



MARIA EDUARDA RODRIGUES ANDRADE

**PROGRESSO GENÉTICO DE RESSISTÊNCIA À
DOENÇAS EM LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS
ALTAS**

LAVRAS - MG

2023

MARIA EDUARDA RODRIGUES ANDRADE

**PROGRESSO GENÉTICO DE RESISTÊNCIA À DOENÇAS EM LINHAGENS
DE ARROZ DE TERRAS ALTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Agronomia, para a obtenção do
título de Bacharel.

Prof.^a. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho
Orientadora

LAVRAS - MG

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter sido conforto nas horas difíceis e se ter feito sempre presente iluminando o meu caminho e nunca deixando de interceder por mim mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, os meus familiares, que me deram todo amor possível, em especial minha mãe Lourdes por sempre me apoiar em todas as circunstâncias e por sempre lutar para que eu realizasse meus sonhos. A Nozinha peça chave que me fez chegar até aqui seu afeto e fé me fizeram ser mais forte e confiante.

A minha orientadora Flávia, por todos os ensinamentos nesse período pelo incentivo e dedicação e meu Coorientador Gerald pelo apoio e paciência durante a escrita do trabalho sem medir esforços para dividir seu vasto conhecimento em genética e melhoramento de plantas. Tenho me espelhado em vocês.

Aos membros presentes na banca, por terem aceitado meu convite e colaborado com meu trabalho.

A todos companheiros e companheiras do Melhor Arroz por toda alegria e trabalho mútuo como uma equipe forte e unida e por terem sido em muitos momentos minha segunda casa.

Ao meu namorado Marcos por sempre segurar minha mão e me auxiliar a me manter firme em todos meus propósitos e por me lembrar sempre que sou mais forte do que eu penso.

Aos meus amigos Vih, Jássia, Dé, Talita, Duda por sempre estarem junto a mim nos momentos mais difíceis dessa caminhada, em especial a Laís por ter me acolhido e por ter me feito uma parte da sua família.

A Universidade Federal de Lavras por possibilitar minha formação acadêmica e evolução profissional. À CAPES, CNPQ, FAPEMIG pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço aos grupos Nefit, Melhor Arroz e Incubacoop essenciais em minha jornada e responsáveis também por grande parte do meu desenvolvimento profissional amigadas.

RESUMO

A cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) é afetada por doenças durante todas as fases do seu ciclo de desenvolvimento. Essas reduzem a produtividade e a qualidade dos grãos, além de elevar o custo de produção. A ocorrência e a severidade destas dependem da presença de patógeno virulento, ambiente favorável e da suscetibilidade das plantas. Dessa forma, o melhoramento genético atua como uma importante ferramenta no controle das doenças de plantas, por meio do uso de cultivares resistentes. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a severidade de doenças fúngicas em linhagens de arroz de terras altas ao longo de diferentes safras dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), pertencentes ao Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas (Melhor Arroz). Os experimentos foram instalados na Fazenda Muquém, no município de Lavras-MG, durante 5 anos agrícolas, em delineamento blocos casualizados (DBC) com três repetições e parcelas constituídas por 5 linhas de 4 metros. Foram avaliadas 46 linhagens, 20 a cada safra, quanto a severidade de doenças fúngicas (mancha parda, mancha de grãos e escaldadura) utilizando-se a escala de notas (1- menos de 1% da área foliar infectada a 9- mais de 50% da área foliar infectada). A partir das notas atribuídas à severidade e os dados foram submetidos a análise, com o auxílio do programa estatístico R, utilizando uma abordagem via modelos mistos, foi realizado Anova, estimação do progresso genético, além da taxa de renovação e comparação do desempenho de genótipos selecionados em cada safra com a testemunha. Houve diferença estatística para a maioria das fontes de variação e as estimativas de variância evidenciaram a presença de variabilidade genética para os caracteres estudados. Com base nas estimativas de progresso genético, obtivemos para escaldadura o resultado -3, seguido de 1,5 para mancha de grãos e 0,5 para mancha parda, isso comprova que o programa tem sido eficiente em selecionar genótipos resistentes. O Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras possui variabilidade em sua população para os caracteres resistência à, escaldadura e mancha de grãos e mostrou-se eficiente na seleção de genótipos resistentes a escaldadura, enquanto para Mancha de grãos e Mancha Parda foi identificado que os genótipos dentro do programa já possuem resistência ou tolerância significativa as doenças citadas.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; Melhoramento genético; ganho de seleção.

ABSTRACT

The rice crop (*Oryza sativa* L.) is affected by diseases during all phases of its phases of its development cycle. These reduce the productivity and quality of the grains, besides increasing the cost of production. The occurrence and and severity depend on the presence of a virulent pathogen, a favorable environment favorable environment and the susceptibility of the plants. Therefore, genetic improvement breeding acts as an important tool in the control of plant diseases, through the use of diseases, through the use of resistant cultivars. In this context, The objective of this study was to evaluate the severity of fungal diseases in rice rice strains over different seasons of Value For Cultivation and Use (VCU) trials use value (VCU) trials, belonging to the Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas Rice Genetic Improvement Program (Melhor Arroz). The experiments were installed in the Fazenda do Muquém Muquém, in the city of Lavras-MG, during 5 agricultural years, in a randomized randomized block design (BCT) with three repetitions and plots consisted of five rows of 4 meters. Forty-six strains were evaluated for severity of fungal diseases (brown spot, grain spot and and scalding) using a scale of scores (1- less than 1% of the leaf area infected leaf area to 9- more than 50% of infected leaf area). From the scores severity, the areas under the disease progress curve were estimated and the data were progress curve were estimated and the data were analyzed with the help of the statistical program There was statistical difference for most sources of variation and the variance estimates showed the presence of genetic variability for the characters studied. Based on estimates of genetic progress, the program has been efficient in selecting resistant genotypes. The Highland Rice Improvement Program of the Federal University of Lavras has lines with variability for resistance to scald and grain spot and has shown to be efficient in the selection of genotypes resistant to scald, while for grain spot and brown spot it was identified that the genotypes within the program already have significant resistance or tolerance to these diseases.

Keywords: *Oryza sativa* L.; Genetic improvement; Selection gain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de arroz no Brasil na safra 2019/20.	11
Figura 2 - Sintoma de brusone foliar em experimento de arroz de sequeiro no campus da Universidade Federal de Lavras.	15
Figura 3 - Sintomas da escaldadura em folhas de arroz	16
Figura 4 - Mancha parda nas folhas de arroz.....	18
Figura 5 - Sintomas de mancha de grãos em ensaios de arroz de Terras Altas na Fazenda Muquém da Universidade Federal de Lavras.....	20
Figura 6 - Ganho genético dos genótipos no Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de lavras ao longo dos anos com relação a severidade de doenças para ESC (A), MG (B), MP (C), respectivamente.	34
Figura 7 - Comparação de médias entre genótipos com relação à testemunha no Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de lavras em relação a severidade de doenças para ESC, MG, MP, respectivamente	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Linhagens dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) do Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Epamig, avaliadas ao longo dos cinco anos de experimentação.....	25
Tabela 2 - Médias ajustadas de severidade de Escaldadura de genótipos entre as safras.	30
Tabela 3 - Médias ajustadas de severidade de Mancha de Grãos de genótipos entre as safras.	31
Tabela 4 - Médias ajustadas de severidade de Mancha Parda de genótipos entre as safras.	32
Tabela 5 - Taxa de renovação dos experimentos VCU do Programa de Melhoramento de arroz de Terras Altas, da Universidade Federal de Lavras, nos doze anos agrícolas considerados.	40
Tabela 6 - Histórico entre as safras dos genótipos mantidos nos ensaios ao longo de cada ano agrícola.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	Cultura do Arroz no Brasil.....	10
2.2	Doenças na cultura do arroz.....	12
2.2.1	Brusone	13
2.2.2	Escaldadura.....	15
2.2.3	Mancha Parda.....	17
2.1.4	Mancha de Grãos.....	18
2.3	Melhoramento genético visando resistência à doenças na cultura do arroz de terras altas	20
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	Locais e Safras	24
3.2	Material Genético	24
3.3	Instalação do Experimento	24
3.4	Características Avaliadas	26
3.5	Análises estatísticas.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS	43
	ANEXO A	49

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, segundo Fageria et al. (2014), o arroz constitui uma importante fonte alimentícia para consumo humano, sendo a nível mundial uma das principais culturas atrás apenas da soja e do milho. A orizicultura tem importância ainda mais relevante em países subdesenvolvidos, onde o grão pode influenciar diretamente na renda, saúde, meio ambiente e no bem-estar social.

Pingali (1995) já ressaltava que a demanda crescente de arroz em todo o mundo reflete na necessidade da expansão do mercado. Dentre as alternativas para o aumento da segurança alimentar e o incremento da produção, envolvendo a cultura do arroz, o melhoramento de plantas, encontram-se como pontos cruciais. Tendo em vista que o melhoramento genético da cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) há muitos anos tem sido responsável pelo lançamento de cultivares com potencial produtivo cada vez mais elevado (STRECK et al., 2017; BOTELHO et al., 2018). Dessa forma, diversos programas visam a obtenção de plantas com maior resistência a doenças, maior qualidade e quantidade de grãos, época de florescimento adequado às mais diversas regiões, bem como cultivares tolerantes ao acamamento e ao déficit hídrico, sempre objetivando atender as exigências e necessidades do produtor e consumidores.

Consoante a isso, o Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras vem desenvolvendo há mais de vinte anos, linhagens competitivas dentro do mercado da orizicultura. Nesse cenário, um dos objetivos do programa é a obtenção de cultivares com resistência aos principais estresses bióticos que afetam a cultura do arroz. Dentre eles, destacam-se as doenças fúngicas como brusone foliar e de bainha ou pescoço (*Magnaporthe oryzae*), mancha-parda (*Bipolaris oryzae*), mancha de grãos (complexo de patógenos) e escaldadura (*Monographella albescens*). Essas doenças podem ser extremamente limitantes na expressão do potencial produtivo quando afetam a parte vegetativa, levando à redução da área foliar útil das plantas, afetando a capacidade fotossintética e reduzindo a produção de fotoassimilados, intimamente relacionados ao enchimento de grãos. A presença de doença nas panículas pode causar ainda, danos diretos ao produto final, bem como na qualidade fisiológica e sanitária de sementes. Os grãos podem apresentar-se gessados, quebradiços e manchados, o que afeta respectivamente o rendimento final, a qualidade e a tipificação comercial do produto (BEDENDO, 1997; EMBRAPA, 2006; PRABHU; FILIPPI, 2006a; SANTOS et al., 2009; SANTOS et al., 2011; SOARES et al., 2014; SOSBAI, 2016; NASCIMENTO et al., 2018). Estas perdas podem ser maiores ou menores dependendo do grau de

resistência da cultivar, do estágio em que a lavoura é afetada e da severidade da doença (PRABHU et al., 2012).

Nestas circunstâncias, faz-se necessário estabelecer uma associação entre as doenças fúngicas de maior impacto na cultura do arroz; com os caracteres agronômicos de interesse dentro do programa de melhoramento, a fim de estabelecer os efeitos das doenças em cada linhagem. Assim, o programa de melhoramento é submetido à análise crítica com relação ao possível sucesso no âmbito da seleção de linhagens e lançamento de cultivares com resistência às doenças. Neste contexto, a estimativa do progresso genético constitui uma opção para constatar a eficácia da condução dos experimentos e avaliações ao longo dos anos (RAMALHO et al., 2012; STRECK et al., 2017).

Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a eficiência do programa na seleção de genótipos resistentes às doenças fúngicas em linhagens de arroz de terras altas ao longo de diferentes safras dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) pertencentes ao Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras, frente a esses estresses bióticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do Arroz no Brasil

O arroz (*Oryza sativa L.*) é um dos cereais mais importantes para a alimentação humana, sendo superado apenas pelo trigo e milho. O consumo mundial é estimado em 519,22 milhões de toneladas e a produção mundial é de cerca de 515,35 toneladas (USDA 2022). Nesse contexto, o arroz é um dos alimentos mais produzidos e consumidos no mundo e caracteriza-se como o principal alimento de mais da metade da população.

A evolução do manejo da orizicultura ocasionou a adaptação das plantas a diferentes condições ambientais. Dessa forma, atualmente, são considerados dois grandes ecossistemas básicos para a cultura. O arroz pode ser cultivado em sequeiro ou terras altas, que consiste no plantio em solos bem drenados com ou sem a utilização de irrigação suplementar e inundado ou em várzea, onde o cultivo ocorre em associação com uma lâmina de água e em solos mal drenados (EMBRAPA, 2006).

Segundo Avila et. al (2021), o arroz é cultivado em todas as áreas agrícolas do Brasil, e seu cultivo é dividido regionalmente em dois sistemas básicos. O primeiro sistema, adotado nas regiões norte e centro, envolve cultivo em áreas de sequeiro; o segundo consiste no cultivo de arrozais de várzea, predominantemente no sul. Consoante a isso, os principais estados produtores de arroz no Brasil são Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC) no Sul, e Tocantins (TO) no norte (Figura 1).

Figura 1 - Produção de arroz no Brasil na safra 2019/20.



Os círculos representam produção de arroz em 558 microrregiões produtoras de arroz brasileiras, com os maiores círculos representando a maior produção.

Fonte: Alcido Elenor Wander (Embrapa Arroz e Feijão) e Avila et.al (2020).

No Brasil a produção está estimada da safra 2021/2022 é de 10,6 milhões de toneladas 9,9% inferior ao volume produzido na safra passada. Dessas 9,8 milhões de toneladas são de cultivo irrigado e 0,8 milhão de toneladas de áreas com plantio de sequeiro, ou seja, 92% do arroz brasileiro é cultivado no sistema irrigado e, produzidos principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, que juntos concentram 60% da produção nacional. Enquanto 8 % são cultivados no sistema de terras altas nos estados Mato Grosso, Maranhão, Tocantins e Rondônia. Fica evidente, a diminuição da produtividade em relação as safras anteriores e isso deve-se principalmente a condições climáticas, resultado do fenômeno La Niña e reduções das áreas plantadas que em comparação as safras anteriores diminuiram 3,5% (CONAB, 2022).

Apesar da observação da diminuição da produção nas últimas safras, o consumo interno se manteve e na safra 2021/2022 é de cerca de 12.100 mil toneladas, sendo superior a produção nesse mesmo período (CONAB, 2022). Logo, faz com que o estoque do cereal fique abaixo do limite esperado, prejudica as exportações e ainda faz com que seja necessário recorrer à importação dos grãos para suprir a demanda interna.

Vale ressaltar que o arroz de terras altas pode ser uma cultura rentável e favorável aos produtores. Isso pode ser comprovado historicamente pelo cultivo do arroz em abertura de áreas, principalmente em solos ácidos no Brasil. Assim, o arroz é um componente importante da rotação de culturas com soja, feijão e milho. Essas culturas requerem pH mais alto e Ca e Mg para maximizar rendimentos em solos ácidos (FAGERIA, 2009). Dessa forma, o arroz apresenta custo de produção médio inferior ao da soja e do milho, considerando os mesmos padrões de tecnologia empregada, por ser mais responsivo e menos exigente (CONAB, 2015; SISTEMA FAEG, 2016). Assim, é fundamental o estímulo ao cultivo do grão no Brasil.

Diante disso, desenvolver a rizicultura de terras altas no Brasil, pode significar um novo caminho para atender a demanda do mercado interno, garantindo a redução da necessidade de importação e abastecimento dos estoques do cereal, além da expansão do mercado externo e incremento da produção com menor utilização dos recursos hídricos e expansão do cultivo sustentável no sistema de produção de grãos. Neste contexto, o melhoramento da cultura no ambiente de sequeiro objetiva o lançamento de cultivares mais adaptadas a esse ambiente, com altas produtividades e qualidade, assim assegurando ao produtor uma produção agrícola eficiente, sustentável, economicamente viável e ambientalmente correta.

2.2 Doenças na cultura do arroz

As doenças causadas por fungos são os principais problemas da orizicultura mundial (PRABHU et al., 2006). A cultura é afetada por essas doenças durante todo o seu ciclo. Segundo Bedendo (1997) essas podem ser extremamente limitantes na expressão do potencial produtivo, pois podem afetar a parte vegetativa, ocasionando a redução da área foliar fotossintetizante e a produção de fotoassimilados, consequentemente reduzindo o enchimento de grãos. Além disso, a presença da doença nas panículas pode causar danos diretos ao produto final. Portanto, favorece a ocorrência de grãos gessados, quebradiços e manchados, o que afeta o rendimento final, a qualidade e a tipificação comercial do produto.

Conforme Acebo et al. (2011) descreveu, as doenças de origem microbiana constituem um dos principais fatores que incidem na obtenção de baixo rendimento na cultura de arroz. Nesse contexto, as doenças são causadas por um complexo de microrganismos como fungos, bactérias, vírus e nematoides que ocorrem no cultivo do arroz e os prejuízos causados por esses patógenos dependem da interação entre os fatores

que afetam a incidência e a severidade do mesmo como o grau de resistência do hospedeiro e de condições ambientais favoráveis. Dessa forma, o manejo assertivo destas doenças requer a adoção de um manejo integrado, utilizando um conjunto de medidas tais como o controle genético, cultural e químico, tendo como objetivo a redução da população dos patógenos a níveis toleráveis, não comprometendo a cultura, como já ressaltava Soares (2014).

De acordo com Prabhu (1989), nas regiões produtoras de arroz de terras altas, destacam-se doenças fúngicas como a brusone, seguida pela escaldadura, queima das glumelas e mancha parda. As doenças fúngicas podem interferir em todos os estádios de desenvolvimento da cultura, sendo importante seu manejo do plantio à colheita, a semeadura de cultivares resistentes é a medida de controle mais eficiente em termos econômicos e ambientais (SANTOS et al., 2017). Essas são responsáveis pela maior parte dos danos causados à cultura do arroz e, por consequência, são as mais estudadas

Por fim, deve-se ressaltar que o principal desafio no manejo dessas doenças é a assertividade e a eficácia dos métodos, produtos e cultivares contra o ataque e a evolução dos patógenos. Isso porque, um dos principais gargalos enfrentados na interação planta-patógeno é a gama de mecanismos que favorecem as alterações nas populações patogênicas em detrimento à população de plantas, como salientado por Vleeshouwers & Oliver (2014). Nesse contexto, a preocupação com a ocorrência da resistência, aumenta a urgência de soluções, salientando a necessidade de novas fontes de resistência, tais como as obtidas em programas de melhoramento com a incorporação da resistência, através da busca por genótipos com resistência durável às principais doenças.

2.2.1 Brusone

Causada pelo fungo *Magnaporthe oryzae* (fase anamórfica *Pyricularia grisea*), a Brusone é considerada a doença mais importante do arroz. Nas lavouras com cultivares suscetíveis e condições favoráveis, as perdas podem chegar a 100% (SANTOS et al., 2002). Sendo assim, é altamente destrutiva e de ocorrência em todas as áreas cultivadas.

Segundo Lobo et al. (2016) essa doença fúngica pode ocorrer em todas as regiões produtoras de arroz, entretanto, o produto produzido em terras altas tem o prejuízo significativamente maior. Isso se deve a característica climática da região, por tratar-se de uma zona de transição entre cerrado e floresta amazônica, com o clima úmido, fator determinante para a proliferação do patógeno. Dessa forma, o ambiente propício favorece a ocorrência do brusone.

A Brusone é uma doença policíclica nas plantas cultivadas e o fungo pode sobreviver na forma de micélio (telomórfica) ou conídios (anamórfica). Os principais mecanismos de sobrevivência são pelo parasitismo de hospedeiros cultivados primários e secundários, saprofitismo em restos culturais de plantas suscetíveis, sementes e plantas voluntárias que permanecem no campo na entre safra (KIMATI, 2005, SOARES et al., 2014).

A doença ocorre na fase vegetativa até aos 50 dias após a emergência e na fase reprodutiva da planta no período de formação e maturação dos grãos (PHABHU et al., 2006). Nesse contexto, quando a infecção ocorre no estágio de plântula, é comum que a planta não sobreviva, pois em progêneses jovens, a taxa fotossintética é a primeira a sofrer redução, prejudicando o desenvolvimento e a entrada da planta no período reprodutivo. Vale ressaltar que quando as condições ambientais se tornam favoráveis, as plantas podem ser infectadas em qualquer estágio fenológico.

Nas folhas, a doença manifesta-se na forma de pequenas lesões necróticas, que evoluem, podendo coalescer e provocar o secamento de toda a folhas, enquanto no colmo ocasiona a necrose no “pescoço” da panícula. Nas panículas interrompe o fluxo de seiva para os grãos, provocando a redução no peso de grãos e até mesmo a esterilidade completa da panícula, resultando em danos na produtividade que podem ultrapassar 50% (PRABHU et al., 2003; WILSON e TALBOT, 2009; WEBSTER e GUNNELL, 1992). Nesse sentido, nas folhas, os sintomas iniciais da brusone aparecem como pequenas lesões amarronzadas ou castanhas que podem crescer e adquirir formato elíptico. Em estágio mais avançado, as manchas necróticas apresentam margem marrom e centro cinza ou esbranquiçado, bastante característico (Figura 2).

Figura 2 - Sintoma de brusone foliar em experimento de arroz de sequeiro no campus da Universidade Federal de Lavras.



Fonte: Do autor (2022).

Segundo Amorim (2016), fatores ambientais podem influenciar no desenvolvimento e crescimento do fungo que ocorre em temperaturas variáveis de 8°C a 37°C, sendo entorno a 28°C a temperatura mais favorável. A atividade dos conídios sobre as lesões tem início quando a umidade relativa atinge no mínimo 93%. O patógeno pode sobreviver, na forma de micélio ou conídio, em restos de cultura, sementes e plantas de arroz que permanecem no campo.

A utilização de cultivares resistentes é uma medida efetiva para o controle da brusone. Entretanto, devido a elevada variabilidade genética do patógeno, a resistência introgridida em novas cultivares não é durável (PRABHU et al., 2002; KUMAR et al., 1999; AHN, 1994). Em função disso, o controle da brusone do arroz é realizado basicamente pelo uso de fungicidas, que podem ser aplicados em tratamento de sementes, visando o controle de brusone nas folhas (LOBO, 2008), e via pulverização foliar para controle de brusone nas folhas e panículas (DARIO et al., 2005).

2.2.2 Escaldadura

A escaldadura é causada pelo fungo necrotrófico *Monographella albescens* (fase imperfeita *Gerlachia oryzae*), tem grande impacto na orizicultura. O seu primeiro relato foi feito no Japão em 1955, mas tem sua ocorrência generalizada em várias partes do mundo onde o arroz é cultivado. Esta doença já foi constatada em boa parte do território brasileiro e tem provocado perdas consideráveis no Brasil, onde a doença também é bastante incidente, os maiores danos estão particularmente na região Norte. Além disso

na região Centro- Oeste tem observado seu crescimento significativo, os maiores danos estão interligados a produtores que utilizam cultivares suscetíveis e excesso de adubação nitrogenada (AMORIM et al., 2016; NUNES et al., 2004; TATAGIBA et al., 2014).

A doença é um problema tanto na cultura instalada em condições irrigadas, quanto em sequeiro. Entretanto, na cultura de sequeiro, prevalência de cultivo em região tropicais, a ocorrência de fatores ambientais como chuvas e longos períodos de orvalho são fatores favoráveis ao desenvolvimento desse patógeno (FILIPPI; PRABHU; KIMATI et al., 2005).

Os sintomas que se manifestam predominantemente nas folhas, correspondem, inicialmente, a formação de ferimentos leves, com halo castanho e sem margens bem definidas que se iniciam no ápice e possuem aspecto de encharcamento (FIGURA 3). Posteriormente, essas lesões podem ainda coalescer e causar a morte da área foliar afetada, tornando a taxa fotossintética bastante reduzida (TATAGIBA et al., 2015). Consequentemente, o desenvolvimento e a produtividade do arroz tornam-se comprometidos.

Figura 3 - Sintomas da escaudadura em folhas de arroz.



Fonte: Embrapa (2022).

Caso ocorra a incidência severa da escaudadura, a doença pode paralisar o crescimento da planta mesmo no estágio de emborrachamento, período que antecede a floração. Nesse contexto, as lavouras afetadas apresentam um amarelecimento generalizado, com as pontas das folhas secas e desuniformidade de estande, como citado por Nunes (2004). Quando a doença não é controlada corretamente, pode ser observada também na bainha, partes das panículas e grãos.

O patógeno sobrevive em sementes, restos culturais e hospedeiros alternativos. Tem sido relatado que a alta densidade de plantas e menor espaçamento entre linhas aumentam a intensidade da doença. Além disso, a utilização de nitrogênio em excesso favorece o rápido desenvolvimento das manchas. Dentre as medidas de controle estão uso de sementes de boa qualidade fitossanitária, aplicação de fungicidas em tratamento de sementes e em pulverização para controle de doença e rotação de cultura (AMORIM et al., 2016; TATAGIBA et al., 2014; TATAGIBA et al., 2015).

2.2.3 Mancha Parda

A mancha parda, causada pelo fungo *Bipolaris oryzae*, tem grande impacto na cultura do arroz, sendo particularmente importante nas regiões tropicais. Em relação aos danos causados pela doença, essa carrega o estigma de ter causado “fome de Bengala”, em 1942. Naquela época a doença evidenciou o seu potencial destrutivo, porém na atualidade os danos usualmente não são drásticos. Vale ressaltar que chegam a ser significativos em função da suscetibilidade da variedade e da ocorrência de fatores ambientais favoráveis.

A ocorrência da doença é comum no Brasil e ocorre em condições de umidade relativa superior a 89%, sendo favorecida pelo molhamento das folhas (WEBSTER; GUNELL, 1992). A susceptibilidade do arroz à mancha-parda aumenta com o avanço da idade da planta. As espiguetas são mais suscetíveis à infecção desde o período de floração até a fase leitosa. Além disso, o estresse hídrico aumenta a suscetibilidade da planta. A planta torna-se mais suscetível à doença nos cultivos de várzea ou sob condições de falta de água, em arroz irrigado (AMORIM et. Al 2016; BEDENDO; PRABHU, 1981; LOBO; FILIPPI, 2017).

Os sintomas mais frequentes são observados nas folhas e nos grãos. Os sintomas típicos da mancha-parda nas folhas são lesões circulares ou ovais, de coloração marrom, com centro acinzentado ou esbranquiçado, com margem parda ou avermelhada (Figura 4). Nos grãos as manchas são de coloração marrom-escura. No centro das lesões podem ser encontradas sinais do fungo, conídios levemente curvos mais largos no centro e mais finos nas extremidades, de coloração marrom quando maduros.

Figura 4 - Mancha parda nas folhas de arroz.



Fonte: Embrapa (2022).

Além disso a doença afeta a emergência das plântulas nas lavouras semeadas em outubro, logo no início do período chuvoso, e as plantas adultas próximas da maturação. As sementes infectadas apresentam redução na germinação e, em geral, os grãos manchados causam perdas no rendimento de grãos no beneficiamento. Na fase da emergência das plântulas, o fungo causa lesões no coleóptilo de cor marrom e formato circular ou oval. Enquanto nos grãos as manchas são de cor marrom escuro ou marrom avermelhado.

A sobrevivência ocorre geralmente em restos culturais, sementes infectadas ou plantas de arroz e hospedeiros alternativos. Segundo Artigiani e Bebendo (1995), aveia, cana, centeio, sorgo, trigo, *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum* são espécies vegetais podem ser consideradas potenciais hospedeiros do fungo na natureza. Dessa forma, a manutenção de um bom manejo de plantas involuntárias, principalmente outras gramíneas, requer atenção para diminuição do inóculo nas áreas de arroz cultivadas.

Além disso, recomenda-se o emprego de variedades com certo grau de resistência, utilização de lotes de sementes sadias ou tratadas, adubação equilibrada e bom manejo de água (OU, 1985).

2.1.4 Mancha de Grãos

A mancha de grãos está amplamente distribuída nas regiões orizícolas do mundo, especialmente em regiões tropicais. No Brasil, sua ocorrência tem aumentado nos últimos anos, principalmente devido ao uso de cultivares com maior suscetibilidade, assumindo posição de doença economicamente importante.

Essa doença possui etiologia bastante complexa, pois está associada a um complexo fúngico e/ou bacteriano, ocorrendo simultaneamente, depois da brusone, a mancha de grão é uma das principais doenças do arroz. Os patógenos associados mais comuns são *Bipolaris oryzae*, *Pyricularia grisea*, *Phoma sorghina*, *Microdochium oryzae*, *Alternaria padwickii*, *Alternaria spp.*, *Curvularia lunata*, *Nigrospora oryzae*, *Sarocladium oryzae* e *Drechslera oryzae*, além de diferentes espécies de *Fusarium* (OU, 1985; LOBO et al., 2006; MALAVOLTA et al., 2007).

Dentre esses patógenos, o *Bipolaris oryzae*, *Phoma sorghinae* e *Microdochium oryzae* são os mais agressivos em se tratando de mancha nos grãos e sementes de arroz. Enquanto, *Nigrospora spp.*, *Curvularia spp.*, *Fusarium spp.*, *Epicocum sp.*, *Magnaporthe oryzae*, apresentam incidência de contaminação esporádica nas sementes. A contaminação das sementes por esses patógenos, além de diminuir o percentual de emergência, pode diminuir também o vigor das plântulas (SOUZA et al., 1987; PRABHU & BEDENDO, 1988; PRABHU & VIEIRA, 1989).

Diante do supracitado, o complexo de patógenos causadores desta doença atacam especificamente as panículas, os grãos e as sementes. As manchas nos grãos, sintoma típico da doença, podem aparecer desde o início da emissão das panículas até o seu amadurecimento. Os sintomas são muito variáveis dependendo do patógeno predominante, das condições ambientais como temperatura e umidade, da localidade e do estágio de infecção (LOBO et al., 2006; OU, 1985; SANTOS et al., 2011). Nesse contexto, as condições favoráveis a ocorrência da doença, descrita na literatura, são altos índices pluviométricos, bem como a alta umidade relativa do ar durante a formação dos grãos, a incidência das manchas aumenta consideravelmente, podendo reduzir drasticamente o peso das panículas e o rendimento de engenho em anos de epidemia (EMBRAPA, 2003).

Os sintomas manifestam-se durante a emissão das panículas, com manchas de coloração marrom- avermelhada nas espiguetas, com centro esbranquiçado e borda marrom, enquanto as glumas tornam-se escurecidas com coloração que varia de castanho a negro, como citado por Ou (1985) (Figura 4). Além disso, pode provocar a descoloração e/ou a murcha total ou parcial da espiga, incluindo o pescoço, ramos, entrenós, nós e espiguilhas secundárias.

A intensidade da doença é ainda maior caso ocorra concomitantemente ao momento de formação de grãos, altos índices pluviométricos. Caso isso ocorra, além de prejudicar a aparência física dos grãos, a doença reduz sua qualidade, podendo causar

gessamento e, conseqüentemente, quebra exagerada dos grãos durante o beneficiamento (SANTOS et al., 2011).

Figura 5 - Sintomas de mancha de grãos em ensaios de arroz de Terras Altas na Fazenda Muquém da Universidade Federal de Lavras.



Fonte: Do autor (2022).

Dentre as medidas de controle recomendadas para manchas de grãos em arroz estão a adoção de práticas culturais preventivas, tais como utilização de cultivares resistentes e adubação equilibrada e, complementarmente, a aplicação de fungicidas e tratamento de sementes, tendo em vista que as sementes atuam como fonte primária do inóculo (RIBEIRO, 1989; LOBO et al., 2006).

2.3 Melhoramento genético visando resistência à doenças na cultura do arroz de terras altas

O aumento da produção de alimentos está relacionado à manipulação de características genéticas das diferentes espécies vegetais (BORÉM, 2001). Nesse contexto, o melhoramento genético tem papel fundamental na viabilização das culturas, mediante o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas.

Atualmente, no âmbito da pesquisa e melhoramento da cultura do arroz de terras altas, prioriza ações a fim de consolidar a presença da cultura em sistemas de produção de grãos nas regiões favorecidas dos cerrados e, principalmente, adaptá-la ao sistema de plantio direto, que oferece vários desafios como a exigência da cultura em solos com maior macroporosidade ou à demanda inicial por nitrogênio na forma amoniacal, sendo, portanto, muito sensível à qualidade do perfil do solo (KLUTHCOUSKI, et al., 2000).

Dessa forma, a implantação e adaptação ao sistema de plantio direto é um dos principais objetivos, facilitando a inserção da cultura no manejo de rotação e sucessão de culturas. Ademais, para sustentabilidade econômica do arroz de terras altas, os programas de melhoramento visam também a obtenção e plantio de cultivares mais produtivas e com maior vigor inicial. Associado a estes parâmetros, os objetivos também são voltados para qualidade de grãos, como ressaltado por Castro et al., 2005. Para isso, as cultivares devem ser cada vez mais tolerantes à deficiência hídrica e resistentes às diversas doenças que atacam a cultura durante todo o seu ciclo (SANTOS et al., 2006).

No âmbito fitossanitário, as doenças constituem um dos principais fatores limitantes do rendimento e da qualidade de grãos e, além disso, são as que exigem maior conhecimento técnico para seu controle. A estratégia mais eficaz e econômica de manejo de doenças é o uso de cultivares resistentes (MALAVOLTA et al., 2007; SILVA-LOBO et al., 2014). Seguindo essa linha, Amorim et al. 2018, mencionam que o emprego de cultivares resistentes representa um pilar dentre as estratégias utilizadas para o controle de doenças e é o método ideal de controle, por ser aplicável em largas áreas e possuir baixo impacto ambiental comparado aos produtos fitossanitários.

Apesar disso, para muitas doenças o grau de resistência é insuficiente para evitar que as perdas atinjam o nível de dano econômico. Logo, torna-se necessário a adoção de medidas complementares como rotação/sucessão de culturas, aplicação de fungicidas, controle biológico, manejo da população, espaçamento e densidade de plantio e alteração da época de semeadura, o que caracteriza o manejo integrado. Dessa forma, utilizando várias alternativas de manejo juntamente e/ou alternadas, visando resistência mais duradoura, fundamental para o controle das doenças fúngicas na cultura do arroz.

Quando consideramos o manejo genético, como Michereff (2001), já constatava, é necessárias três etapas básicas em qualquer programa de obtenção e utilização de cultivares resistentes. Elas incluem a identificação de fontes de resistência em materiais comerciais, selvagens ou interespecíficos, incorporação do(s) genes de resistência em cultivares comerciais por meio dos métodos de melhoramento e, após a obtenção de um cultivar resistente, deve-se traçar a melhor estratégia para que a resistência seja durável face à natureza dinâmica das populações patogênicas.

As cultivares modernas de plantas autógamas apresentam grande vulnerabilidade por serem homogêneas, já que são constituídas de uma única linha pura. Além disso, o intenso processo de melhoramento faz com que, muitas vezes, seja estreitada a base genética do conjunto de materiais destinados ao lançamento. A grande variabilidade dos

patógenos faz com que a resistência vertical contida nessas cultivares tenha uma vida útil curta (SINGH et al., 2016). Para evitar que essa resistência se perca, prolongando a vida útil das linhagens, estratégias necessitam ser adotadas.

O uso de técnicas biotecnológicas, como a transgenia e a biologia molecular, tem sido cada vez mais empregadas com o objetivo de introduzir resistência em cultivares de arroz. Assim, esses estudaram mais profundamente a interação planta-patógeno com o objetivo de encontrar fontes de resistência genética e, com o uso de marcadores moleculares, novos genes associados à resistência foram descobertos nos últimos anos (EIZENGA et al., 2006; XU et al., 2008; ZHU et al., 2012). Estudos do sequenciamento do genoma dos fungos causadores de doença também estão sendo realizados (DEAN et al., 2005) e podem trazer novas contribuições para os programas de melhoramento genético do arroz.

Dessa forma, a maioria dos programas de melhoramento, tanto das Universidades quanto das instituições, EMBRAPA e EPAMIG, têm voltado atenção especial ao desenvolvimento de cultivares resistentes às doenças fúngicas. As cultivares de arroz atualmente comercializadas, possuem diferentes graus de tolerância, mas, não foi identificada a cultivar com resistência completa a nenhuma das doenças fúngicas consideradas (PRABHU; FILIPPI, 2001; PRABHU et al., 2003; SANTOS, 2002; ASHFAQ et al., 2017). Entretanto, uma importante estratégia utilizada dentro dos programas é a piramidização de genes de resistência por proporcionar resistência durável a raças virulentas e avirulentas de um patógeno (KELLY e MIKLAS, 1998; MAHUKU et al., 2002). Essa é utilizada principalmente no conceito mais amplo, pois está relacionado à resistência múltipla que consiste na introgressão simultânea de genes de resistência a distintos patógenos. Neste caso, a probabilidade de um patógeno superar a resistência de uma pirâmide com quatro ou seis genes é baixa se aplicam às diferentes doenças e aumenta durabilidade da resistência (SCHAFER e ROELFS 1985). Além disso o aspecto epidemiológico e o monitoramento das doenças é um fator importante. De acordo com estudos de THRALL e BURDON (2003) existe uma relação inversamente proporcional entre a fecundidade do patógeno (produção de esporos) e o acúmulo de virulência. Assim, em seus estudos os autores observaram que as populações do fungo capazes de infectar um maior número de populações do hospedeiro apresentavam menor agressividade comparativa frente a um controle suscetível. Isto indica que o acúmulo de genes de virulência no patógeno, ou seja, a inativação conjunta de vários genes de avirulência, implica em um custo à sua adaptabilidade

Diante disso, a pesquisa e melhoramento da cultura do arroz de terras altas, deve priorizar ações que visam não só identificação e incorporação de genes de resistência contra raças específicas e mais frequentes, mas também a seleção de cultivares que associem resistência horizontal e vertical (PRABHU; FILIPPI, 2001), sempre buscando o controle sustentável das populações do patógeno e a diminuição da incidência doença, possibilitando uma resistência mais estável (SANTOS et al., 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Locais e Safras

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Muquém localizada no município de Lavras-MG, ao longo de cinco anos. Foram consideradas as safras: 2017/2018, 2018/2019, 2020/2021, 2021/2022.

3.2 Material Genético

Foram utilizadas 46 linhagens, 20 a cada safra, dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) do 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, apresentados na Tabela 1.

3.3 Instalação do Experimento

A execução dos ensaios na Fazenda Muquém ocorreu entre os meses de outubro e novembro. Todos os experimentos foram implantados no delineamento em blocos casualizados (DBC), três repetições, com parcelas constituídas de cinco linhas de quatro metros, espaçadas a 35 cm e sendo a área útil três linhas centrais. Além disso, contou-se com um sistema de irrigação automatizado durante todo o período das safras.

Tabela 1 - Linhagens dos ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) do Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Epamig, avaliadas ao longo dos cinco anos de experimentação.

2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022
1 - CMGF6LAM20-2	1 - CMGF6LAM20-2	27 - P95-8 CNAx18360-B-3-B-B	6 - BRSMG Caçula	33 - OBS1819-126-9
2 - CMGERF85-14	2 - CMG ERF 85-14	2 - CMG ERF 85-14	2 - CMG ERF 85-14	25 - CMG ERF 222-1
3 - BRS Esmeralda	3 - BRS Esmeralda	3 - BRS Esmeralda	21 - CMG ERF 81-2	46 - CNAx20665-B-6
4 - CMGERF221-16	4 - CMGERF221-16	4 - CMG ERF 221-16	37 - P113-3-CNAx18839-B-6-B	27 - P 95-8 CNAx18360 B-3-B-B
5 - CMG2119	5 - CMG2119	5 - CMG 2119	36 - CMG ERF 85-3	28 - CMG 1590
6- BRSMG Caçula	6 - BRSMG Caçula	6 - BRSMG Caçula	22 - CMG ERF 81-6	45 - CNAx20658-B-12
7- CMGERF85-6	40 - CMGERF85-16	29 - CMG ERF 70-1	25 - CMG ERF 222-1	21 - CMG ERF 81-2
8- CMG2187	21 - CMGERF81-2	21 - CMG ERF 81-2	17 - CMG ERF 221-19	3 - BRS Esmeralda
9 - CMG2188	22 - CMGERF81-6	22 - CMG ERF 81-6	3 - BRS Esmeralda	41 - CMG ERF 179-3
10 - CMG2085	10 - CMG2085	10 - P143-2 CNAx18834-B16-B	4 - CMG ERF 221-16	4 - CMG ERF 221-16
11- CMGERF85-15	11 - CMGERF85-15	11 - P2166-5 CNAx18834-B-5-B	24 - CMG ERF 85-4	6 - BRSMG Caçula
12- CMGERF221-4	23 - CMGERF85-3	23 - CMG ERF 85-3	41 - CMG ERF 179-3	2 - CMG ERF 85-14
13 - CMGF6LAV1-7	13 - CMGF6LAV1-7	13 - CMG ERF 78-1	33 - OBS1819-126-9	37 - P113-3-CNAx18839-B-6-B
14 - CMGERF221-7	24 - CMGERF85-4	24 - CMG ERF 85-4	42 - CMG ERF 100-1	39 - P85-15-CNAx18874-B-5-6
15 - CMG1896	25 - CMG ERF 222-1	25 - CMG ERF 222-1	32 - P 313-2 CNAx18901-B-9-B	24 - CMG ERF 85-4
16 - CMGERF221-9	26 - CMG ERF 46-1	26 - CMG ERF 46-1	27- P 95-8CNAx18360-B-3-B-B	36 - CMG ERF 85-3
17 - CMGERF221-19	17 - CMG ERF 221-19	17 - CMG ERF 221-19	38 - P34-1-CNAx18803-B-15-B	44 - CNAx20663-B-14
18 - CMGERF221-29	18 - CMG ERF 221-29	32 - P313-2 CNAx18901-B-9-B	39 - P85-15-CNAx18874-B-5-6	43 - CNAx20650-B-17
19 - CMGERF85-13	19 - CMG ERF 85-13	19 - CMG ERF 85-13	34 - OBS1819-51-4	42 - CMG ERF 100-1
20 - Multilinha	20- Multilinha	28 - CMG 1590	28 - CMG 1590	17 - CMG ERF 221-19

Fonte: Do autor (2022).

3.4 Características Avaliadas

Foram avaliadas três das principais doenças fúngicas na cultura do arroz de terras altas, sendo elas: Escaldadura (*Monographella albescens*), Mancha Parda (*Bipolaris oryzae*) e Mancha de Grãos, ocasionado por um grupo de espécies de fungos.

As avaliações da severidade foram realizadas na área útil de cada parcela, sem aplicação de fungicidas. Para todas as doenças foram consideradas 1 avaliação, realizada no período do florescimento. Foi utilizada escala de notas proposta pelo International Rice Research Institute (IRRI, 1996) levando em consideração a porcentagem da área foliar, porcentagem de panículas afetadas e porcentagem de grãos infectados, tanto para escaldadura, mancha parda e mancha de grãos. As notas foram atribuídas conforme análise visual com notas de 1 a 9, sendo: nota 1 - menos de 1% da área foliar/panículas/grãos com sintoma; nota 3 - de 1% a 5% da área foliar/panículas/grãos com sintoma; nota 5 - de 6% a 25% da área foliar/panículas/grãos com sintoma; nota 7 - de 26% a 50% da área foliar/panículas/grãos com sintoma e nota 9 - acima de 50% da área foliar/panículas/grãos com sintoma.

3.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos no experimento para a severidade das doenças foram submetidos a análise de variância via modelos mistos, com auxílio do software *R*. Posteriormente, foi calculado a taxa de renovação, determinação do progresso genético, teste dunnet para comparação com a testemunha.

A análise de variância conjunta baseou-se no modelo segundo Breseghello's (1998) para os anos 2017 a 2022:

$$Y_{ijk} = \mu + A_k + G_i + R/A_{kr} + e_{ijk}$$

Sendo Y_{ijk} : efeito do i -ésimo genótipo no k -ésimo Ano no j -ésimo Bloco, μ : média geral dos genótipos, A_k : efeito do ano, G_i : efeito do genótipo; R/A_{kr} : efeito da repetição no ano K ; e_{ijk} : erro experimental aleatório.

As estimativas da taxa de renovação do ensaio de VCU, por safra, foram obtidas pela fórmula:

$$TR(\%) = \frac{ngi}{ngt} \times 100$$

onde:

ngi = número de genótipos introduzidos na safra i ;

ngt = número de genótipos totais avaliados na safra i .

Foi calculado ainda o progresso genético de renovação (PGR), o qual considerou a média dos genótipos introduzidos no ano (i) em relação à média dos genótipos excluídos no ano anterior ($i - 1$), a partir das médias BLUP, pelo estimador:

$$PGR = MGSi + 1 - MGEi$$

em que:

$MGSi + 1$ = média BLUP dos genótipos introduzidos no ano $i+1$

$MGEi$ = média BLUP dos genótipos excluídos no ano i

O teste de Dunnet foi utilizado para comparações múltiplas no qual utilizamos um tratamento como referência, ou seja, comparativo da média do controle/testemunha com as médias dos demais tratamentos. O valor da DMS para o teste de Dunnett foi obtido pela seguinte expressão:

$$D \text{ Dunnet} = t \text{ Dunnet} \sqrt{\frac{2MR}{r}}$$

Em que:

$t \text{ Dunnet}$ – Valor tabelado de Student para Dunnett;

QMR – Quadro médio do resíduo da análise de variância;

r – Número de repetições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com objetivo de estimar a significância estatística dos dados obtidos nos experimentos foi realizada análise de variância (ANOVA). De acordo com Resende e Duarte (2007), esta é a medida de precisão experimental mais recomendada quando se avalia progênie/ou cultivares. A acurácia está associada a correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos, ou seja, quanto maior a estimativa da acurácia maior será a confiança na avaliação e no valor genético predito (PIMENTEL et al. 2014). No presente trabalho, houve diferença estatística significativa dentro dos fatores avaliados para as safras consideradas. Assim, consoante a Resende e Duarte (2007), para precisão e controle de qualidade em experimentos VCU, estas estimativas foram consideradas de elevada acurácia, indicando boa precisão experimental, o que auxilia na detecção de diferenças significativas quanto ao caráter de severidade de doenças.

Para os genótipos e safras, houve diferença significativa para todas as características de doenças avaliadas, isso é diferiram significativamente ($p \leq 0,05$). Houve interação significativa entre safra e genótipos para os fatores avaliados genótipos, ambiente e bloco dentro de safra (amb bloco).

Assim, de acordo com os resultados das análises para cada uma das doenças (ESC, MGe MP) foi possível verificar que os genótipos apresentaram comportamento estatisticamente diferente e significativo. Este é um relato importante, pois é um indício da existência de genótipos com diferentes níveis de resistência no programa de melhoramento, fato que, a princípio, vislumbra potencial sucesso com a seleção para as características em questão (MORAIS JÚNIOR et al., 2017; STRECK et al., 2017; CAVATTE et al., 2018).

Assim, os resultados deste trabalho mostraram que houve forte interação genótipos por ambiente (G x E) para a característica estudada, severidade de doenças, e esta interação foi do tipo complexa, ou seja, houve alteração do ranqueamento das cultivares quando em diferentes ambientes. Essas interações complexas indicam a falta de coincidência no posicionamento das linhagens com relação à variação ambiental, isto é, existem genótipos que apresentam comportamento alterado com a mudança do ambiente, sendo melhores em um local que em outro. A interação G x E do tipo complexa é um complicador para os programas de melhoramento, pois não permite a correlação perfeita entre o genótipo e o fenótipo nos diferentes ambientes. Isso dificulta tanto a recomendação de cultivares como a seleção dos melhores genótipos pelos melhoristas (CRUZ; CASTOLDI, 1991; CRUZ, REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

O teste F indicou ainda a presença de variabilidade entre os ambientes na maioria das análises, ou seja, evidenciou a diferença entre eles quando consideramos a severidade de

doenças. Após os resultados obtidos pela anova, foram estimadas as médias ajustadas, com o objetivo de obter maior precisão nos dados para determinação do progresso genético. Foi realizada a análise conjunta da série de dados das safras através de um modelo linear generalizado de forma a obter essas médias ajustadas dos genótipos e a matriz de covariâncias para o grupo de genótipos avaliados em cada safra, além do cálculo da média aritmética das médias ajustadas obtidas na análise conjunta e foi realizado a comparação direta dos anos. Dessa forma, no que tange ESC obtivemos maiores médias com os genótipos 44,8 já as menores foram 34,38. Enquanto para MP os maiores valores foram observados nas linhagens 13,40,22 e menores 5,34,42. Por fim, para MGRS os genótipos 40, 22 e 3 obtiveram maiores notas médias, em contrapartida as menores notas obtidas foram 34,39 e 42. Conforme as tabelas abaixo foi obtido as médias aritméticas para cada doença estudada. (Tabela 3,4,5).

Consoante com Breseghello et. al. (1998) o uso de todas as informações disponíveis para cada objeto de estudo, resultam em médias ajustadas que são usadas no lugar do valor observado e reduz a importância das interações genótipo x ano e genótipo x ensaio/ano, que são

as principais fontes de erro em estudos de ganho genético. A confiabilidade do ganho de seleção depende apenas da qualidade dos resultados experimentais disponíveis. Breseghello (1995) estimou um ganho por ciclo de 0,77% para produtividade de grãos ao avaliar o programa de melhoramento de arroz irrigado conduzido na Região Nordeste do Brasil. Através da mesma metodologia, Rangel et al. (2000) obtiveram estimativa de ganho médio anual de 0,3% para produtividade para arroz irrigado no Meio-Norte do Brasil. Sendo assim, a utilização dessa metodologia foi essencial para mimetização da interação genótipo ambiente.

Tabela 2 - Médias ajustadas de severidade de Escaldadura de genótipos entre as safras.

Genótipo	Escaldadura					Média Ajustada
	2017	2018	2019	2020	2021	
1	5.67	1				3.21
2	5.67	1	1.00	2.937	3.61	2.92
3	2.33	1	1.00	3.000	4.33	2.33
4	4.33	1	1.00	0.937	3.70	2.27
5	3.67	1	1.33			2.50
6	2.33	1	1.00	1.937	2.50	1.85
7	5.00					3.26
8	5.67					3.92
9	5.00					3.26
10	5.67	1				3.21
11	5.00	1				2.88
12	5.00					3.26
13	3.67	1				2.21
14	3.67					1.92
15	3.67					1.92
16	5.00					3.26
17	5.00	1	1.00	2.333	2.50	2.56
18	3.67	1				2.21
19	5.67	1	1.00			2.94
20	3.00	1				1.88
21		1	1.00	2.333	1.61	2.24
22		1	1.00	3.000		2.67
23		1				2.50
24		1	1.00	2.333	4.25	2.52
25		1	1.00	0.937	3.67	2.19
26		1	1.00			2.45
27			1.00	1.937	3.05	2.20
28			1.00	2.997	4.05	2.72
29			1.00			2.39
30			1.00			2.39

31		1.00			2.39
32		1.00	1.937		2.28
33			1.000	3.25	1.40
34			1.000		1.11
35		1.00			2.39
36		1.00	0.997	4.89	2.32
37			2.937	3.70	2.76
38			1.000		1.11
39			3.062	2.50	2.60
40	1				2.50
41			1.667	3.00	1.76
42			1.667	2.50	1.72
43				3.25	1.84
44				5.61	4.41

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 3 - Médias ajustadas de severidade de Mancha de Grãos de genótipos entre as safras.

Genótipo	Mancha de grãos					Médias Ajustadas
	2017	2018	2019	2020	2021	
1	1	3.00				3.808
2	1	2.33	2.33	5.04	3.18	3.288
3	1	3.67	1.00	5.00	3.14	3.488
4	1	2.33	1.00	3.04	5.67	2.923
5	1	1.00	1.67			2.393
6	1	3.00	1.67	4.04	3.18	2.888
10	1	1.00				1.808
11	1	1.67				2.475
13	1	2.33				3.141
17	1	1.67	1.00	5.00	3.00	2.667
18	1	3.00				3.808
19	1	3.00	1.00			3.060
20	1	1.67				2.475
21		1.00	3.00	4.33	4.33	3.167
22		2.33	1.67	5.67		3.668
23		1.67				2.475
24		1.00	1.67	2.33	5.00	2.333
25		1.67	2.33	2.04	5.00	2.859
26		2.33	1.00			2.726
27			1.00	3.04	3.00	2.091
28			1.00	3.36	3.67	2.425
29			1.00			2.311
30			1.00			2.311
31			1.67			2.978

32		1.67	4.04		3.149
33			2.33	4.18	2.074
34			1.67		0.219
35		2.33			3.644
36		2.33	3.36	4.93	3.185
37			3.04	2.93	1.984
38			3.00		2.219
39			2.14	3.00	1.577
40	4.33				5.141
41			3.67	3.67	2.940
42			3.00	3.00	1.940
43				4.33	2.995
44				4.33	2.995
45				3.67	2.995
46				5.23	3.852

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 4 - Médias ajustadas de severidade de Mancha Parda de genótipos entre as safras.

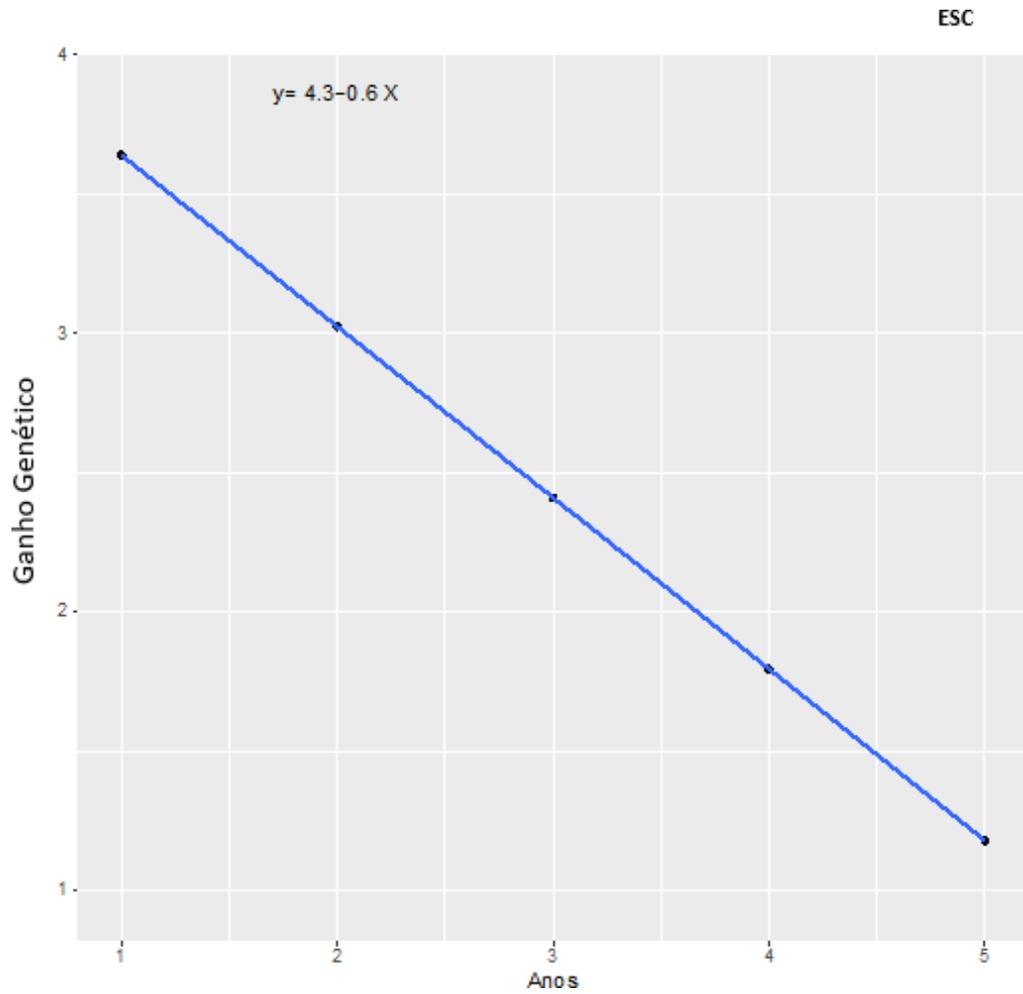
Mancha Parda						
Genótipo	2017	2018	2019	2020	2021	Médias Ajustadas
1	1	4.33				3.10
2	1	2.33	2.33	1.856	3	2.08
3	1	1.67	2.33	2.333	3	2.05
4	1	4.33	2.33	2.856		2.81
5	1	1.00	1.00			1.18
6	0	3.00	1.67	2.856	1	2.11
7	1					2.48
8	1					2.48
9	1					2.48
10	1	1.67				1.77
11	1	1.67				1.77
12	1					2.48
13	1	6.33				4.43
14	1					2.48
15	1					2.48
16	1					2.48
17	1	1.67	3.67	3.000	3	2.52
18	1	4.33				3.10
19	1	3.67	2.33			2.51
20	1	3.67				2.77
21		3.00	2.33	2.333		2.33
22		3.67	4.33	3.000		3.44

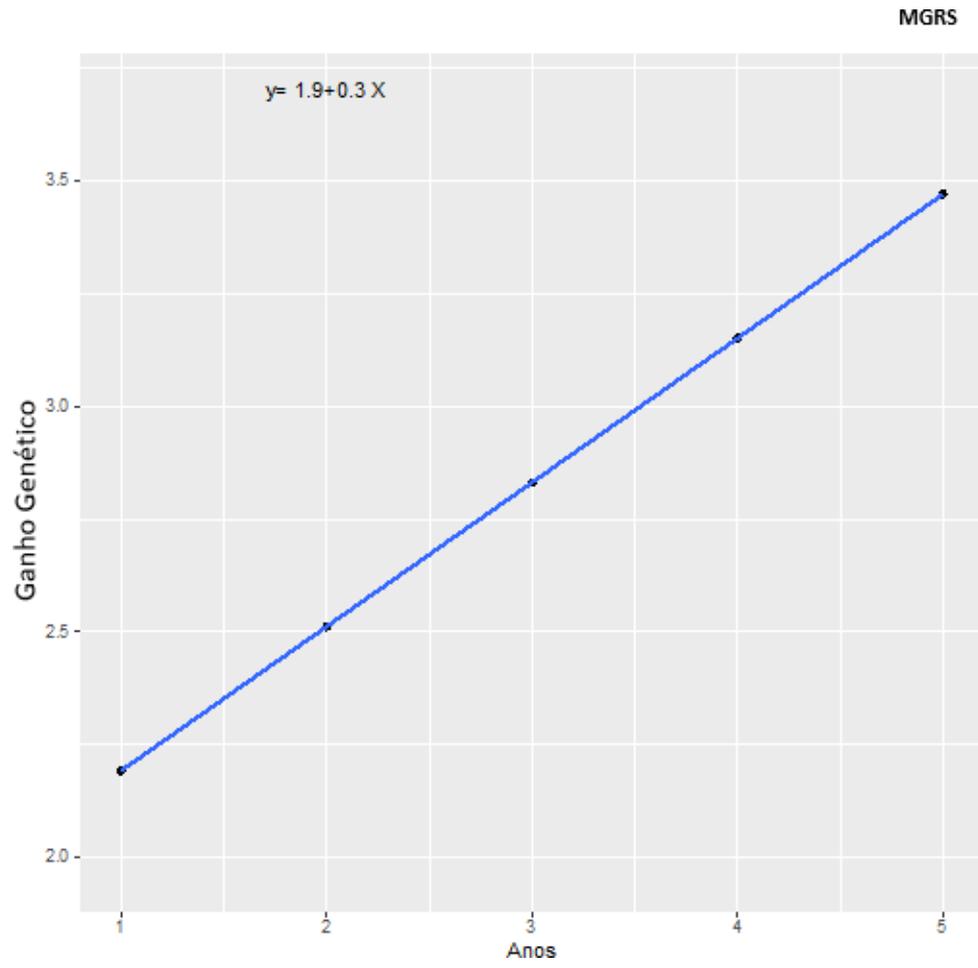
23	3.67				3.06
24	3.00	3.00	1.667	3	2.32
25	3.00	3.00	0.856	3	2.21
26	3.00	3.00			2.53
27		3.00	1.856	3	2.41
28		2.33	1.065	3	1.93
29		3.00			2.67
30		3.00			2.67
31		3.67			3.34
32		2.33	0.856		1.66
33			1.667	3	2.05
34			1.000		1.27
35		3.00			2.67
36		2.33	1.065	3	1.96
37			1.856	3	2.16
38			1.667		1.94
39			2.177		2.45
40	4.33				3.72
41			2.333		2.60
42			1.000	3	1.55
43				3	2.00

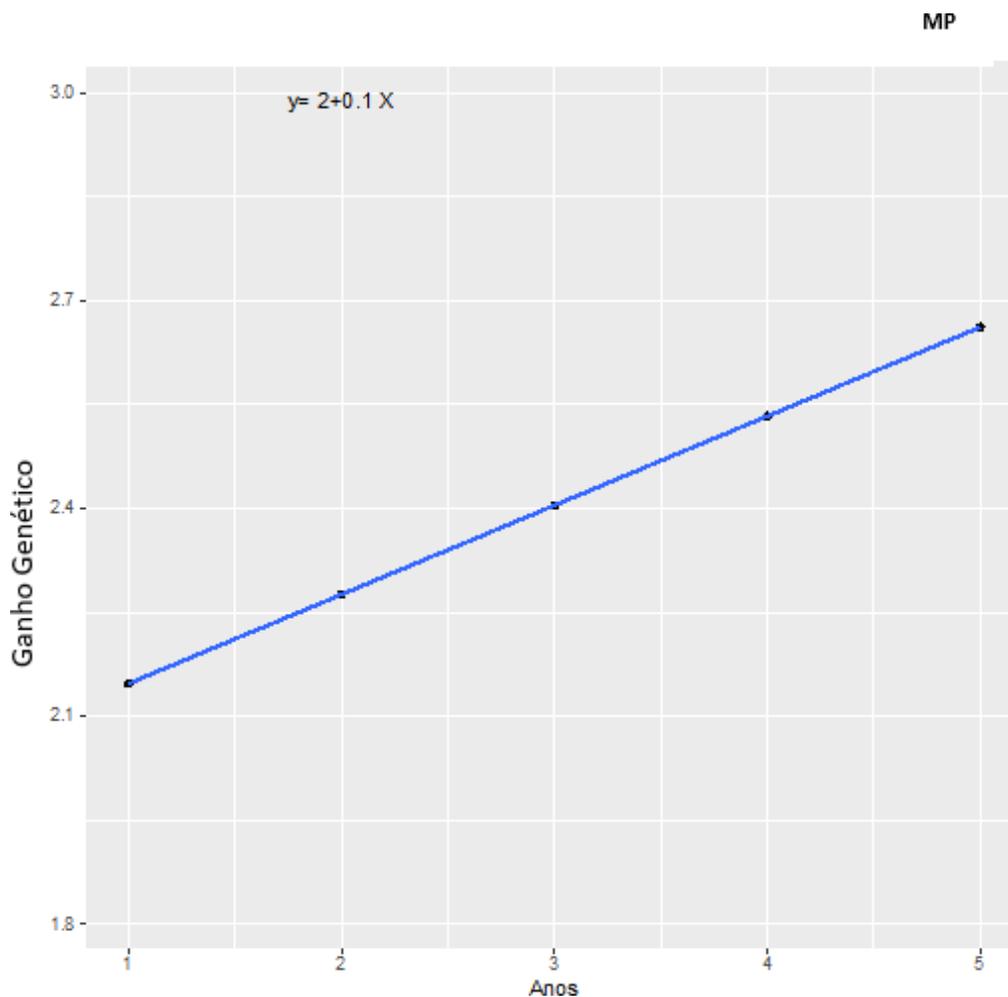
Fonte: Do autor (2023).

Assim, conforme supracitado, com a finalidade de encontrar as estimativas de severidade de doenças para todos os genótipos de forma mais precisa ao longo dos 5 anos de experimentação, foi utilizada a abordagem via modelos mistos. Por meio das médias ajustadas BLUP's, foi possível visualizar com mais clareza o progresso genético dentro do VCU para o caráter resistência às doenças ao longo dos anos estudados. Assim, foram calculados os progressos genéticos nos ensaios (Figura 6 A, B e C).

Figura 6 - Ganho genético dos genótipos no Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de lavras ao longo dos anos com relação a severidade de doenças para ESC (A), MGRS (B), MP (C), respectivamente.







Fonte: Do autor (2023).

Observa-se que o progresso genético quanto à resistência a MP, ESC e MGRS foram de forma geral eficiente dentro do programa com genótipos resistentes ou tolerantes, reduzindo a magnitude das estimativas de severidade. Destaque deve ser dado aos valores obtidos para escaldadura em que ao longo das safras houve um ganho genético -3 pontos. Enquanto para MGRS e MP observamos os valores 1,5 e 0,5 respectivamente, portanto menores ganhos genéticos, pois os genótipos presentes no VCU do programa já demonstram um grau de resistência a essas doenças, devido a isso não se viu uma variação significativa ao longo dos anos para essas doenças quando comparamos com a escaldadura. Além disso, é possível que esses ganhos possam ter uma correlação negativa com alguma característica também avaliada no VCU.

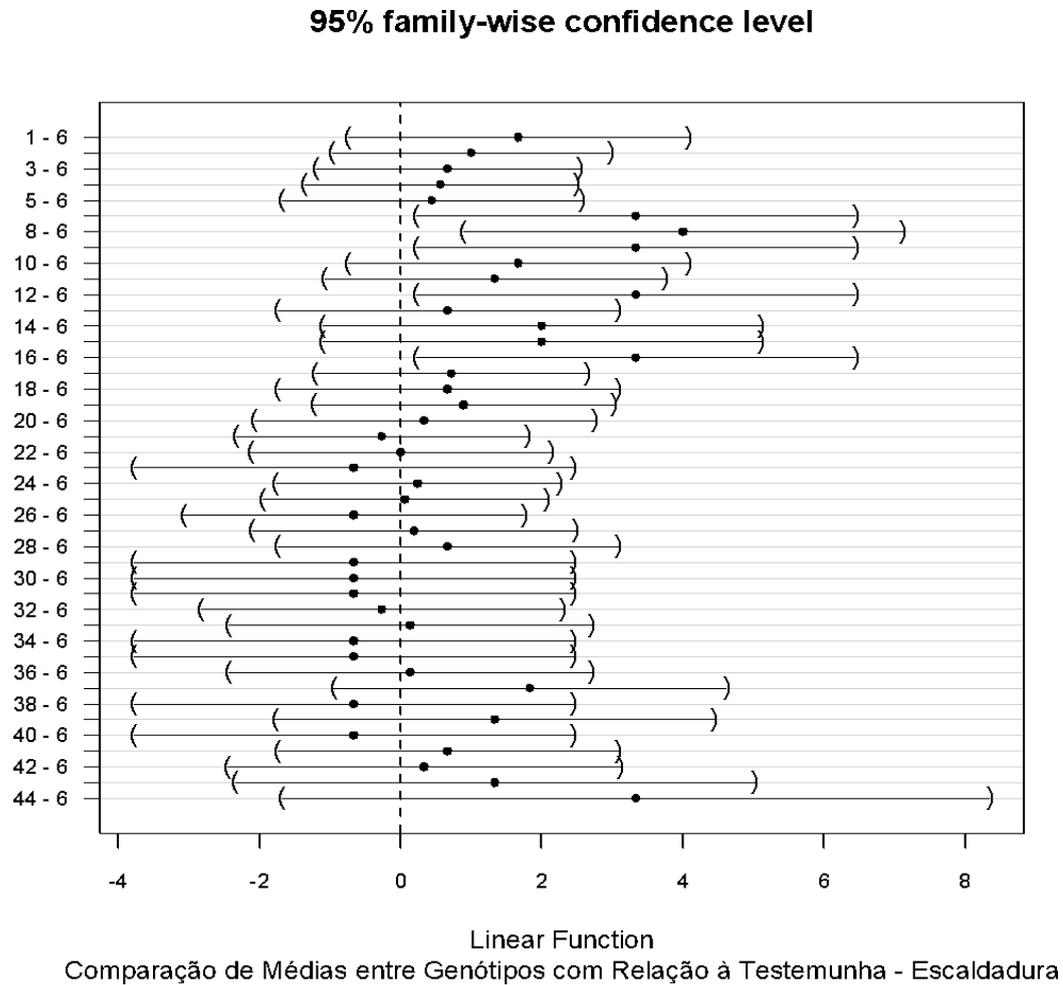
Além disso, foi utilizado o teste de Duunet para comparação dos genótipos do programa com a cultivar testemunha (BRS Caçula), sendo possível comparar o desempenho das linhagens as doenças quando comparado com a cultivar de referência.

A partir da análise foi possível obter os melhores e piores genótipos para cada doença estudada. Constatou-se que para ESC os genótipos 8,16,12 manifestaram menor resistência, enquanto os genótipos 34,36 apresentaram melhor resultado.

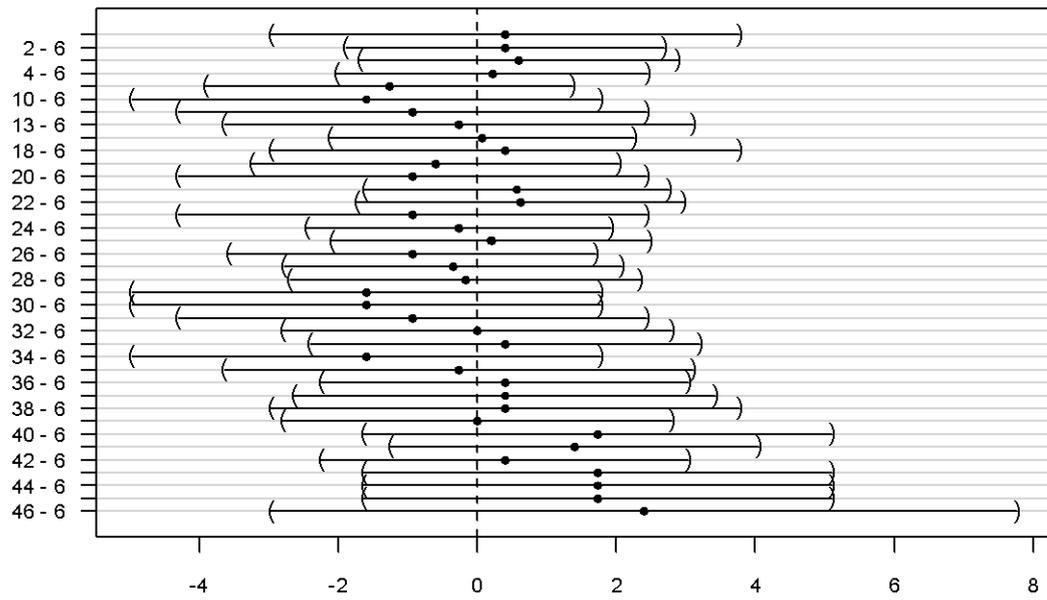
Já para a MP, os genótipos 13,41 obtiveram piores resultados. Em contrapartida, os genótipos 7,9,11,13,15 e 17 obtiveram notas semelhantes que também foram as melhores notas para doenças.

Por fim, para a MGRS as linhagens 46,40,42,44 obtiveram piores médias. Por outro lado, os genótipos 34,30,28 apresentaram melhores resultados, sucessivamente. Este é um indicativo de que os genótipos com melhores resultados devem ser selecionados quando consideramos o caráter de resistência. É necessário, entretanto, cuidado pois apenas essa informação por si só, não basta para considerar os tratamentos eficientes ou ineficientes, já que é baseada apenas em dados médios referente a uma característica estudada (Figura 7 A, B e C).

Figura 7 - Comparação de médias entre genótipos com relação à testemunha no Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de lavras em relação a severidade de doenças para ESC, MGRS, MP, respectivamente.



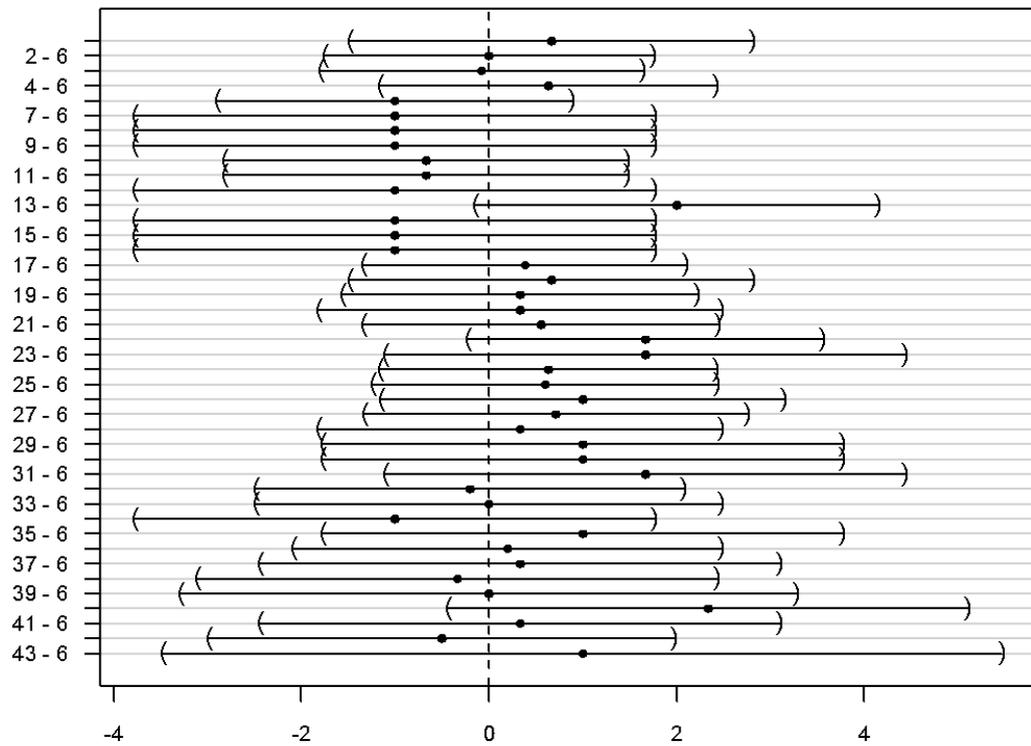
95% family-wise confidence level



Linear Function

Comparação de Médias entre Genótipos com Relação à Testemunha - Mancha de Grãos

95% family-wise confidence level



Linear Function

Comparação de Médias entre Genótipos com Relação à Testemunha - Mancha Parda

A dinâmica de um programa de melhoramento é quantificada pela taxa média de substituição genotípica, composta pelas taxas de inclusão, exclusão, manutenção e renovação, mensurada entre um ano de avaliação e outro (CRUZ; CARNEIRO, 2003). A taxa de renovação (TR), portanto, é um parâmetro importante para demonstrar a vitalidade do programa de melhoramento, expressando a taxa de genótipos novos entre aqueles que estão sendo testados em um determinado ano. Nesse sentido, as taxas de renovação contribuem com os ganhos dentro do programa e garantem uma boa exploração da variabilidade genética (FRITSCHENETO et al., 2013, BRAGA JÚNIOR, 2017).

Soares et al. (1999) e Braga Júnior (2017), trabalhando com arroz, encontraram taxas de renovação médias de até 40%. De acordo com relato desses autores, os valores encontrados evidenciam alta eficiência dos programas de melhoramento genético. Na Tabela 6 são apresentadas as taxas de renovação dos experimentos VCU do Programa de Melhoramento de arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras, nos 5 anos agrícolas considerados. Nesse contexto, obtivemos um TR% médio de 45%, sendo mantido nas safras 18/19, 19/20 e 20/21 em 35% e reduzindo na última safra 21/22 para 20%. As significativas taxas de renovação ressaltam a competência do programa em selecionar genótipos competitivas para compor o experimento VCU e, possivelmente, serem lançadas como novas cultivares, a cada safra. É importante enfatizar ainda, que a safra 17/18, os valores da TR foram elevados em relação aos demais. Isso ocorreu pelo fato de ser o período inicial de análise dos dados das safras anteriores, o que evidentemente faz com que aumente os valores de TR, já que as linhagens do VCU são substituídas gradualmente a cada safra.

Tabela 5 - Taxa de renovação dos experimentos VCU do Programa de Melhoramento de arroz de Terras Altas, da Universidade Federal de Lavras, nos doze anos agrícolas considerados.

Safras	TR (%)
2017/18	100%
2018/19	35%
2019/20	35%
2020/21	35%
2021/22	20%

Fonte: Do autor (2023).

Além disso, através da Tabela 7 podemos perceber a evolução histórica safra a safra dos genótipos mantidos a cada safra. É perceptível que ao longo dos 5 anos observados foram sendo inseridos novos genótipos dentro do programa modificando as populações ao longo das safras.

Percebe-se ainda a manutenção de 5 genótipos são eles CMG ERF 85-14, BRS Esmeralda, BRSMG Caçula, CMG ERF 221-19, CMG ERF 221-16. A permanência por mais de dois anos pode ocorrer quando há necessidade de confirmar o desempenho dos genótipos antes de praticar a seleção de forma efetiva. Assim, as linhagens foram novamente testadas, na safra seguinte, visando à avaliação do seu verdadeiro valor genotípico em relação ao caráter estudado.

Tabela 6 - Histórico entre as safras dos genótipos mantidos nos ensaios ao longo de cada ano agrícola.

Genótipos comuns entre safras					
Safras	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22
2017/18	20	13	7	5	5
2018/19		20	12	9	8
2019/20			20	13	11
2020/21				20	16
2021/22					20

Fonte: Do autor (2023).

Por fim, mesmo se tratando de um experimento de VCU, onde os genótipos já são avaliados visando o lançamento de uma nova cultivar, nem todos os genótipos do programa foram superiores às testemunhas ou mostraram boa resistência às doenças observadas neste estudo. Tal fato pode ser explicado considerando que, mesmo que todas as linhagens tenham sido selecionadas durante a condução do programa de melhoramento nestes mesmos locais, o caráter severidade de doenças não é o único relevante na seleção de genótipos. Características como produtividade, qualidade culinária, porte da planta, precocidade são primordiais ao lançamento de uma cultivar. Ainda que muitas vezes estejam correlacionadas a severidade de doenças, o que pode prejudicar todas estas características, nem sempre essa correlação é alta. Outro fato que deve ser levado em consideração é o efeito do ambiente. A incidência e a severidade de doenças fúngicas são extremamente influenciadas pelas condições ambientais e o ambiente também pode levar a alteração na expressão dos genes de resistência e, conseqüentemente, no desempenho de genótipos nos diferentes ambientes e safras.

5 CONCLUSÃO

O Programa de Melhoramento Genético de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Lavras, mostrou-se eficiente na seleção de genótipos resistentes a escaaldadura, enquanto para Mancha de grãos e Mancha Parda foi identificado que os genótipos dentro do programa já possuem resistência ou tolerância significativa as doenças citadas.

REFERÊNCIAS

- ACEBO, Y.; HERNÁNDEZ, A.; RIVES, N.; VELÁZQUEZ, M.; HERNÁNDEZ, A. N. Perspectivas del uso de bacterias rizosféricas en el control de *Pyricularia grisea* en el cultivo del arroz. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v. 13, n. 1, p. 16-22. 2011.
- AMORIM, L.; REZENDE, J.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**. vol. 1. p. 229-238, 2018.
- AMORIM, L.; REZENDE, J.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. **Manual de Fitopatologia**. vol. 2. p. 87-99, 2016.
- ARTIGIANI FILHO, V.H.; BEDENDO, I.P. Pathogenicity of *Helminthosporium oryzae* against some grass species. **Sci. agric.** Piracicaba, v. 52, 1995.
- ASHFAQ, M.; HAIDER, M. S.; ALI, M.; SHAHEEN, S.; KHAN, F.; MUBASHAR, U. Molecular diversity and heterosis analysis for rice grain discoloration. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 54, n. 3, 2017.
- ATAGIBA, S. D.; RODRIGUES, F. A.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; SILVA, L. C. Physiological responses of rice plants supplied with silicon to *Monographella albescens* infection. **Journal of Phytopathology**, v. 162, n. 9, p. 596-606, 2014.
- BEDENDO, I. P.; PRABHU, A. S. Doenças do arroz (*Oryza sativa* L.). In: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, v. 2, p. 85-99, 2005.
- BEDENDO, I. P. Doenças do arroz. In: KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. p. 85-99. cap 10.
- BEDENDO, I.P.; PRABHU, A.S. Reação de algumas gramíneas a *Helminthosporium oryzae*, agente causal da mancha parda do arroz. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v.7, p.34-38, 1981.
- BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2001. 500p.
- BORGES, V.; SOARES, A. A.; REIS, M. S.; RESENDE, M. D. V.; CORNÉLIO, V. M. O.; LEITE, N. A.; VIEIRA, A. R. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, v. 69, p. 833-841, 2010.
- BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; STORCK, L.; WOYANN, L. G.; DUARTE, T.; STOCO, M. G.; VOLMIR MARCHIORO, S. BORNHOFEN, ELESANDRO. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade em trigo. **Bragantia**, v. 76, n. 1, 2017.
- BRAGA JUNIOR, G. M.; CHAGAS JUNIOR, A. F.; CHAGAS, L. F. B. de.; CARVALHO FILHO, M. R.; MILLER, L. de O. SANTOS, G. R. Controle biológico de fitopatógenos por *Bacillus subtilis* in vitro. **Biota Amazônia**, v. 7, n. 3, p. 45-51, 2017.
- BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O. P.; RANGEL, P. H. N. A new method to estimate genetic gain in annual crops. **Genetics and Molecular Biology**, v. 21, n. 4, p. 551-555, 1998.

BRESEGHELLO, F.; CASTRO, E. M.; MORAIS, O. P. Cultivares de arroz. In: BRESEGHELLO, F.; STONE, L. F. (Ed.) **Tecnologia para o arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. cap. 7, p. 41-53.

CARNEIRO, F. F. **Estratégias visando a seleção de linhagens de feijão resistentes ao mofo branco**. 2013. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CASTRO, E. M. de; BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P. H. N.; MORAES, O. P. de. Melhoramento do Arroz. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. p. 95-130.

CAVATTE, P. C.; SILVA, L. H.; DE SOUZA MACHADO, C. L. Fisionômica e a resistência de plantas a estresse bióticos. **Tópicos Especiais em Genética e Melhoramento II**. cap. 4, p. 64, 2018.

CHOU, C.; CASTILLA, N.; HADI, B.; TANAKA, T.; CHIBA, S. Rice blast management in Cambodian rice fields using *Trichoderma harzianum* and a resistant variety. **Elsevier Journal**, v. 1, n. 1, p. 1-7. 2019.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Compendio de estudos: Evolução dos custos de produção de arroz no Brasil**. Companhia Nacional de Abastecimento, v. 1. 2016.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do arroz**. OLIVEIRA NETO, A. A. de (Org.) Brasília, 2015. 180 p.
CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2012, v.1, 514 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 480 p., 2004.

CRUZ C. D.; CARNEIRO P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético II**. Viçosa: UFV, 2003. 585 p.

CRUZ, C. D.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v.38, p.422-430, 1991.

DEAN, R.A. et al. The genome sequence of the rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. **Nature**, 434, p.980-986, 2005.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução a análise AMMI**. Ribeirão Preto: ESALQ/USP, 1999. 60 p.
EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio, do Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

DUNNETT, C. W. New tables for multiple comparisons with a control. **Biometrics**, New Haven, v. 20, n. 3, p. 482-491, set. 1964.

FAGERIA, N.; WANDER, A.; SILVA, S. Rice (*Oryza sativa*) cultivation in Brazil. **Indian Journal of Agronomy**, v. 59, n. 3, p. 350-358. 2014.

FAGERIA, N.K. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. CRC Press, Boca Raton, Florida, 2009.

FILIPPI, M. C.; PRABHU, A. S. Phenotypic virulence analysis of *Pyricularia grisea* isolates from Brazilian upland rice cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 27-35, Jan. 2001.

FONSECA, J. R.; CUTRIM, V. A.; RANGEL, P. H. N. **Descritores morfoagronômicos e fenológicos de cultivares comerciais de arroz de várzeas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 18 p.

LOBO, V. L. S.; FILIPPI, M. C.; PRABHU, A. D. **Árvore do conhecimento: Arroz**. Brasília: Agência Embrapa de informação Tecnológica – AGEITEC, 2016. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fuzvmwzg02wyiv80166sqfmvyttys.html>>. Acesso em: ago.2022.

LOBO, V. L. S.; FILIPPI, M. C.; UTUMI, M. M.; MORAIS, O. P.; CASTRO, E. M.; BRITO, A. M. **Perfil Sanitário e Fisiológico de Sementes de Arroz Provenientes de Ensaio de Valor de Cultivo e Uso, em Três Locais**. EMBRAPA. Santo Antônio, de Goiás, dezembro, 2006. (Comunicado Técnico 129).

FRITSCHÉ-NETO, R., CORNÉLIO, V. D. O., REIS, M. D. S., de MORAIS, O. P., MARQUES, T. D. S. **Progresso genético para produtividade e peso de 100 grãos em 14 anos do Programa de Melhoramento de Arroz Irrigado de Minas Gerais**. Embrapa Arroz e Feijão. Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS. Variedade melhorada: a força da nossa agricultura. Anais... Viçosa, MG: SBMP, 2013.

IRRI. International Rice Research Institute. **Standard Evaluation System for Rice**. Manila, 1996. 52 p.

KELLY, J. D.; MIKLAS, P. N. The role of RAPD markers in breeding for disease resistance in common bean. **Molecular Breeding**, v. 4, p. 1-11, 1998.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 97-104, jan./mar. 2000.

MAHUKU, G. S.; JARA, C. E.; CAJIAO, C.; BEEBE, S. Sources of resistance to *Colletotrichum lindemuthianum* in the secondary gene pool of *Phaseolus vulgaris* and in crosses of primary and secondary gene pools. **Plant Disease**, v. 86, n. 12, p. 1383-1387, 2002.

MALAVOLTA, V. M. A., DE ARRUDA SOLIGO, E., DIAS, D. D., AZZINI, L. E., BASTOS, C. R. Fungi incidence and damage evaluation on seeds of rice genotypes. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 3, p. 280-286, 2007.

MICHEREFF, S. J. **Fundamentos da Fitopatologia**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2001.

MORAIS JÚNIOR, O. P.; MELO, P. G. S.; MORAIS, O. P. de.; COLOMBARI FILHO, J. M. Variabilidade genética durante quatro ciclos de seleção recorrente em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 1033-1041, 2017.

NUNES, C. D.; RIBEIRO A. S.; TERRES, A. L. Principais doenças do arroz irrigado e seu controle. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa: Informação Tecnológica, 2004. p. 579-633.

OU, S.H. **Rice diseases**. 2 ed. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1985. 379p.

PHABHU, A.S.; FILLIPI, M.C.C.; RIBEIRO, A.S. Doenças e seu controle. In: SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2.ed. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA/CNPAF, 2006. p.561-590.

PHABU, A.S. Controle das principais doenças de arroz sequeiro, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.14, n 161, p-58-63, 1989.

PHABU, A.S.; VIEIRA, N.R.A. **Sementes de arroz infectadas por Drechslera oryzae: Germinação, transmissão e controle**. EMBRAPA-CNPAF. Boletim de Pesquisa, 7, 39 p. 1989.

PHABU, A.S.; BEDENDO, I.P. Glume blight of rice in Brazil: Etiology, varietal reaction and loss estimates. **Trop. Pest. Manag.** v.34, n.1, p.85-88, 1988.

PINGALI, P. L. GATT and rice: do we have our research priorities right? In: **International Rice Research Conference**, 1995, Los Baños Philippines. Fragile lives in fragile ecosystems: proceedings. Manila: IRRI, 1995. p. 25-38.

PRABHU, A.S.; ARAÚJO, L.G.; FAUSTINA, C.; BERNI, R.F. Estimativa de danos causados pela brusone na produtividade de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, 2003.

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

RIBEIRO, A.S. **Controle integrado das doenças do arroz irrigado**. Circular Técnica EMBRAPA/CPATB, n.3, 1989. 29p.

SANTOS, G. R. D.; CHAGAS, J. F. R.; NETO, C.; FIDELIS, R.; LEÃO, E. U. Selection of rice genotypes to integrate a varietal mixture for blast control. **Summa Phytopathologica**, v. 43, n. 4, p. 290-296, 2017.

SANTOS, G.; CHAGAS, J. F.; TAVARES, A.; NETO, M., SARMENTO, R. D.; CHAGAS JÚNIOR, A.; NASCIMENTO, I. Danos causados por doenças fúngica no arroz cultivado em várzeas no Sul do estado do Tocantins. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 869- 875, 2011.

SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. S. (Ed.). **A cultura do arroz no Brasil**. 2. ed. rev. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1000 p. 2006.

SANTOS, G.R; SABOYA, L.M.F; RANGEL, P.N.N; OLIVEIRA FILHO, J.C. Resistência de genótipos de arroz a doenças no sul do Estado do Tocantins. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.18, n.1, p.3-12, 2002.

SCHAFER, J. F.; ROELFS, A. P. Estimated relation between numbers of urediniospores of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* and rates of occurrence of virulence, **Phytopathology**, 75:749-750, 1985.

SILVA-LOBO, V. L.; FILIPPI, M. C. C; PRABHU, A.S. **Manejo de doenças do arroz**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao> >. Acesso em: 19 Ago. 2022.

SILVA-LOBO, V. L. FILIPPI, M. C. C. **Manual de identificação de doenças da cultura do arroz**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: < <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1070298>>. Acesso em: 19 Ago. 2022.

SILVA-LOBO, V. L.; DE AGUIAR, J. T.; CÔRTEZ, M. V. D. C. B.; DE FILIPPI, M. C. C.; PRABHU, A. S. **Critérios para Avaliação da Resistência à Mancha Parda e Relação entre a Mancha Parda na Folha Bandeira e a Mancha de Grãos em Genótipos de Arroz**. Embrapa Arroz e Feijão-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2014.

SINGH, R. P.; SINGH, P. K.; RUTKOSKI, J.; HODSON, D. P. H. E. X., JORGENSEN, L. N.; MOGENS, S.; HOVMOLLER, M. S.; HUERTA-ESPINO, J. Disease impact on wheat yield potential and prospects of genetic control. **Annual review of phytopathology**, v. 54, p. 303-322, 2016.

SISTEMA FAEG. FAEG, Senar Goiás e Sindicato Rural. **Revista Campo**, 2018. Disponível em: <<http://sistemafaeg.com.br/mercados-e-cotacoes/custo-de-producao>>. Acesso em: ago.2022.

SOARES, L. C. S.; RAPHAEL, J. P. A.; BORTOLOTTI, R. P.; NORA, D. D.; GRUHN, E. M. Blast disease in rice culture. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava, v. 7, n. 2, p. 109-119, 2017.

SOARES, A. A.; SANTOS, P. G.; MORAIS, O. P. de; SOARES, P. C.; REIS, M. D. S.; SOUZA, M. A. Progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 3, p. 415-424, mar. 1999.

STRECK, E. A. **Contribuição Genética do Melhoramento de Arroz Irrigado de Terras Baixas para o Rio Grande do Sul**. 146 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2017.

STRECK, E. A.; AGUIAR, G. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; FACCHINELLO, P. H. K.; OLIVEIRA, A. C. de. Phenotypic variability in genotypes of irrigated rice via multivariate analysis. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 101-109, 2017.

THRALL, P. H.; BURDON, J. J. Evolution of virulence in a plant host-pathogen metapopulation. **Science**, v. 299, p. 1735-1737, 2003.

USDA: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agriculture Supply and Demand Estimates**. p. 2-40. 2022.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto SP: Sociedade Brasileira de Genética. 486p., 1992.

VLEESHOUWERS, V.G.; OLIVER, R.P. Effectors as Tools in Disease Resistance Breeding Against Biotrophic, Hemibiotrophic, and Necrotrophic Plant Pathogens, V.27. **Molecular Plant Microbe Interactions**, v. 17, p 19-206, 2014.

WEBSTER, R.K.; GUNNELL, S.P. **Compendium of Rice Diseases**, St. Paul: APS, 1992. 62p.

WILSON, R.A.; TALBOT, N. J. Under pressure: investigating the biology of plant infection by *Magnaporthe oryzae*. **Nature Reviews Microbiology**, London, v.7, n. 3, p.185-195, mar. 2009.

XU, X.; CHEN, H.; FUJIMURA, T.; KAWASAKI. Fine mapping of a strong QTL of Weld resistance against rice blast, Pikahei-1(t), from upland rice Kahei, utilizing a novel resistance evaluation system in the greenhouse. **Theoretical and Applied Genetics**, v.117, p. 997-1008, 2008.

ZENGA, G.C.; AGRAMA, H.A.; LEE, F.N.; YAN, W.; JIA, Y. Identifying novel resistance genes in newly introduced blast resistant rice germplasm. **Crop science**, v. 46, p.1870-1878, 2006.

ZHU, X.; CHEN, S.; YANG, J.; ZHOU, S.; ZENG, L.; HAN, J.; SU, J.; WANG, L.; PAN, Q. The identification of Pi50(t), a new member of the rice blast resistance Pi2/Pi9 multigene family. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 124, p. 1295-1304, 2012.

ANEXO A

Tabela 1 - Resumo da análise conjunta para as avaliações de escaldadura.

Mancha Parda				
FV	GL	SQ	QM	
Ambiente	4	170.796	42.699	**
Tratamento	42	83.897	1.998	*
Ambiente x Bloco	10	23.948	2.395	*
Erro	188	228.036	1.213	
Escaldadura				
FV	GL	SQ	QM	
Ambiente	4	520.87	130.218	**
Tratamento	43	53.52	1.245	**
Ambiente x Bloco	10	7.78	0.778	
Erro	201	143.11	0.712	
Mancha de Grãos				
FV	GL	SQ	QM	
Ambiente	3	186.454	62.151	**
Tratamento	38	86.978	2.289	*
Ambiente x Bloco	8	25.690	3.211	*
Erro	168	293.098	1.745	

*, ** teste de F significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Do autor (2023).