASS, L. L. et al. **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Fundação MT, Rondonópolis, 2001.

NUÑEZ, P. P.; MAIA, A. S. Sementes Crioulas: um banco de biodiversidade. **Cadernos de Agroecologia**, v. 1, n. 1, 2006.

NAYAK, P. et al. Application of statistical tools for data analysis and interpretation in rice plant pathology. **Rice Science**, v.25, p.1-18, 2018.

OCDE-FAO. **Agricultural Outlook 2022-2031**. Paris and Rome, 2022.

PASSERI-LIMA, R. H. et al. Divergência genética entre tipos especiais de arroz a partir de técnicas multivariadas. **Revista Ciências Agroveterinárias**, v. 19, n. 3, p.299-304, 2020.

PEREIRA, E. M. et al. Canonical correlations between agronomic traits and seed physiological quality in segregating soybean populations. **Genetics and Molecular Research**, 16:gmr16029547, 2017.

PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 226 p.

PEREIRA, J. A.; MORAIS, O. P. **As variedades de arroz vermelho brasileiras.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 39 p. (Documentos, 229 - Embrapa Meio-Norte).

PEREIRA, J. A. et al. **Potencial genético de rendimento e propriedades culinárias do arroz vermelho cultivado.** Caatinga, Mossoró, Brasil, v.20, n.1, p.43-48, 2007.

PIOVESAN, N. et al. **Capacidade Antioxidante de Arroz com Pericarpo Vermelho.** Conference: XXI I Congresso Brasileiro de Nutrologia. São Paulo, 2018.

RAIMONDI, J. V. et al. Genetic base of paddy rice cultivars of Southern Brazil. **Crop Breed. Appl. Biotechnol.**, v.14, n.3, p.194-199, 2014.

RAHMAN, M.M. et al. The Genetic Constitutions of Complementary Genes Pp and Pb Determine the Purple Color Variation in Pericarps with Cyanidin-3-O-glucoside Depositions in Black Rice. **Journal of Plant Biology**, 56, p.24-31, 2013.

RANGEL, P. H. N. GUIMARÃES, E. P.; NEVES, P. C. F. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa L.*) irrigado do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 5, p.349-357. 1996.

RANGEL, P. H. N.; GUIMARÃES, E.P.; RABELO, R.R. Melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. In: QUEIROZ, M.A. de; GOEDERT, C.O.; RAMOS, S. R. R. (ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro.** Petrolina: EMBRAPA-Semi-árido, 2000.

REGAZZI, A. J.; CRUZ, C.D. **Análise multivariada aplicada.** Viçosa - MG: UFV, 2020. 408p.

RIBEIRO, F. A. et al. **Qualidade de grãos e determinação de aroma em arroz especial.** In: Seminário Jovens Talentos, 10. Santo Antônio de Goiás. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016. 96p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 311).

ROHLF, F. J. Statistical power comparisons among alternative morphometric methods. **Am. J. Phys. Anthropol.**, 111: 463-478. 2000.

ROZZETTO, D. S. **Diversidade genética e associação genômica ampla em banco de germoplasma de arroz (*Oryza sativa*)**. Piracicaba: USP - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2019. 59p. (Tese de Doutorado).

SANGOI, L. et al. Bases morfológicas para diferenças de produtividade entre regiões produtoras de arroz irrigado em Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v.27, p.76-81, 2014.

SANTIAGO, C. M. et al. **Arroz: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 245 p. il. – (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

SANTOS, A. B. et al. Índices fisiológicos do arroz irrigado afetados pela inundação e fertilização nitrogenada. **Revista Ceres**, v.64, p.122-131, 2017.

SHARMA, S. D. Domestication and diaspora of rice. In: SHARMA, S. D. (Ed.). Rice: origin, antiquity and history. Boca Raton: CRC Press; New Hampshire: **Science Publishers**, 2010. cap. 1, p. 1-24.

SHAO, Y. et al. Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice. **Food Chemistry**, v.239, n.15, p.733-741. 2018.

SILVA, A. S. et al. Análise multivariada da palma forrageira: características morfoprodutivas sob correlações canônicas. **Revista Agrarian**, v.13, n.47, p.100-106, Dourados, 2020.

SILVA, H. T. da. et al. **Preservando a variabilidade genética de arroz**. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ – RENAPA, 7., 2002, Florianópolis. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p. 273-275. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 134).

SILVA, A. A. et al. Chemical characterization of the antioxidant, antihyperglycemic and antihypertensive capacities of red rice (*Oryza sativa* L.) whole flour. **Revista Chilena de Nutrición**, n.47, n.2, p.238-246, 2020.

SILVA, M. A. S. et al. **Adubação do arroz irrigado com N, P e K em várzeas do Cerrado.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2020. 12 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 248).

SILVA JÚNIOR, A. C. **Progresso Genético do programa de melhoramento de arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1993/1994 a 2015/2016.** 2017. 69f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento). Universidade Federal de Viçosa – MG, 2017.

SINGH R. K., et al. Small and medium grained aromatic rices of India. In: **Aromatic rices.** New Delhi: Oxford & IBH Publishing. 2000. p. 155–177.

SINGH, S. K. et al. Study of genetic divergence in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes with high grain zinc using Mahalanobis' D2 analysis. **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 11, n. 02, p. 367-372, 2020.

SOHRABI, M. Genetic diversity of upland rice germplasm in Malaysia based on quantitative traits. **The Scientific World Journal**, ID 416291, 9 p., 2012.

SOLTANI, A. Communication and share of various morphological and physiological traits in determining of grain yield sorghum. **Journal of Agriculture and Natural Resources**, v.4, p.85–94, 2000.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: **Reunião técnica da cultura do arroz irrigado**, 31., 2016. Bento Gonçalves-RS: SOSBAI, 2016. 199p.

SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. In: **Reunião técnica da cultura do arroz irrigado**, 32., 2018. Cachoeirinha-RS: SOSBAI, 2018. 205p.

STRECK, N. A. et al. Duração do ciclo de desenvolvimento de cultivares de arroz em função da emissão de folhas no colmo principal. **Ciência Rural**, v.36, p.1086-1093, 2006.

STRECK, E. A. et al. Distância genética entre cultivares de arroz irrigado em experimentos conduzidos a campo e em casa de vegetação. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.17, p.505-515, 2018.

STRECK, E. A. et al. Genotypic performance, adaptability and stability in special types of irrigated rice using mixed models. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 1, p. 66-75, 2019.

SWEENEY, M.T. et al. Caught Red-Handed: *Rc* Encodes a Basic Helix Loop-Helix Protein Conditioning Red Pericarp in Rice. **The Plant Cell**, v.18, p.283-294, 2006.

SWEENEY, M.; MCCOUCH, S. The complex history of the domestication of rice. **Annals of botany**, v.100, n. 5, p. 951-957, 2007.

TANG, J. C. et al. The effects of different nitrogen application and seeding rates on the yield and growth traits of direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) using correlation analysis. **Applied Ecology and Environmental Research**, 19:667-681, 2021.

UDDIN, Md N.; FUKUTA, Y. A region on chromosome 7 related to differentiation of rice (*Oryza sativa* L.) between lowland and upland ecotypes. **Frontiers in plant science**, v. 11, p1135. 27, 2020.

UTUMI, M. M. **Sistema de produção de arroz de terras altas**. 4. ed. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2008. 33 p. (Sistemas de Produção, 31).

VAHIDATI, A. et al. Evaluation of end-of-season drought stress tolerance in some rice genotypes, north of Iran. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v.19, p.341-352, 2020.

VAUGHAN, D. A., CHANG, T. T. In Situ conservation of rice genetic resources. **Economic Botany**, v.46, p.368-383, 1992.

VAUGHAN, D. A.; CHANG, T. T. **Collecting the rice gene pool**. In: GUARINO, L. et al. Collecting plant genetic diversity: technical guidelines. CAB International, Wallingford, UK, p. 659-675, 1995.

VERGARA, R. et al. Canonical correlation and agronomic performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). **Revista Brasileira De Agropecuária Sustentável**, v.11, p.252–258, 2021.

VIEIRA, J. Caracterização morfológica e molecular do banco de germoplasma de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) da EPAGRI. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

WALTER, M. et al. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.4, p.1184-1192, 2008.

WALTER, M. et al. Antioxidant properties of rice grains with light brown, red and black pericarp colors and the effect of processing. **Food Research International**, v.50, n.2, p.698-703, 2013.

WALTER, M; MARCHESAN, E. Phenolic compounds and antioxidant activity of rice. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.54, n.1, p.371-377, 2011.

WANG, K. M., J. G. et al. 2011. Distribution of phytic acid and mineral elements in three indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. **Journal of Cereal Science**, v.54, p.116–121, 2011.

WICKERT, E. et al. Exploring variability: new brazilian varieties SCS119 Rubi and SCS120 Onix for the specialty rices Market. **Open Journal of Genetics**, v.4, n.2, p.157-165, 2014.

WICKERT, E. et al. SCS123 Pérola: A Brazilian Rice Variety for Risotto. **Agricultural Sciences**, v.9, n.12, p.1590-1600, 2018.

XIA, H. et al. Genetic differentiation revealed by selective loci of drought responding EST-SSRs between upland and lowland rice in China. **PloS One**, v.9, n.10, e106352, 2014.

XU, Y. et al. Natural variations of SLG1 confer high-temperature tolerance in indica rice. **Nature Communications**, v.11, 5441, 2020.

YANG, C-C. Independent domestication of Asian rice followed by gene flow from **japonica** to **indica**. **Molecular Biology and Evolution**, v. 29, n. 5, p. 1471-1479, 2012.

YANG, X. et al. A Survey on Canonical Correlation Analysis", em *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, v.33, n.6, p. 2349-2368, 2021.

YAWADIO, R. et al. Identification of phenolic compound isolated from pigmented rice and their aldose reductase inhibitory activities. **Food Chemistry**, v.101, n.4, p.1616-162, 2007.

YULIANA, N. D.; AKHBAR, M. A. Chemical and physical evaluation, antioxidant and digestibility profiles of white and pigmented rice from different areas of Indonesia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2018238, 2020.

ZHOU, H. et al. Canonical correlations of light and temperature with yield and quality characters of F<sub>1</sub> ecological populations of hybrid rice. **The Journal of Applied Ecology**, 17:663-667, 2006.

## ANEXOS

**Tabela 1:** Categorias de 6 características qualitativas avaliadas em 17 genótipos de arroz. Seropédica - RJ, 2020/2021.

Genótipo	RA	PFB	SE	PEP	PRP	FD
IAC 201	muito fraca	horizontal	tardia	fortemente	semi-ereta	difícil
BRS Esmeralda	muito forte	decumbente	tardia	levemente inclinada	espalhada	intermediária
IAC 500	fraca	ereta	tardia	semi-perpendicular	semi-ereta	intermediária
IAC 109	muito forte	ereta	tardia	fortemente	espalhada	intermediária
ENA AR1901	forte	ereta	tardia	levemente inclinada	espalhada	difícil
ENA AR1902	muito forte	ereta	tardia	fortemente	semi-ereta	intermediária
ENA AR2001	fraca	ereta	tardia	fortemente	espalhada	intermediária
ENA AR1903	intermediária	ereta	tardia	levemente inclinada	ereta	difícil
ENA AR1904	muito fraca	horizontal	tardia	fortemente	horizontal	difícil
ENA AR2002	muito forte	ereta	tardia	levemente inclinada	ereta	intermediária
ENA AR2003	muito forte	ereta	tardia	semi-perpendicular	semi-ereta	intermediária
ENA AR1905	fraca	horizontal	tardia	semi-perpendicular	ereta	difícil
ENA AR1601	intermediária	ereta	intermediária	levemente inclinada	semi-ereta	intermediária
ENA AR1602	intermediária	ereta	intermediária	levemente inclinada	ereta	intermediária
BRS 901	intermediária	ereta	intermediária	semi-perpendicular	semi-ereta	fácil
BRS 902	muito forte	ereta	tardia	semi-perpendicular	semi-ereta	difícil
ENA AR1906	intermediária	semi-ereta	tardia	fortemente	espalhada	intermediária

RA: Resistência ao acamamento; PFB: Postura da folha bandeira; SE: Senescênci;a; PEP: Postura do eixo principal da panícula; PRP: Postura das ramificações da panícula; FD: Facilidade de debulha.

**Tabela 2:** Valores médios de 6 características avaliadas em 17 genótipos de arroz. Seropédica - RJ, 2020/2021.

Genótipos	CL	ELF	CMC	DIB	CP	CG
IAC 201	57,59 a	12,59 b	70,69 c	6,44 a	28,35 a	10,02 b
BRS Esmeralda	55,83 a	12,75 b	60,42 d	7,08 a	26,10 a	9,83 b
IAC 500	50,31 a	18,16 a	48,21 e	7,39 a	21,04 b	8,69 c
IAC 109	19,45 d	11,26 c	63,50 d	5,75 b	19,51 c	10,75 a
ENA AR1901	55,44 a	17,48 a	59,84 d	7,34 a	21,76 b	8,57 c
ENA AR1902	42,70 b	16,42 a	46,37 e	6,80 a	19,29 c	8,72 c
ENA AR2001	44,15 b	17,23 b	50,51 e	6,53 a	21,69 b	7,82 d
ENA AR1903	40,37 b	14,35 b	103,62 a	6,62 a	20,54 c	8,53 c
ENA AR1904	45,17 b	12,44 b	78,20 b	6,10 b	19,77 c	7,81 d
ENA AR2002	42,85 b	14,01 b	59,26 d	6,11 b	22,80 b	9,44 b
ENA AR2003	48,40 a	12,72 b	71,95 c	7,04 a	25,72 a	9,66 b
ENA AR1905	35, 59 c	10,17 c	60,16 d	4,87 b	16,47 c	7,43 d
ENA AR1601	34,97 c	12,79 b	82,74 b	6,44 a	23,30 b	7,55 d
ENA AR1602	28,04 d	12,74 b	96,35 a	5,98 b	22,65 b	8,41 c
BRS 901	29,36d	13,23 b	67,05 c	6,03 b	19,84 c	7,62 d
BRS 902	27,55 d	11,31 c	50,00 e	6,16 b	18,76 c	8,00 d
ENA AR1906	34,08 c	13,82 b	87,63 a	5,90 b	21,70 b	9,42 b
Média	40,70	13,50	68,03	6,39	21,72	8,72
CV(%)	15,35	8,69	11,04	10,80	10,17	6,27

CL: Comprimento da lâmina da folha, em cm; ELF: Espessura da lâmina da folha, em mm;  
 CMC: Comprimento do colmo, em cm; DIB: Diâmetro no internódio basal, em mm; CP:  
 Comprimento da panícula, em cm; CG: Comprimento do grão, em mm. Médias seguidas de  
 letras iguais na coluna não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade.

**Tabela 3:** Valores médios de 5 características avaliadas em 17 genótipos de arroz. Seropédica - RJ, 2020/2021.

Genótipos	LG	CC	LC	NC	NEP
IAC 201	2,45 d	7,85 a	2,03 e	14,62 c	251,37 a
BRS Esmeralda	2,44 d	7,69 a	2,21 d	15,83 c	163,00 b
IAC 500	2,40 d	6,63 c	2,15 d	18,00 c	185,00 b
IAC 109	2,38 d	79,7 a	2,06 e	20,12 c	88,87 d
ENA AR1901	4,72 a	6,25 c	3,08 a	17,25 c	128,12 c
ENA AR1902	2,48 d	6,85 b	2,13 e	22,87 b	176,67 b
ENA AR2001	2,48 d	5,93 d	2,20 d	32,12 a	158,37 b
ENA AR1903	3,02 c	6,54 c	2,67 c	13,62 c	133,00 c
ENA AR1904	3,69 b	5,63 d	3,17 a	14,62 c	97,62 d
ENA AR2002	2,60 d	7,51 a	2,32 d	16,37 c	135,75 c
ENA AR2003	3,02 c	7,34 a	2,66 c	15,50 c	139,67 c
ENA AR1905	3,50 b	5,33 d	3,00 a	24,62 b	71,25 d
ENA AR1601	2,96 c	5,59 d	2,54 c	24,12 b	108,25 d
ENA AR1602	3,22 c	6,24 c	2,83 b	16,87 c	93,37 d
BRS 901	2,90 c	5,67 d	2,53 c	19,87 c	126,00 c
BRS 902	3,14 c	5,91 d	2,78 b	18,25 c	83,75 d
ENA AR1906	2,84 c	7,44 a	2,63 c	12,67 c	100,33 d
Média	2,96	6,61	2,53	18,67	131,78
CV(%)	9,45	6,52	4,05	25,95	20,69

LG: Largura do grão, em mm; CC: Comprimento da cariopse, em mm; LC: Largura da cariopse, em mm; NC: Número de colmos; NEP: Número de espiguetas por panícula. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si segundo teste de Scott-Knott a 1% de probabilidade.