



**MARIA PAULA RAMOS DO PRADO**

**DESEMPENHO FENOTÍPICO DE LINHAGENS DE ARROZ  
DE TERRAS ALTAS VISANDO O POSICIONAMENTO NA  
SEGUNDA SAFRA**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**MARIA PAULA RAMOS DO PRADO**

**DESEMPENHO FENOTÍPICO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS  
VISANDO O POSICIONAMENTO NA SEGUNDA SAFRA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Profa. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho

Orientadora

Msc. Felipe Pereira Cardoso

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2023**

**MARIA PAULA RAMOS DO PRADO**

**DESEMPENHO FEOTÍPICO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS  
VISANDO O POSICIONAMENTO NA SEGUNDA SAFRA**

**PHENOTYPIC PERFORMANCE OF UPLAND RICE LINES FOR PLACEMENT  
IN THE SECOND CROP**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 7 de Julho de 2023.

Dr. Flávia Barbosa Silva Botelho UFLA

Msc Felipe Pereira Cardoso UFLA

Msc Gerald Angelo Maria Sormanti Valenzuela UFLA

Profa. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho

Orientadora

Msc. Felipe Pereira Cardoso

Coorientador

**LAVRAS – MG**

**2023**

*I heard this story about a fish. He swims up to this older fish and says,  
"I'm trying to find this thing they call the ocean."  
"The ocean?" says the older fish. "That's what you're in right now."  
"This?" says the young fish. "This is water. What I want is the ocean!"*

**Soul**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar a graça de viver e poder contemplar cada dia como uma nova oportunidade. Agradeço a Ele por ter me escolhido como filha de meus pais, Paulo Roberto do Prado e Vânia Maria Ramos do Prado, que me deram a vida e me ensinaram tanto! Sobre o bem e o mal, sobre como comemorar cada vitória e crescer com cada derrota, sobre como sonhar, sonhar alto e correr atrás de cada um de meus sonhos, sobre tudo. Muito obrigada por serem meu centro, por acreditarem em mim e me apoiarem em todas as minhas escolhas.

Agradeço ao meu irmão Mateus Ramos do Prado, por ser meu exemplo de força, ambição e criatividade, por sempre estar por mim e ser meu parceiro em todos os momentos.

Agradeço a Prof. Dra. Flávia Botelho por todos os ensinamentos e por ter me aberto portas que mudaram completamente o rumo da minha vida, e sou eternamente grada por isso.

A você, Flávia, toda a minha admiração como pessoa, mulher, filha, mãe e professora.

Agradeço também a todos os meus demais familiares e amigos, que me acompanharam ao longo de toda essa jornada. Em especial as minhas amigas Lu, Gabi e Rafa. Vocês tornaram essa caminhada mais leve e especial, e sou muito feliz mesmo pela amizade que construímos ao longo de todos esses anos e que continua presente até hoje, eu amo vocês.

Agradeço também a todos os meus colegas de trabalho do grupo MelhorArroz e PET Agronomia. Sem esses dois times eu não teria aprendido tanto, aproveitado tanto e crescido tanto durante toda a minha graduação.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Lavras, a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e a Embrapa Arroz e Feijão por todo o auxílio na realização do projeto. E também a cidade de Lavras, onde me senti acolhida e vivi tantos momentos incríveis, os quais vou guardar sempre com muito carinho. Tudo isso fez parte de uma fase muito importante e especial da minha vida, e eu agradeço todos os dias por ter sido do jeitinho que foi, única.

## RESUMO

Considerada uma cultura de impacto social e ambiental, o arroz é importante para a geração de empregos, segurança alimentar e sustentabilidade, sendo ainda considerada uma espécie fundamental e base para a alimentação de mais da metade da população mundial. Devido aos avanços das demais grandes culturas, sua produção e área vem diminuindo ao longo dos anos, mesmo que sua demanda permaneça aumentando, tornando-se necessária a busca por estratégias para reverter essa situação. Dessa forma, um dos objetivos do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas é trabalhar no desenvolvimento de linhagens produtivas e com ampla adaptação e estabilidade às adversidades climáticas visando seu cultivo em segunda safra. Como parte dessa procura, este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento fenotípico e a responsividade das linhagens de arroz de terras altas submetidas às diferentes épocas de plantio. Os experimentos foram conduzidos na segunda safra de 2022, em Lavras, Minas Gerais. Foram utilizadas para avaliação 8 genótipos elite de arroz, provenientes do Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras (UFLA) – Melhor Arroz. O experimento constituiu-se de quatro épocas de semeadura, com um intervalo de sete dias, nos dias: 28 de janeiro de 2022, 4, 11 e 18 de fevereiro de 2022. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC), constituído de 24 parcelas com três repetições cada. Os resultados indicaram precocidade para os genótipos CMG ERF 81-2 e CNAx20665-B-6 Trat 81 EO, enquanto os genótipos P85-15-CNAx18874-B-5-6 Trat. 17 do Preliminar e NAx20663-B-14 Trat. 78 EO foram os mais tardios. Os genótipos 1 P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B, CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO e CMG ERF 81-2 apresentaram o maior rendimento de grãos em todas as épocas. A semeadura realizada no dia 28 de janeiro, primeira época, foi considerada a mais adequada para o cultivo de arroz, considerando o desempenho fenotípico médio dos genótipos. Portanto, comparando todos os genótipos, os precoces apresentaram o melhor desempenho dentro do estudo para o plantio em segunda safra.

**Palavras-chave:** Melhoramento genético. Segunda safra. *Oryza sativa* L.

## ABSTRACT

Considered a cash crop with social and environmental impact, rice is important for job opportunities, food security, and sustainability, and is also considered a fundamental species and the base for the diet of more than half the world's population. Due to the advance of other major crops, its production and area have been decreasing over the past years even though its demand continues to increase, requiring the search for strategies to reverse this situation. Thus, one of the objectives of the breeding program of upland rice is to work on the development of productive lines with wide adaptation and stability to climatic adversities aiming its cultivation in the second crop. As part of this search, this work aims to study the phenotypic response and behavior of upland rice lines submitted to different planting seasons. The experiments were conducted in the second crop of 2022, in Lavras, Minas Gerais. Eight elite rice genotypes from Melhor Arroz were used for evaluation. The experiment consisted of four sowing seasons, with a 7-day interval: January 28, 2022, February 4, 11, and 18, 2022. The experimental design used was randomized block design (BCT), consisting of 24 plots with 3 replications each. The results indicated earliness for the genotypes CMG ERF 81-2 and CNAx20665-B-6 Trat 81 EO, while the genotypes P85-15-CNAx18874-B-5-6 Trat. 17 of Preliminary and NAx20663-B-14 Trat. 78 EO were the most delayed. The genotypes 1 P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B, CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO and CMG ERF 81-2 showed higher grain yield in all seasons. Sowing performed on January 28, the first season was considered the most indicated for rice production, considering the average phenotypic performance of the genotypes. Therefore, comparing all genotypes, the early ones presented the best performance within the study for planting in the second crop.

**Keywords:** Plant Breeding. Second crop. *Oryza sativa* L.

## SÚMARIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Panorama da cultura do arroz no Brasil e no mundo.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Principais fatores que influenciam a produção do Arroz de Terras Altas e sua viabilidade do cultivo na segunda safra.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3 O melhoramento genético de Arroz de Terras Altas.....</b>	<b>18</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1 Local.....</b>	<b>21</b>
<b>3.2 Genótipos.....</b>	<b>22</b>
<b>3.3 Condução dos experimentos .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4 Características avaliadas .....</b>	<b>23</b>
<b>3.5 Análises estatísticas .....</b>	<b>23</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>25</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>31</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) dentre os cereais possui alta importância social e econômica, representando 33% da produção mundial de cereais, sendo consumido pelas populações em todos os quadrantes do globo terrestre e cultivado em todos os continentes (EMBRAPA, 2021). Durante a safra de 2020 o Brasil foi responsável pela produção de 11.091.011 toneladas de arroz (1,5 % da produção mundial) e ainda em 2023 permanece como o único país não-asiático entre os 10 maiores produtores de arroz, sendo responsável por 1,44% da produção mundial (EMBRAPA, 2021; USDA, 2022; CONAB, 2023a).

Segundo o 6º levantamento do acompanhamento da safra brasileira de grãos, realizado pela Conab, espera-se um aumento na produtividade de arroz para a safra de 2022/2023, passando de 6.667 kg/ha do ano anterior, para 6.733 kg/ha. No entanto, a expectativa para a produção nacional é uma queda em torno de 8,4%, totalizando 9.879,9 milhões de toneladas produzidas para essa safra (CONAB, 2023b). A queda observada pode ser atribuída a diversos fatores, como a diminuição da área dedicada ao cultivo de arroz, que tem sido substituída por culturas mais rentáveis, como a soja e o milho. Além disso, o aumento dos custos de produção devido ao encarecimento dos insumos também tem impactado negativamente a produção de arroz (CONAB, 2022). Embora o valor bruto da produção de arroz tenha diminuído, em comparação a outras commodities, é importante ressaltar seu impacto social e ambiental, como a geração de empregos, segurança alimentar e sustentabilidade (CASTRO; FERREIRA; SILVA, 2022).

No Brasil o cultivo de arroz é realizado em dois sistemas de cultivo, o sistema de sequeiro, também chamado de “cultivo em terras altas”, e o sistema irrigado ou “várzeas” (BORÉM; RANGEL, 2015). Ainda que o arroz de terras altas represente uma parcela menor da produção total de arroz, este desempenha um papel crucial no abastecimento interno do país, além de contribuir para a produção de arroz total do país, também atua como regulador de preços, favorecendo uma melhor distribuição regional do cereal (EMBRAPA, 2005).

Considerando que a ocorrência de estresses bióticos e abióticos podem reduzir a produção de arroz inundado e devido a crescente competição com outras culturas, principalmente as commodities, é estratégico a busca por soluções para a produção deste cereal (EMBRAPA, 2005). Em vista disso, o arroz de terras altas torna-se uma alternativa promissora para o cenário global e ambiental, uma vez que permite ser conduzido em regiões sem inundação e ter suas necessidades hídricas atendidas pela precipitação pluvial ou de forma suplementar pela irrigação por aspersão (XIA et al., 2019). Em adição, o arroz de terras altas

possui viabilidade de posicionamento na segunda safra (safrinha), em áreas sob pivô e com o auxílio do melhoramento genético, sendo uma alternativa positiva para reverter a queda recorrente de área plantada e incentivar ainda sua inserção na rotação de culturas (CASTRO; FERREIRA; SILVA, 2022).

A maior concentração de áreas de pivôs no Brasil está situada na região central, onde diversas culturas são irrigadas (SANO et al., 2005). Dessa forma, durante os cultivos da primeira safra e da safrinha, em épocas que geralmente possuem chuvas abundantes entre novembro e maio e a utilização dos pivôs é feita de maneira pontual, o arroz de terras altas, surge como uma nova opção econômica, rentável e sustentável para ser inserido em áreas irrigadas com pivô (SANTANA, 2022). Contudo, para se ter sucesso na inserção da cultura neste sistema de produção é preciso um trabalho conjunto com o melhoramento genético em busca de genótipos mais adaptáveis nessa janela de plantio e que o desempenho esperado pelo produtor (SOUZA, 2007).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento fenotípico de linhagens de arroz de terras altas, visando selecionar genótipos para o posicionamento na segunda safra e que sejam altamente produtivos. Além disso, buscou-se selecionar genótipos promissores para fins de melhoramento genético, com o propósito de manter a segurança alimentar do país, ao mesmo tempo em que promove uma maior sustentabilidade econômica e ecológica para a cultura do arroz.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Panorama da cultura do arroz no Brasil e no mundo

O arroz é alimento básico na dieta de mais da metade da população mundial, sobretudo de países emergentes (BORÉM; RANGEL, 2015). Sua cadeia produtiva influencia diretamente a renda, a saúde e o bem-estar social da população. Por ser denominada uma cultura rústica, possui ampla adaptabilidade e estabilidade de produção, sendo uma espécie importante para a segurança alimentar do mundo (LIMA, 2020). Assim, é cultivado em todos os continentes e ocupa a terceira posição entre os cereais mais produzidos no mundo, superado apenas pelo milho e pelo trigo (EMBRAPA, 2019).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2022), a produção de arroz a nível mundial na safra 2021/2022 foi de 525.5 milhões de toneladas e com uma expectativa de 511.6 milhões de toneladas para a safra de 2022/2023. Enquanto isso, a projeção esperada pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2022) é de 503.0 milhões de toneladas para a safra de 2022/2023. Se tratando do Brasil, dados da safra de 2020 apontam uma produção de 11.091.011 toneladas de arroz (1,5 % da produção mundial) (EMBRAPA, 2021). De acordo com Gomes e Magalhães Jr. (2004), o arroz é cultivado em todas as Unidades da Federação e representa de 15% a 20% do total de grãos colhidos no país.

Dentre as técnicas de cultivo existentes, duas caracterizam a cultura do arroz: o arroz de terras altas (sequeiro e irrigado por aspersão) e o arroz irrigado por inundação (várzea e inundado) (DALCHIAVON, 2010). A forma de executar essas duas técnicas é bastante diferente, o sistema irrigado demanda conhecimento do rizicultor (produtor de arroz) para o manejo, preparo do solo, adubação, sementes, entre outros, apresentando alto custo de investimento no preparo da terra e insumos. Já o sistema de terras altas requisita poucos insumos, constituindo baixo custo de investimento inicial, diferindo-se do arroz irrigado, uma vez que na maior parte da safra é realizado em à terra seca (COLOMBO; JÚNIOR, 2015).

Sendo o Brasil o maior produtor de arroz na América Latina e levando em consideração a produção desse cereal nos dois sistemas de cultivo: o sistema inundado é responsável por 80% da produção interna, enquanto o sistema de terras altas é responsável pelos outros 20% da produção (SOSBAI, 2018). Em 2022, a área destinada a esses dois sistemas de cultivo foi de 1.302,3 mil hectares para o arroz irrigado e 316,0 mil hectares para o arroz de sequeiro. No entanto, espera-se uma redução da área para ambos os sistemas no ano de 2023, enquanto a produtividade deve apresentar um aumento de 3% (CONAB, 2023a).

Sendo uma grande responsável pela segurança alimentar do mundo, a FAO obteve dados sobre a situação alimentar mundial, “World Food Situation”, onde houve uma queda na produção de arroz polido de 2,1% em 2022, com relação a 2021 (FAO, 2022). Essa queda pode ser observada no Brasil com o avanço do plantio da soja e do milho devido à alta no seu faturamento e ao aumento do custo de produção do arroz, ao longo de 16 anos a área de plantio de arroz no Brasil caiu 44% (IBGE, 2022). A produção nacional de arroz necessária para abastecer a demanda interna dos consumidores em 2030 deverá alcançar 14 milhões de toneladas, superando os atuais 11 milhões e uma das maiores expectativas para suprir essa demanda é o investimento em tecnologias e diversificação da produção, tornando o sistema produtivo mais sustentável (CALICIOGLU et al., 2019).

Uma das estratégias a serem adotadas para o arroz, tanto o inundado quanto para o de sequeiro, é sua inserção no sistema de produção em rotação ou sucessão de culturas, o que pode promover uma redução no uso de herbicidas, proporcionando o aumento da biodiversidade, ganhos produtivos pelas complementariedades geradas no preparo do solo, no combate às plantas daninhas e na fertilidade do solo, resultando na diminuição dos custos de produção da atividade arroteira (QUEVEDO et al., 2022). O cultivo do arroz em sucessão a soja pode proporcionar incremento de até 20% na produtividade da soja (NASCENTE; STONE, 2018).

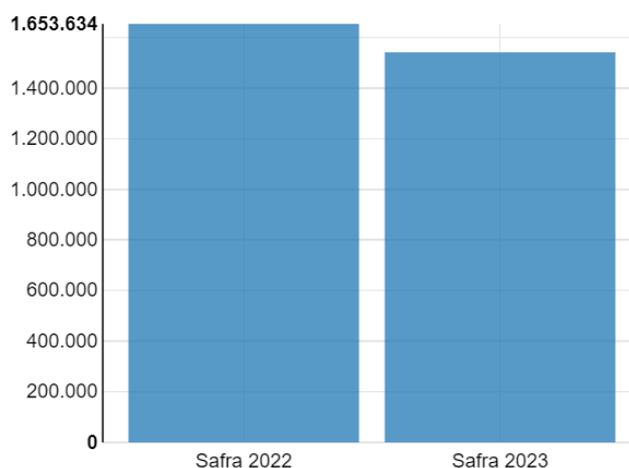
Na figura 1, observa-se a produção em toneladas das culturas de arroz, milho primeira e segunda safra, e soja. Dentro dos anos de 2022 e 2023 nota-se como houve um avanço na produção de milho e soja dentro do país, em detrimento da queda na produção de arroz. Essa mudança também pode ser vista na variação correspondente a área plantada com arroz dentre os anos de 2022 e 2023, em hectares, dentro do país (FIGURA 2).

**Figura 1 - Levantamento sistemático da produção agrícola.**

Variável - Produção (Toneladas)		
Brasil		
Mês - maio 2023		
Produto das lavouras	Ano da safra	
	Safra 2022	Safra 2023
Total	..	..
1.4 Arroz	10.658.247	10.065.640
1.13 Milho (1ª Safra)	25.426.766	27.899.837
1.14 Milho (2ª Safra)	84.739.443	94.904.709
1.15 Soja	119.523.533	148.195.791

Fonte: IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola

Fonte: IBGE (2023).

**Figura 2 – Levantamento sistemático da área plantada com arroz em hectares.**

Fonte: IBGE (2023).

Os valores representados na figura 2 correspondem a área plantada conjunta dos dois sistemas de produção do arroz, nota-se que essa queda vem ocorrendo não somente devido ao avanço das outras culturas mas também pelos desafios relacionados ao manejo do arroz que o produtor tem encontrado. Assim, a busca e investimento em tecnologias e diversificação da produção como forma de aumentar a colheita de arroz se tornam mais chamativas, de maneira a expandir novamente a área cultivada de uma forma mais sustentável e aumentando a produtividade nas diferentes regiões orizícolas (CONAB, 2022).

Embora sua contribuição tenha diminuído ao longo dos anos, o arroz de terras altas desempenha papel econômico e social importante no cerrado brasileiro, sobretudo nos estados

de Mato Grosso, Minas Gerais, Tocantins e Goiás (FERREIRA et al., 2005). Além disso, tem características importantes no cenário global e ambiental, principalmente quando observado as mudanças climáticas constantes, devido ao fato de permitir ser conduzido em regiões sem inundação e ter suas necessidades hídricas atendidas pela precipitação pluvial ou de forma suplementar, pela irrigação por aspersão (XIA et al., 2019).

A figura 3 mostra a evolução da produtividade média de arroz nos sistemas de cultivo envolvendo o arroz de terras altas dentro do período de 2009 a 2018 no Brasil. Nota-se o potencial da cultura quanto a produtividade, com uma evolução de 1.210 kg ha<sup>-1</sup> na produção total de 2009 para 2018.

**Figura 3** - Evolução da produtividade média de arroz.

Ano agrícola	Sistema de cultivo			Total (kg ha <sup>-1</sup> )
	Terras altas (1.000 t)	Irrigado com irrigação controlada (kg ha <sup>-1</sup> )	Irrigado sem irrigação controlada (kg ha <sup>-1</sup> )	
2009	1.860	6.924	2.586	3.790
2010	1.789	6.484	2.903	3.744
2011	1.982	7.277	2.476	3.912
2012	1.630	7.157	4.925	4.571
2013	1.701	7.219	4.929	4.616
2014	1.984	7.180	7.740	5.635
2015	2.079	7.505	6.294	5.293
2016	1.935	6.945	5.991	4.957
2017	2.318	7.740	5.991	5.350
2018	2.352	7.649	0	5.000

Fonte: EMBRAPA, 2019.

Apesar de apresentar uma área cultivada inferior à destinada ao arroz irrigado, o arroz de terras altas possui grande potencial, pesquisas realizadas dentro do programa de melhoramento de arroz de terras altas de Minas Gerais mostram genótipos com produtividade média de 4.816,35 kg ha<sup>-1</sup> (CASTRO et al., 2019). A média de produtividade do estado de Minas Gerais, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento é de 2.791 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). Nacionalmente, o Mato Grosso se tornou o maior produtor de grãos do país e sempre esteve entre os quatro maiores produtores brasileiros de arroz de terras altas devido às políticas implantadas e, principalmente, por conta da pesquisa e modernização da atividade agropecuária (CONAB, 2015).

## **2.2 Principais fatores que influenciam a produção do Arroz de Terras Altas e sua viabilidade do cultivo na segunda safra**

A produtividade da cultura do arroz pode ser influenciada por inúmeras variáveis, dentre elas destaca-se a temperatura, o fotoperíodo, a radiação solar e a precipitação pluvial como os elementos climáticos de maior importância para o crescimento e desenvolvimento do arroz (DALLAGNOL et al., 2006; LAGO, 2009). Ao passo que aumentar a produção de grãos em um cenário de escassez hídrica, diminuição das áreas agricultáveis e mudanças climáticas é o grande desafio da agricultura na atualidade (BOUMAN, 2007).

Quando em condições favoráveis durante o ciclo da cultura do arroz, especialmente durante o estágio reprodutivo, e com o manejo realizado de forma efetiva, espera-se elevados níveis de produtividade. No entanto, quando as condições de cultivo são desfavoráveis, estas podem resultar em baixas produções nas safras, sendo determinada pela duração e à intensidade das condições meteorológicas (STEINMETZ et al., 2013; SILVA et al., 2022).

A limitação na disponibilidade de água na cultura de arroz é muito prejudicada dependendo da fase fenológica da planta e os efeitos devido a esse estresse podem ser variáveis (INMET, 2009). De modo geral sua deficiência não reduz severamente a produtividade de arroz quando ocorre na fase vegetativa, demonstrando efeitos severos quando ocorre durante a fase reprodutiva, especialmente no período da divisão da célula-mãe do pólen (meiose) e no florescimento. O efeito da deficiência hídrica na produtividade dá-se pela interferência nos processos fotossintéticos, transporte de carboidratos, redução de índice de área foliar, inibição da emissão das panículas e na esterilidade de espiguetas (GUIMARÃES et al., 2002).

No começo do período “das águas”, a ocorrência de precipitações pluviais é incerta e, em janeiro e fevereiro, podem acontecer períodos de estiagem, denominados veranicos, o que reduz significativamente a produtividade de arroz (SILVA, 2012). A ocorrência de estiagem é caracterizada pela alta demanda evaporativa do ar, pelos altos níveis de radiação solar e temperaturas do ar elevadas ( INMET, 2009). Por isso, muitos produtores de grandes culturas, fazem uso do pivô central de forma pontual, obtendo maior controle sob as necessidades hídricas das culturas, contribuindo ainda mais para suas expansões na produção (EMBRAPA, 2021). Embora a irrigação por pivô central seja uma prática estabelecida há muitos anos no Brasil, é importante destacar que o cultivo de arroz não tem um papel significativo nesse sistema.

Mesmo na presença de intempéries, a cultura do arroz destaca-se por apresentar facilidade de adaptação a condições edafoclimáticas distintas, sendo cultivado nos mais

diversos ambientes (ROTILI et al., 2010). Podendo ser cultivado em uma faixa de grande amplitude, desde as regiões tropicais até as temperadas (BARRIGOSI et al., 2009).

A temperatura é um dos elementos climáticos de maior relevância para o crescimento, desenvolvimento e produtividade do arroz (TEIXEIRA et al., 2017), cada fase fenológica da planta possui suas temperaturas críticas ótima, mínima e máxima. A temperatura ótima para o desenvolvimento do arroz situa-se na faixa de 20 a 35 °C para a germinação, de 30 a 33 °C para a floração e de 20 a 25 °C para a maturação. No arroz o período da fase vegetativa, ou seja, no emborrachamento, que ocorre dias antes do florescimento, é o mais sensível a baixas temperaturas. A faixa crítica de temperatura que pode induzir esterilidade no arroz é de 15 a 17 °C para os genótipos tolerantes ao frio, e de 17 a 19 °C para os mais sensíveis. A ocorrência de altas temperaturas diurnas, superiores a 35 °C, também pode causar esterilidade de espiguetas. Sendo a floração a fase mais sensível do arroz a ocorrência de altas temperaturas (ZANIN, 2012; SOSBAI, 2018).

Stansel (1975), Yoshida e Parao (1976) relatam que a produtividade de grãos da cultura do arroz é altamente influenciada pela disponibilidade de radiação solar, principalmente na fase reprodutiva. Isso acontece, pois toda energia necessária para a realização da fotossíntese, processo que transforma o CO<sub>2</sub> atmosférico em energia metabólica, é proveniente da radiação solar (TAIZ; ZIEGER, 2004).

O fotoperíodo, ou seja, o número de horas de luz no dia, influencia no desenvolvimento da planta de arroz, que é uma planta de dias curtos. Sua diferenciação floral inicia-se em resposta aos dias curtos, podendo ser retardada ou não iniciada quando a planta é submetida a longos fotoperíodos. O fotoperíodo ótimo para a maioria das cultivares de arroz situa-se entre 9 e 10 horas, já o fotoperíodo crítico é o maior fotoperíodo no qual a planta irá florescer ou o fotoperíodo além do qual a planta não irá florescer (GUIMARÃES et al., 2002).

A planta de arroz, segundo sua reação ao fotoperíodo, pode ser classificada: insensível quando a fase sensível ao fotoperíodo é curta, inferior a 30 dias, e a fase vegetativa básica varia de curta a longa; pouco sensível quando a um aumento acentuado no ciclo da planta e o fotoperíodo é maior do que 12 horas, a duração da fase sensível ao fotoperíodo pode exceder 30 dias, mas a floração irá ocorrer em qualquer fotoperíodo longo; muito sensível onde a grande aumento no ciclo com o incremento no fotoperíodo, não há florescimento além do fotoperíodo crítico e a fase vegetativa básica é, normalmente, pequena, não mais do que 40 dias (GUIMARÃES et al., 2002). Segundo Guimarães e colaboradores (2002), as cultivares insensíveis ao fotoperíodo podem florescer e amadurecer durante todo o ano, desde que não haja limitações quanto à temperatura e ao suprimento de água.

Segundo Guimarães et al. (2008), o arroz de terras altas apresenta produtividades de grãos inferiores quando comparado com o arroz de várzea, sobretudo pela instabilidade climática durante o período de cultivo. Isso justifica o fato de ser um sistema que precisa de investimento em novas pesquisas para alcançar seu real potencial produtivo. Quando manejada adequadamente, a cultura do arroz de terras altas é capaz de atingir produtividades elevadas (de 6.000 kg/ha a 6.900 kg/ha, com potencial produtivo de 9.000 kg/ha) sob pivô (SANTANA, 2022; TOMÉ et al., 2019; GUIMARÃES et al., 2001). Além disso, o cultivo de arroz de terras altas, apesar do menor custo e produtividade, é competitivo não somente pelo valor da tonelada produzida, mas também por estar inserido em uma dinâmica agrícola com outras culturas, como o milho, a soja, o algodão e a pecuária (FERREIRA et al., 2005).

Além do clima e seus componentes, outro fator responsável pelo sucesso da cultura do arroz no campo é o solo e os cofatores que podem ser descritos no seu íterim. Quanto à acidez do solo, embora a faixa mais indicada de pH seja entre 5,7 e 6,2, o arroz produz ainda em solos que tenham alto índice de acidez e baixo teor de elementos minerais. Por sua vez, em terrenos alcalinos, o arroz não se dá bem (RICKMAN; ZANDAMELA, 2011).

Grande parte das lavouras de arroz de sequeiro está localizada na região dos cerrados e, conseqüentemente, os solos apresentam baixa fertilidade evidenciando o manejo da fertilidade como um dos fatores essenciais para o cultivo (AGEITEC, 2018; NUNES; MARTINS, 2017). Os elementos essenciais, como o nitrogênio, o fósforo e o potássio são os que a planta necessita em maiores proporções (FAGERIA, 1984) e o uso adequado da adubação é uma forma viável para aumentar a produtividade, além de reduzir custos na produção e possibilitar maior rentabilidade aos produtores (AGEITEC, 2014; NUNES; MARTINS, 2017).

A adubação nitrogenada influencia algumas características morfológicas da cultura do arroz de terras altas, podendo afetar positiva ou negativamente a produtividade. Elevadas doses de N aplicadas em cultivares tradicionais geralmente ocasionam o acamamento das plantas (ARF et al., 2005). No trabalho realizado por Arf e colaboradores (2015), os autores verificaram que com o aumento da dose de adubação nitrogenada houve maior altura de plantas e maior acamamento, sendo a dose máxima utilizada de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. A recomendação de Raij, Cantarella e Camargo (1997) para adubação nitrogenada no arroz de terras altas é de 10 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e de 20 a 60 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, sendo a última dose para produtividade esperada de 2.500 a 4.000 kg ha<sup>-1</sup>.

Sabe-se que o desenvolvimento de qualquer cultura depende da interação genótipo-ambiente, sendo que cada cultivar tem um determinado desenvolvimento de acordo com o local em que é cultivado (COLOMBARI FILHO et al., 2013). A escolha do cultivar adequado, de

acordo com o local é de suma importância para um bom desempenho da cultura, uma vez que a produtividade estará diretamente relacionada com o genótipo de cada cultivar, com as condições edafoclimáticas e com o manejo filotécnico utilizado durante a condução da cultura (ENCISO, 2021). Atualmente, há um crescimento na quantidade de materiais de arroz de terras altas disponíveis, sendo necessário verificar qual cultivar deve ser escolhido de acordo com o sistema em que se deseja produzir e as condições do local, levando em consideração o manejo a ser adotado para a cultura (COLOMBARI FILHO; RANGEL, 2015). Normalmente, as cultivares de arroz de sequeiro apresentam ciclo entre 110 e 155 dias (CONAB, 2015; NUNES, 2016).

Uma estratégia que vem crescendo é o sistema de rotação de culturas, que promove sustentabilidade adotando manejos adequados de preparação de solo, especificamente o arroz de terras altas em solos de cerrado a produtividade estabiliza ou decresce no segundo ano da monocultura e diminui nos anos posteriores, no entanto, quando rotacionado a cada dois anos com soja, aumenta significativamente a produtividade (NUNES; MARTINS, 2017).

Condições ambientais desfavoráveis ao bom desenvolvimento do arroz, tais como altas e/ou baixas temperaturas, déficit hídrico, solos de baixa fertilidade, salinidade, dentre outros, causam perdas de rendimento produtivo em todos os continentes. O estresse por deficiência hídrica, comum nos ecossistemas de cerrados e ou savanas, é resultado da constante interação no dinâmico sistema entre solo-planta-atmosfera, selecionando modificações nas plantas de ordem morfofisiológicas e bioquímicas (NUNES, 2009).

### **2.3 O melhoramento genético de Arroz de Terras Altas**

Existem mais de duas mil cultivares de arroz plantadas no mundo, somente no banco de germoplasma do IRRI, estão conservados cerca de 83 mil acessos. Essa diversidade confere ao arroz diferentes atributos, como distintos ciclos de desenvolvimento, morfologias da planta, tipo de grão, resistência ao acamamento, resistência e/ou tolerância aos fatores bióticos, como a tolerância a doenças e pragas, competição com plantas daninhas e resistência e/ou tolerância aos fatores abióticos, tais como temperatura, seca, acidez do solo e deficiências de elementos minerais, além de distintas produtividades biológica e retornos econômicos (FERREIRA et al., 2005). A utilização dos recursos genéticos disponíveis em bancos de germoplasmas é uma estratégia importante para incorporação de variabilidade em programas de melhoramento, o que pode potencialmente gerar novas cultivares com o aumento da base genética (MC COUCH, 2005).

O melhoramento genético da cultura do arroz há muitos anos tem sido responsável pelo lançamento de cultivares com potencial produtivo cada vez mais elevados (STRECK, 2017; BOTELHO et al., 2018). A produtividade de grãos para a lavoura de arroz, assim como para todas as demais culturas é o caráter mais importante a ser avaliado nos programas de melhoramento genético (RAMALHO et al., 2012). A prioridade são características como produtividade, precocidade, menor porte, redução na probabilidade de acamamento, folhas menores e mais eretas, para melhor aproveitamento da radiação solar, resistência às principais doenças e certa tolerância à seca (SOARES et al., 2003). Mas além disso, o melhoramento genético também busca o desenvolvimento de linhagens resilientes, com ampla adaptação às adversidades climáticas em diferentes ambientes, visando além da diminuição do estresse, a inserção do arroz de terras altas no sistema agrícola em duas safras (SOARES et al., 2019).

De acordo com Breseguelo et al. (2011) o melhoramento genético de arroz de terras altas no Brasil pode ser dividido em três fases, a fase I (1984-1992) foi o período de testes, quando um grande número de linhagens introduzidas foram testadas, mas nenhum ganho genético para produtividade de grãos foi alcançado. A fase II (1992-2002) foi marcada por uma forte influência dos materiais introduzidos, especialmente do CIAT e dos Estados Unidos. Muitos materiais foram introduzidos e proporcionaram uma grande variabilidade e houve diminuição na estatura das plantas, redução do acamamento e diminuição no ciclo. A fase III (2002–2009) representa o estágio atual do Programa de Melhoramento da Embrapa, com ênfase na seleção para produtividade de grãos e mantendo outros caracteres dentro de um intervalo adequado, sendo o mais alto ganho genético para produtividade de grãos na terceira fase.

Dentro da última fase, o Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras, em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), vem desenvolvendo há mais de vinte anos linhagens competitivas dentro do mercado da orizicultura (SOARES et al., 2003; BORGES et al., 2009). Dentro do programa é realizada, em todas as etapas, a seleção para múltiplos caracteres, permitindo que quando em gerações avançadas, as linhagens selecionadas apresentem um conjunto de caracteres agronomicamente favoráveis associados no mesmo genótipo.

Além de visar a obtenção de linhagens produtivas também associa-se a precocidade, principalmente devido à sensibilidade da planta de arroz em relação à falta de água durante o florescimento, uma vez que a escassez da água ou seca em fases críticas, como no período da floração, pode causar redução de até 70% da produtividade no arroz (GOSAL et al., 2009; YANG et al., 2019). Esse estágio de desenvolvimento da planta ocorre em janeiro, mês em que

há grandes chances de ocorrer veranicos, sendo assim, quanto mais cedo as plantas emitirem as panículas, mais favorável será para o desempenho superior do genótipo. Além do fato de a linhagem permanecer um menor período exposta no campo aos diversos estresses bióticos e abióticos (SOARES et al., 2019).

O melhoramento genético tem desempenhado um importante papel no progresso do arroz, pois possibilita aos agricultores o cultivo de constituições genéticas de alto potencial produtivo e com caracteres agronômicos de interesse na cadeia produtiva (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007). Desta maneira, devem ser considerados como uma das mais promissoras estratégias para a manutenção e expansão do cultivo do arroz. A demanda atual por cultivares de arroz precoces e produtivas, juntamente com o aumento da área cultivada na segunda safra, ressalta a importância do arroz nos sistemas de produção visando promover a sustentabilidade da produção nacional (LIMA et al., 2020).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Local

Os experimentos foram realizados na segunda safra de 2021/2022, em Lavras, Minas Gerais, Brasil, na unidade experimental situada no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As coordenadas geográficas, altitudes e tipo de clima, pela classificação Köppen-Geiger, estão descritos na tabela 1. Os dados referentes a climatologia dos ambientes experimentais foram coletados e estão descritos na figura 4.

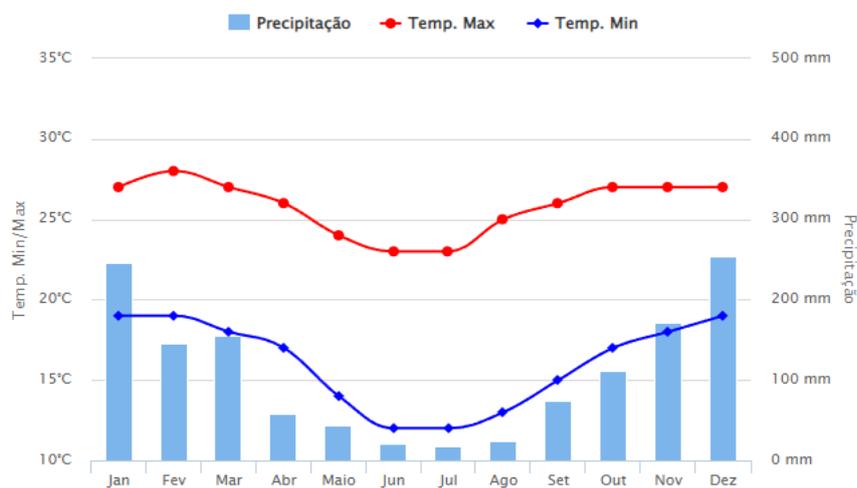
**Tabela 1** – Coordenadas geográficas e altitude no município de Lavras onde os experimentos foram conduzidos.

Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Clima
Lavras	21°14'S	44°59'W	919	Cwa*

\*A denominação Cwa refere-se a Clima subtropical úmido influenciado pelas menções.

Fonte: Da autora (2023).

**Figura 4** – Precipitações e temperaturas médias durante a realização dos experimentos, semeadura em janeiro e fevereiro de 2022.



Fonte: INMET (2022).

### 3.2 Genótipos

Foram avaliadas oito linhagens elites de arroz de terras altas provenientes do Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Altas da Universidade Federal de Lavras – Melhor Arroz, em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) (TABELA 2).

**Tabela 2** – Linhagens elite pertencentes ao Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras – Melhor Arroz em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e EPAMIG.

Identificação	Nome da Cultivar/Linhagem
1	1 P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B
5	CNAx20663-B-14 Trat. 78 EO
7	CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO
8	CMG ERF 81-2
10	P85-15-CNAx18874-B-5-6 Trat. 17 do Preliminar
16	OBS1819-126-9 Trat. 7 do Preliminar
17	CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO
18	CNAx20665-B-6 Trat 81 EO

Fonte: MELHOR ARROZ (2022).

### 3.3 Condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados (DBC) e em esquema fatorial, sendo avaliado sob quatro (4) épocas de semeadura, em intervalo de 7 dias, sendo elas: 28 de janeiro de 2022 (época 1), 4 de fevereiro de 2022 (época 2), 11 de fevereiro de 2022 (época 3) e 18 de fevereiro de 2022 (época 4). Cada experimento foi constituído de 24 parcelas, com oito genótipos e com três repetições. Cada parcela foi composta por três linhas de 4,0 m de comprimento, espaçadas em 0,17 m e com densidade de semeadura de 90 sementes por metro linear. As avaliações foram realizadas na área útil de cada parcela, definida como a linha central e as duas linhas laterais serviram de bordadura.

As técnicas de manejo foram uniformes para todo o experimento, seguindo o recomendado por Utumi (2008). Para o controle de doenças fúngicas não houve a utilização de defensivos agrícolas, pois o programa de melhoramento também realiza a seleção de genótipos quanto à resistência a doenças. O manejo de plantas daninhas foi iniciado logo após a

emergência e conduzido de acordo com o recomendado para a cultura de arroz de terras altas na região. Todos os tratamentos receberam uma adubação de base usando NPK, com 20 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O antes da semeadura. Durante os estágios fenológicos V3 ou V4 e antes do início do perfilhamento foram realizadas duas adubações de cobertura, de forma a estimular o desenvolvimento vegetativo das plantas, totalizando 90 kg de N por hectare.

A colheita foi realizada de forma manual conforme a maturação específica do ciclo de cada linhagem. Os grãos colhidos foram submetidos à secagem a pleno sol no Setor de Grandes Culturas do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras conforme a normativa de Utumi (2008). Os grãos foram dispostos sobre lonas ao sol para sua secagem, sendo constantemente revolvido, a fim de potencializar a sua troca de umidade com o ambiente. Esta mesma umidade foi monitorada até que atingisse o valor de 13%, fazendo o uso do medidor de umidade agrologic AL-102. A operação de limpeza dos grãos foi realizada por meio da separação dos grãos cheios, grãos vazios e palha, com o auxílio de uma máquina de abanar.

### 3.4 Características avaliadas

Foram avaliados o número de dias até o florescimento (DFL) por meio da avaliação fenotípica das plantas das parcelas, anotando-se o número de dias decorridos entre a semeadura até que 50% das plantas estivessem no estágio R4, com uma ou mais floretes da panícula em antese.

Para o rendimento de grãos por parcela (PG) realizou-se o peso dos grãos da área útil de cada parcela após colheita, limpeza e secagem para 13% de umidade.

### 3.5 Análises estatísticas

A abordagem utilizada para a análise conjunta dos dados foi por via de modelos mistos, devido ao desbalanceamento dos dados. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do ambiente computacional *R* (R CORE TEAM, 2020), pelo algoritmo REML/BLUP, em que os componentes de variância e parâmetros genéticos foram estimados via REML (máxima verossimilhança restrita) e predição das médias ajustadas por meio do BLUP (melhor predição linear não viesada), sendo o modelo linear utilizado misto, representado pela equação 1:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{Xb} + \mathbf{Zu} + \mathbf{e} \quad (1)$$

Onde:

**y**: vetor de observações de parcelas em cada ambiente;

**b** e **u**: vetores de efeitos fixos (blocos e épocas de semeadura) e aleatórios (de genótipos mais as interações), respectivamente;

**e**: vetor aleatório de erros;

**X** e **Z**: matrizes de incidência para os efeitos fixos e aleatórios, respectivamente.

Neste conjunto de dados, assumiu-se que  $e \sim N(0, R)$  e  $u \sim N(0, \Sigma)$ . Utilizando a matriz de equações de modelos mistos (MEMM):

$$C = \begin{vmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + \Sigma^{-1} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{vmatrix}$$

A partir do logaritmo natural, derivando em relação a **b** e **u**, considerando as matrizes de variância, covariância genética  $\Sigma$  e de efeito aleatório  $R$  conhecidas, se obtém a equação de modelos mistos multivariada, dada por:

$$\begin{vmatrix} X'R^{-1}X & X'R^{-1}Z \\ Z'R^{-1}X & Z'R^{-1}Z + \Sigma^{-1} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X'R^{-1}y \\ Z'R^{-1}y \end{vmatrix}$$

Realizando algumas manipulações e assumindo a matriz dos autovetores  $V = ZR^{-1} - Z' + \Sigma$ , sendo  $\Sigma$  a matriz de variância e covariância genética,  $Z$  a matriz de incidência dos vetores de efeitos aleatórios e  $R$  é a matriz de variância e covariância para efeitos residuais, a estimação dos BLUP's (efeitos fixos) é dada por (Equação 2):

$$\hat{b} = (X'V^{-1}X)^{-1}X'V^{-1}y \quad (2)$$

E a estimação dos BLUP's (efeitos aleatórios) é dada por (Equação 3):

$$\hat{u} = Z'\Sigma V^{-1}(y - Xb) \quad (3)$$

a) **Acurácia de seleção (Ac)** (Equação 4):

$$Ac = \sqrt{h_{gm}^2} \quad (4)$$

b) **Coefficiente de variação genotípico (CV<sub>g</sub>) e residual (CV<sub>r</sub>)** (Equação 5 e 6):

$$CV_g = (\sqrt{\sigma_g^2} / \mu) \times 100 \quad (5)$$

$$CV_r = (\sqrt{\sigma_e^2} / \mu) \times 100 \quad (6)$$

Sendo a razão entre eles dada por (Equação 7):

$$CV_{ratio} = [(\sqrt{\sigma_g^2} / \mu) / (\sqrt{\sigma_e^2} / \mu)] \times 100 \quad (7)$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para uma maior eficiência e assertividade na apuração, análise e seleção dos dados é imprescindível que os experimentos apresentem alta precisão (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). Dessa forma, a acurácia é um parâmetro que mensura a correlação entre os valores dos genotípicos preditos e os reais, sendo que valores acima de 70% podem ser considerados de alta acurácia, o que refletirá em uma alta precisão experimental (RESENDE; DUARTE, 2007). Correspondente ao experimento, os dados apresentados na Tabela 3 mostram que houve variação na acurácia seletiva ( $r_{gg}$ ) entre as características avaliadas, sendo considerada de elevadas magnitudes para PG e para DFL, 0.776 e 0.957, respectivamente.

Além da acurácia, a partir das informações coletadas ao longo do experimento foram estimados três outros parâmetros relevantes ao melhoramento genético de plantas, o coeficiente de variação genética (CVg), o coeficiente de variação residual (CVr) e o coeficiente de variação relativa (CV ratio) dado pela razão entre o coeficiente de variação genética e o coeficiente de variação residual. Os parâmetros foram estabelecidos para cada característica avaliada (Tabela 3).

**Tabela 3** – Estimativas dos testes de razão de verossimilhança e parâmetros genéticos referentes à análise conjunta dos dados coletados envolvendo os genótipos testados na safrinha 2022, em Lavras - MG, para as características: número de dias até o florescimento (DFL) e rendimento de grãos por parcela (PG).

Fonte Variância	DFL	PG
Genótipo (G)	3.41e-05*	0.2313 <sup>ns</sup>
Ambiente $\epsilon$	3.74e-04*	0.0136*
G x E	5.43e-01 <sup>ns</sup>	0.1222 <sup>ns</sup>
Acurácia ( $r_{gg}$ )	0.957	0.776
Cvg (%)	8.189	25.672
Cvr (%)	7.635	52.713
CV ratio (%)	1.073	0.487

Legenda: \* - valor significativo ( $p < 0,05$ ) pelo teste F; <sup>ns</sup> não significativo ( $p > 0,05$ ) pelo teste F;  $r_{gg}$ : acurácia seletiva, CVg: coeficiente de variação genético, CVr: coeficiente de variação residual e coeficiente de variação relativo, pela razão entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação residual (CV ratio).

Fonte: MULHANGA (2023).

A presença de variabilidade genética pode ser confirmada e quantificada pelo coeficiente de variação genética (CVg), que expressa a magnitude da variação genética em relação à média do caráter (RESENDE et al., 1991). Os coeficientes de variação genética acima de 7% são considerados altos por Sebbenn et al. (1998). Dessa forma, para o CVg, obteve-se variação de 17.483, sendo de alta precisão para o caráter DFL (8.189) e média precisão para o caráter PG (25.672). Essa pequena magnitude de variação possivelmente se deve ao fato de os genótipos avaliados serem provenientes de populações com um histórico semelhante de um mesmo programa de melhoramento genético.

Os valores para o coeficiente de variação residual (CVr) foram de 7.635 para DFL e 52.713 para PG, de acordo com esse parâmetro, quanto menores forem os valores para este coeficiente menor será a influência ambiental sofrida pelo caráter e melhor sua seleção (SANTOS et al., 2019). Dessa forma, a característica número de dias até o florescimento (DFL) sofreu menor influência ambiental.

Quanto aos valores de (CV ratio), representados pela razão CVg/CVr, quando maior que a unidade ( $>1$ ), indica situação favorável à seleção (FALEIRO et al., 2002). De acordo com os valores do experimento, o CV ratio apresentou razão 1.073 para DFL e 0.487 para PG, indicando situação favorável apenas para a seleção do caráter número de dias até o florescimento.

Pelo teste de máxima verossimilhança restrita (LRT), os efeitos dos modelos foram testados e apresentou-se resultado significativo ( $p < 0,05$ ) para o efeito genótipos na característica número de dias até o florescimento.

O estágio de floração é a fase mais sensível ao déficit hídrico na cultura do arroz (FERRARI et al., 2018), a formação da panícula e a morfogênese das espiguetas são fatores primordiais no rendimento de arroz (SARVESTANI et al., 2008). Durante a condução do experimento notou-se um aumento significativo na esterilidade das plantas durante a fase de florescimento, resultando em defeito congênito da panícula e menor rendimento de grãos por parcela. Isso pode ser explicado por estudos anteriores, que mostraram que a fertilidade das espiguetas é sensível à alta e baixas temperaturas, e isso pode ser agravado também devido a ocorrência do fechamento dos estômatos foliares, que resulta na limitação da absorção de dióxido de carbono e na senescência foliar pela limitação à conversão (YANG et al., 2019).

Além do efeito genótipo, o resultado das análises apresentou-se significativo para o efeito ambiente, que representa as quatro épocas de plantio para ambas as características, DFL e PG e sabe-se que as características ambientais estão entre os fatores mais importantes que

interferem no crescimento e na produtividade do arroz (MANDAL et al., 2004; GANI et al., 2017). Durante os experimentos, as baixas temperaturas e o estresse hídrico foram os principais fatores de estresse ambiental que limitaram o crescimento e o desenvolvimento do arroz. A seleção de uma época de semeadura apropriada para evitar extremos ambientais em estágios críticos de crescimento de uma cultura é vital para essa expressar plenamente seu potencial de rendimento genético (GANI et al. 2017; KHAN et al. 2019; ABBAS et al. 2021).

Quanto à variabilidade entre os genótipos para as características em todos os diferentes ambientes observou-se intervalos diferentes de zero, por meio das estimativas de variância genotípica. O que pode ser explicado pelas condições presentes naquele ambiente, que podem ou não favorecer a sua expressão (TABELA 4).

**Tabela 4** – Médias BLUP's dos genótipos com seus respectivos limites inferior e superior do intervalo de confiança para as características: número de dias até o florescimento (DFL) e rendimento de grãos por parcela (PG).

GENÓTIPOS	DFL (dias)			PG (g)		
	LI	$\bar{x}$	LS	LI	$\bar{x}$	LS
P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B	100	<b>106</b>	112	20,42	<b>31,12</b>	41,82
NAx20663-B-14 Trat. 78 EO	109	<b>115</b>	121	13,60	<b>24,31</b>	35,01
CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO	104	<b>110</b>	116	18,72	<b>29,43</b>	40,13
CMG ERF 81-2	83	<b>89</b>	95	26,49	<b>37,20</b>	47,90
P85-15-CNAx18874-B-5-6 Trat. 17 do Preliminar	108	<b>114</b>	120	10,94	<b>21,64</b>	32,35
OBS1819-126-9 Trat. 7 do Preliminar	102	<b>108</b>	114	17,09	<b>27,79</b>	38,50
CMG ERF 221-19	108	<b>113</b>	120	11,09	<b>21,79</b>	32,50
CNAx20665-B-6 Trat 81 EO	96	<b>103</b>	108	17,58	<b>28,29</b>	39,00

Legenda: LL – Limite inferior; UL – Limite superior

Fonte: MULHANGA (2023).

As médias BLUP's dos genótipos apresentaram resultados promissores quanto ao DFL, referente aos genótipos CMG ERF 81-2 e CNAx20665-B-6 Trat 81 EO, com 89 a 103 dias, respectivamente. Pois, para que a inserção desse sistema de cultivo em segunda safra seja viável é importante o uso de cultivares precoces ou super precoces devido as condições climáticas da época de plantio e que também sejam produtivas (FERRARI et al., 2018). Nas cultivares avaliados no presente trabalho, os ciclos são considerados entre precoces (106 - 120 dias) e médios (120 - 140 dias) (BOREM; RANGEL, 2015). Quanto ao PG, segundo os dados da tabela

4, os genótipos CNAx20658-B-12 Trat. 73 EO, P 95-8 CNAx18360-B-3-B-B e CMG ERF 81-2 foram os que apresentaram melhor rendimento comparado aos demais genótipos, apresentando os pesos 29.43, 31.12 e 37.20 g, respectivamente.

As épocas de semeadura influenciaram no crescimento e na produtividade de grãos do arroz quando semeadas na primeira e segunda época, representadas pelas datas de 28 de janeiro e 4 de fevereiro. Ao contrário, a semeadura realizada na terceira e quarta época, 11 e 18 de fevereiro, respectivamente, resultaram na redução do crescimento das plantas de ciclo tardio, mesmo que o manejo realizado tenha sido o mesmo em todas as épocas. Os caracteres observados sob as diferentes épocas de semeadura proporcionaram variação nos resultados quanto ao DFL e ao PG, representados na tabela 5.

**Tabela 5** – Estimativas obtidas dos valores das médias BLUP's para cada ambiente da análise de variância nos experimentos da safrinha no ano de 2022 em Lavras - MG.

AMBIENTES	DFL	PG
Época 1	100	39.267
Época 2	99	24.299
Época 3	105	19.525
Época 4	124	-

Legenda: DFL - dias para a floração; PG - Produtividade de grãos (peso).

Fonte: MULHANGA (2022).

A produtividade, representada pelo rendimento de grãos por parcela, se mostrou superior na época 1, com 39.267g, nas demais épocas apresentou valores inferiores, no entanto, na época 4 não houve produção de grãos. Além disso, no local onde o experimento foi implantado houve geada, ataque de capivara e baixa umidade relativa do ar durante a condução do experimento, o que foi considerado um ambiente pouco favorável para explorar o potencial produtivo e a expressão de genes favoráveis à produtividade de grãos dos genótipos de arroz.

O tempo de semeadura adequado garante que o crescimento vegetativo ocorra durante um período de temperaturas ótimas e um alto nível de radiação solar (GANI et al., 2017). Na área de estudo, o mês de janeiro é o período em que a ocorrência de chuvas é intensa, porém, com boas temperaturas para o crescimento vegetativo do arroz e o aumento progressivo da temperatura do solo. Esta afirmação também é apoiada por Fageria et al., (2003), Sha e

Linscombe (2007), e Silva e Assad (2001), que observaram um efeito negativo do atraso na data de semeadura para a emergência das plântulas, resultando em um crescimento vegetativo prejudicado como resultado das altas temperaturas do solo (KUMAR et al., 2014; KHALIFA et al., 2009; DARI et al., 2017; PAL et al., 2017).

Além disso, de acordo com as datas escolhidas para a semeadura, ao coincidirem com o período de baixa evaporação e chuvas no período da floração encurta o crescimento das plantas e cria um ambiente que demanda menor necessidade de água (SARTORI, 2013). Isso pôde ser observado principalmente nas épocas 2, 3 e 4, onde durante a fase crucial da cultura, desde o emborrachamento (R2) até o florescimento, as plantas estiveram expostas a tais adversidades.

As variações existentes em um mesmo caráter, porém em épocas diferentes, são elucidadas devido às condições existentes naquele ambiente que favorecem ou não sua expressão. As épocas de plantio 1 e 2 apresentaram média de número de dias até o florescimento semelhantes, de 99 e 100 dias, respectivamente. Consideradas assim mais promissoras para o plantio de arroz de terras altas em segunda safra que as épocas de plantio 3 e 4, que apresentaram diferença significativa e foram mais tardias, com 105 e 124 dias, respectivamente.

## 5. CONCLUSÃO

A semeadura precoce no mês de janeiro apresentou dados significativos e pode ser uma estratégia para se adequar às recomendações para o cultivo de arroz de terras altas como segunda safra, buscando garantir uma produção mais sustentável de arroz.

Dentre os genótipos utilizados no estudo, o que apresentou melhor desempenho, precocidade e rendimento em todas as épocas de cultivo foi o CMG ERF 81-2.

## REFERÊNCIAS

ABBAS, Adil et al. **Exploiting genic male sterility in rice: from molecular dissection to breeding applications**. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, p. 629314, 2021.

AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível: <  
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fojvokoc02wyiv80bhgp5p3txf7t9.html>>. Acesso em: 11 mai. 2023.

ARF, Orivaldo et al. **Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio na produção de arroz de terras altas**. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 27, n. 2, p. 215-223, 2005.

BARRIGOSSO, José Alexandre Freitas et al. **Recomendações técnicas para a cultura de arroz irrigado no Mato Grosso do Sul**. Embrapa Arroz e Feijão, documentos 235, 148p., 2009.

BORÉM, Aluízio; RANGEL, Paulo Hideo N. **Arroz: do plantio a colheita**. Editora UFV, ed. 1, 242 p., 2015.

BORGES, Vanderley et al. **Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de Minas Gerais utilizando modelos mistos**. *Revista Brasileira de Biometria*, v. 27, n. 3, p. 478-490, 2009.

BOTELHO, F. B. S.; SOARES, P. C.; CASTRO, A. P.; TORGA, P. P.; REIS, M. S.; RODRIGUES, C. S. **Melhoramento genético do arroz em Minas Gerais: avanços e perspectivas**. *In: Arroz: do campo à mesa. Informe Agropecuário, EPAMIG*. v. 39, n. 301, 2018.

BOUMAN, B. A. M. **A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales**. *Agricultural systems*, v. 93, n. 1-3, p. 43-60, 2007.

BRESEGHELLO, Flavio et al. **Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil**. *Crop Science*, v. 51, n. 3, p. 914-923, 2011.

CALICIOGLU, Ozgul et al. **The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions**. *Sustainability*, v. 11, n. 1, p. 222, 2019.

CARGNELUTTI FILHO, Alberto et al. **Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de arroz irrigado**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 336-343, 2012.

CASTRO, Adriano Pereira; FERREIRA, Carlos Magri; SILVA, Rodrigo Sérgio. **Arroz em sistemas sustentáveis sob pivô central**. *Revista de Política Agrícola*, ano 31, n. 3, p. 117-129, 2022.

CASTRO, Douglas Goulart et al. **Estimativas de associação entre caracteres agronômicos na seleção de genótipos de arroz de terras altas**. *Magistra*, v. 30, p. 359-367, 2019.

COLOMBARI FILHO, J. M.; RANGEL, P. H. N. **Arroz do plantio à colheita**. *In: Cultivares*. BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. Ed. UFV, p. 84 -121, 2015.

- COLOMBARI FILHO, José Manoel et al. **Upland rice breeding in Brazil: a simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield**. *Euphytica*, v. 192, n. 1, p. 117-129, 2013.
- COLOMBO, Tiago Comin; JÚNIOR, Anselmo Magagnin. **Comparativo dos custos na produção de arroz irrigado e arroz sequeiro**. *ABCustos*, v. 10, n. 2, p. 69-89, 2015.
- CONAB. **A cultura do arroz**. Org.: OLIVEIRA NETO, Aroldo Antônio. Companhia Nacional de Abastecimento, 180 p., 2015.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, 4º levantamento – safra 2017/2018**. Companhia Nacional de Abastecimento, 2018.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, 9º levantamento – safra 2021/2022**. Companhia Nacional de Abastecimento, v. 9, 2022.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 5º levantamento safra 2022/2023**. Companhia Nacional de Abastecimento, v. 10, n. 5, 2023a.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: 6º levantamento safra 2022/2023**. Companhia Nacional de Abastecimento, v. 10, n. 5, 2023b.
- DALCHIAVON, Flávio Carlos et al. **Aspectos da produtividade do arroz de terras altas irrigado com atributos químicos do solo sob plantio direto**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 113 f., 2010.
- DALLAGNOL, Leandro Jose et al. **Dano das doenças foliares na cultura do arroz irrigado e eficiência de controle dos fungicidas**. *Current Agricultural Science and Technology*, v. 12, n. 3, 2006.
- DARI, Biswanath et al. **Performance of direct-seeded rice under various dates of sowing and irrigation regimes in semi-arid region of India**. *Paddy and water environment*, v. 15, p. 395-401, 2017.
- EMBRAPA. Cultivo do arroz: estatística de produção. Embrapa Arroz e Feijão, 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/socioeconomia/estatistica-de-producao> >. Acesso em: 11 abr. 2023.
- EMBRAPA. **Importância econômica, agrícola e alimentar do arroz**. Embrapa Clima Temperado, Sistemas de produção, v. 3, 2005.
- EMBRAPA. **Dados de conjuntura da produção de arroz (*Oryza sativa* L.) no Brasil (1985-2018): área, produção e rendimento**. Embrapa Arroz e Feijão, 2019. Disponível em: < <http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm> >. Acesso em: 22 jun. 2020.
- ENCISO, Jasmim Angélica Duarte et al. **Determinação dos parâmetros de produtividade da cultura do arroz: teoria à prática de campo**. Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN), v. 5, n. 1, 2021.
- FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Embrapa - CNPAF, 341 p., 1984.

FAGERIA, N. K.; SLATON, N. A.; BALIGAR, V. C. **Nutrient management for improving lowland rice productivity and sustainability**. *Advances in agronomy*, v. 80, n. 1, p. 63-152, 2003.

FALEIRO, Fábio Gelape et al. **Otimização da extração e amplificação de DNA de Theobroma cacao L. visando a obtenção de marcadores RAPD**. *Agrotrópica*, v. 14, n. 2,

FAO. **Cereal production and demand predicted to recover in 2023/24**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. Disponível em: < <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/> >. Acesso em: 26 jun. 2023.

FAOSTAT. **Crops and livestock products**. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. Disponível em: < <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> >. Acesso em: 26 jun. 2023.

FERRARI, Samuel; PAGLIARI, Paulo; TRETTEL, Juliana. **Optimum sowing date and genotype testing for upland rice production in Brazil**. *Scientific reports*, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2018.

FERREIRA, Carlos Magri et al. **Qualidade do arroz no Brasil: evolução e padronização**. Embrapa Arroz e Feijão, 61 p., 2005.

FERREIRA, Carlos Magri; FREIRE DE SOUSA, Ivan Sergio; MENDEZ DEL VILLAR, Patricio. **Desenvolvimento tecnológico e dinâmica da produção do arroz de terras altas no Brasil**. EMBRAPA, 2005.

GANI, Adil et al. **Physico-chemical, structural, pasting and thermal properties of starches of fourteen Himalayan rice cultivars**. *International journal of biological macromolecules*, v. 95, p. 1101-1107, 2017.

GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JR, AM de. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 899 p., 2004.

GOSAL, Satbir S.; WANI, Shabir H.; KANG, Manjit S. **Biotechnology and drought tolerance**. *Journal of Crop Improvement*, v. 23, n. 1, p. 19-54, 2009.

GUIMARÃES, Cleber Moraes et al. **Cultivo do arroz em rotação com soja**. Embrapa Arroz e Feijão, circular técnica 41, 2001.

GUIMARÃES, Cleber Moraes; FAGERIA, Nand Kumar; BARBOSA FILHO, Morel Pereira. **Como a planta de arroz se desenvolve**. *Informações Agronômicas*, v. 13, n. 99, p. 12, 2002.

GUIMARÃES, Geovane Lima. **Plantas de cobertura e adubação nitrogenada em cultivares de arroz de terras altas irrigadas no cerrado**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 52 f., 2008.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html> >. Acesso em: 19 mai. 2023.

INMET. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola.** Instituto Nacional de Meteorologia, 530 p., 2009.

INMET. **Precipitações e temperaturas médias durante janeiro e fevereiro de 2022.** Instituto Nacional de Meteorologia. 2022. Disponível em: < <https://portal.inmet.gov.br/> >. Acesso em: mai. 2023.

KHALIFA, A. A. B. A. et al. **Physiological evaluation of some hybrid rice varieties under different sowing dates.** Australian Journal of Crop Science, v. 3, n. 3, p. 178-183, 2009.

KHAN, Samiya Mahmood et al. **Integrated pest and disease management for better agronomic crop production.** Agronomic Crops: Volume 2: Management Practices, p. 385-428, 2019.

KUMAR, Arvind et al. **Breeding high-yielding drought-tolerant rice: genetic variations and conventional and molecular approaches.** Journal of experimental botany, v. 65, n. 21, p. 6265-6278, 2014.

LAGO, Isabel et al. **Estimativa da temperatura base do subperíodo emergência-diferenciação da panícula em arroz cultivado e arroz vermelho.** Revista Ceres, v. 56, n. 3, p. 288-295, 2009.

LIMA, Isabela Pereira de et al. **Potencial genético de linhagens de arroz de terras altas pertencentes ao programa de melhoramento da Universidade Federal de Lavras—melhor arroz.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 1, p. 1706-1713, 2020.

MAGALHÃES JÚNIOR, Ariano Martins de. **Recursos genéticos de arroz (*Oryza sativa* L.) no sul do Brasil.** Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, 160 f., 2007.

MANDAL, Krishna G. et al. **Rice residue-management options and effects on soil properties and crop productivity.** Journal of Food Agriculture and Environment, v. 2, p. 224-231, 2004.

MCCOUCH, Susan. **Diversifying selection in plant breeding.** PLoS biology, v. 2, n. 10, p. e347, 2004.

MULHANGA, Arsénio Daniel Ivo. **Fenotipagem de linhagens de arroz de terras altas na segunda safra.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, 56 p., 2023.

NASCENTE, Adriano Stephan; STONE, Luis Fernando. **Cover crops as affecting soil chemical and physical properties and development of upland rice and soybean cultivated in rotation.** Rice Science, v. 25, n. 6, p. 340-349, 2018.

NUNES, Cley Donizeti Martins; MARTINS, JF da S. **Eficiência de fungicidas no controle da brusone do arroz irrigado na safra 2015/2016.** Embrapa Clima Temperado, 2017.

PAL, Rajinder et al. **Impact of sowing date on yield, dry matter and nitrogen accumulation, and nitrogen translocation in dry-seeded rice in North-West India.** Field Crops Research, v. 206, p. 138-148, 2017.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: ESALQ, 15. ed., 451 p. 2009.

QUEVEDO, Murilo Gonçalves et al. **Ganhos comerciais na rotação das culturas de arroz e soja no Rio Grande do Sul**. Organizações Rurais & Agroindustriais, v. 24, p. e1819-e1819, 2022.

R CORE TEAM. **R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. Versão 3.5., 2020.

RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, p. 43 – 73, 1997.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B.; NUNES, J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Editora UFLA. 522p, 2012.

RESENDE, M. D. V. et al. **Estudos da variação genética e métodos de seleção em teste de progênies de *Acacia mearnsii* no Rio Grande do Sul**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 22/23, p. 45-59, 1991.

RESENDE, Marcos Deon Vilela de; DUARTE, João Batista. **Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

RICKMAN, J.; ZANDAMELA, C. Manual de produção de arroz. 105 p., 2011.

ROTILI, Eliane Aparecida et al. **Eficiência no uso de fósforo de variedades de arroz cultivadas em solos de várzea irrigada**. Revista Ceres, v. 57, p. 415-420, 2010.

SANO, Edson E. et al. **Estimativa da variação na demanda de água para irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002**. Engenharia Agrícola, v. 25, p. 508-515, 2005.

SANTANA, Carlos Augusto M. et al. **O futuro do arroz de terras altas no Brasil: cultivo de oportunidade**. Revista de Política Agrícola, v. 31, n. 2, p. 51, 2022.

SANTOS, Elonha Rodrigues dos et al. **Parâmetros genéticos e avaliação agrônômica em progênies F2 de soja no Distrito Federal, Brasil**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 14, n. 1, p. 1-8, 2019.

SARTORI, Gerson Meneghetti Sarzi. **Irrigated rice sowing dates: grain yield, red rice control, water use efficiency and oxidative stress**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 124 f. 2013.

SARVESTANI, Zinolabedin Tahmasebi et al. **Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars**. Pakistan journal of biological sciences: PJBS, v. 11, n. 10, p. 1303-1309, 2008.

- SHA, X. Y.; LINSCOMBE, S. D.; GROTH, D. E. **Field evaluation of imidazolinone-tolerant Clearfield rice (*Oryza sativa* L.) at nine Louisiana locations.** *Crop Science*, v. 47, n. 3, p. 1177-1185, 2007.
- SILVA, Ana Cláudia de Lima. **Alterações bioquímicas, morfofisiológicas e produtivas em genótipos de arroz em dois regimes hídricos.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, 92 f., 2012.
- SILVA, Silvano Carlos da; ASSAD, Eduardo Delgado. **Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia.** *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 9, n. 3, p. 536-543, 2001.
- SOARES, Antônio Alves et al. **Desempenho de linhagens de arroz de terras altas quanto à produtividade de grãos e outras características em Minas Gerais.** *Ceres*, v. 50, n. 290, 2003.
- SOARES, Cristiano Sausen; MILANESI, Franciele Machado. **A obrigatoriedade da nota fiscal eletrônica nas operações do agronegócio sob a perspectiva dos produtores rurais de arroz e profissionais de contabilidade em um pequeno município do Rio Grande do Sul.** *Revista de Ciências Contábeis | RCiC-UFMT*, p. 53-68, 2019.
- SOSBAI. **XXXII Reunião técnica da cultura do arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil.** Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado, 209 p., 2018.
- SOUZA, Moacil Alves de et al. **Progresso genético do melhoramento de arroz de terras altas no período de 1950 a 2001.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 371-376, 2007.
- STANSEL, J.W. **Effective utilization of sunlight.** *In: Six decades of rice research in Texas.* Beaumont: Texas Agricultural Experiment Station, p.43-50, 1975.
- STEINMETZ, Silvio; DEIBLER, Alexandre Nunes; SILVA, João Baptista da. **Estimativa da produtividade de arroz irrigado em função da radiação solar global e da temperatura mínima do ar.** *Ciência Rural*, v. 43, p. 206-211, 2013.
- STRECK, E. A. **Contribuição Genética do Melhoramento de Arroz Irrigado de Terras Baixas para o Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 146 f., 2017.
- TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal.** Trad. SANTARÉM, E. R. et al., 3º ed., Porto Alegre: Artmed, 719 p., 2004.
- TEIXEIRA, Sheila Bigolin et al. **Viabilidade de sementes de arroz produzidas em condições supra-ótimas de temperatura.** *Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp*, p. 2723-2736, 2017.
- TOMÉ, Laís M. et al. **Grain yield in indirect selection for multiple characters in upland rice.** *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 2, p. 516, 2019.
- USDA. **Grain and feed annual: Report number: BR2022-0021.** United States Department of Agriculture: Foreign Agricultural Service. 2022. Disponível em: <

[https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Grain%20and%20Feed%20Annual\\_Brasilia\\_Brazil\\_BR2022-0021.pdf](https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Grain%20and%20Feed%20Annual_Brasilia_Brazil_BR2022-0021.pdf) >. Acesso em: nov. 2022.

UTUMI, Marley Marico. **Sistema de produção de arroz de terras altas**. Embrapa, sistemas de produção 31, ed. 4, 33 p., 2008.

XIA, Hui et al. **Bi-directional selection in upland rice leads to its adaptive differentiation from lowland rice in drought resistance and productivity**. *Molecular Plant*, v. 12, n. 2, p. 170-184, 2019.

YANG, Xiaolong et al. **The different influences of drought stress at the flowering stage on rice physiological traits, grain yield, and quality**. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 3742, 2019.

YOSHIDA, S.; PARAO, F.T. **Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics**. *In: International rice research institute, Los Baños. Climate and Rice, proceedings...* Los Baños: IRRI, p. 471- 494, 1976.

ZANIN, Diego Preve. **Assistência técnica em produção e armazenamento de arroz e milho no Alto Vale do Itajaí**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, 2012.