



UFG

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E
MELHORAMENTO DE PLANTAS**

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE
LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
POR MEIO DA LÓGICA *FUZZY***

Douglas de Oliveira Maciel

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Patrícia Guimarães Santos Melo



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Douglas de Oliveira Maciel

3. Título do trabalho

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
POR MEIO DA LÓGICA FUZZY

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;

- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Guimarães Santos Melo, Professora do Magistério Superior**, em 20/12/2022, às 11:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Douglas De Oliveira Maciel, Discente**, em 20/12/2022, às 11:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3404425** e o código CRC **D0BFD89B**.

Referência: Processo nº 23070.052651/2022-71

SEI nº 3404425

DOUGLAS DE OLIVEIRA MACIEL

Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de terras altas por meio da lógica *fuzzy*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, da Escola de Agronomia, da Universidade Federal de Goiás (UFG), como requisito para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.

Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas.

Linha de Pesquisa: Melhoramento de Espécies Cultivadas

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Guimarães Santos Melo

GOIÂNIA

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Maciel, Douglas de Oliveira
[manuscrito] / Douglas de Oliveira Maciel. - 2022.
V, 57 f.

Orientador: Prof. Patrícia Guimarães Santos Melo.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, Goiânia, 2022.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui mapas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. recomendação de linhagens. 2. *Oryza sativa*. 3. genótipos. 4. lógica difusa. I. Melo, Patrícia Guimarães Santos, orient. II. Título.

CDU 631/635



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

ESCOLA DE AGRONOMIA

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **PPGGMP/001/2022** da sessão de Defesa de Dissertação de Douglas de Oliveira Maciel, que confere o título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas, na área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas.

Aos cinco dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e dois, a partir das oito horas e trinta minutos, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “ ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS POR MEIO DA LÓGICA FUZZY”. Os trabalhos foram instalados pela Orientadora, Professora Patrícia Guimarães Santos Melo (EA/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutora Flávia Barbosa Silva Botelho (UFLA), membro titular externo; Doutor Paulo Henrique Ramos Guimarães (Ridesa), membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **APROVADO** pelos seus membros. Proclamados os resultados pela Professora Patrícia Guimarães Santos Melo, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, aos cinco dias do mês de outubro do ano de dois mil e vinte e dois.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Guimarães Santos Melo, Professora do Magistério Superior**, em 05/10/2022, às 11:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Henrique Ramos Guimarães, Usuário Externo**, em 05/10/2022, às 14:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **FLAVIA BARBOSA SILVA BOTELHO, Usuário Externo**, em 06/12/2022, às 17:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3216818** e o código CRC **CBEE8BB7**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha família: minha mãe, Aparecida, meu pai, Otanir e meu irmão, Jhonny. Pelo apoio em todos os momentos ao longo desta etapa de crescimento pessoal e profissional.

Agradeço à Prof.^a Dr.^a Patrícia por sua orientação desde meu ingresso com extrema atenção, dedicação e pelo exemplo profissional. Sem isso não seria possível a realização deste trabalho.

A todos os professores do PPGGMP que passaram seus conhecimentos com extrema competência, dedicação e respeito, que me instigaram e permitiram apresentar melhor desempenho durante o processo de formação. A todos, minha reverência.

Aos colegas do PPGGMP, principalmente a Gabriela, Agnes, Iago, Lucas e Renato, pelos conhecimentos trocados e ajuda durante a formação, apoio e amizade.

Aos alunos de iniciação científica pelas coletas de dados, em especial a Vanessa e ao Antônio, dos quais tive o prazer de conhecer.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de 12 meses de bolsa.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), Embrapa Arroz e Feijão e Universidade de Rio Verde (UniRV) pela parceria no projeto.

A Universidade Federal de Goiás e ao PPGGMP pelo ensino de qualidade e oportunidade de realizar sonhos.

Gostaria de deixar meus sinceros agradecimentos a todos que estão ligados direta ou indiretamente a esse trabalho e não tiveram seus nomes citados. Muito obrigado.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1	<i>ORYZA SATIVA</i>	9
2.2	IMPORTÂNCIA SOCIOAMBIENTAL	11
2.3	INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES	12
2.4	ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE	13
2.4.1	Eberhart e Russell (1966)	14
2.4.2	Método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)	16
2.5	LÓGICA <i>FUZZY</i>	17
2.5.1	Conjuntos <i>fuzzy</i> e variáveis linguísticas	17
2.5.2	Controladores	21
2.5.3	APLICAÇÕES	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	24
3.1	GENÓTIPOS AVALIADOS E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE CAMPO	24
3.2	CARACTERES AVALIADOS	25
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	25
3.4	ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE	27
3.4.1	Eberhart e Russell (1966)	27
3.4.2	Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)	27
3.5	CONTROLADORES <i>FUZZY</i>	28
3.5.1	Controlador <i>fuzzy</i> para Eberhart e Russel (1968)	28
3.5.2	Controlador híbrido	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	ALTURA DE PLANTAS	33
4.2	PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	38
4.3	NÚMERO DE DIAS PARA FLORESCIMENTO.....	43
4.3	ESCOLHA DE LINHAGENS	47
5	CONCLUSÕES	49
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
	APENDICE	55

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Representação de uma variável linguística (notas), utilizando funções de pertinência triangulares (“trimf”) para representar os conjuntos “Ruim”, “Mediana” e “Excelente”..... 18
- Figura 2.** Gráfico das funções em forma de Z (“smf”) e S (“zmf”) (a), forma de π (“pimf”) (b), triangular (“trimf”) (c) e trapezoidal (“trapmf”) (d). 19
- Figura 3.** Municípios instalados os experimentos dentro do Estado de Goiás. 25
- Figura 4.** Curvas de pertinências dos controladores para as variáveis de entrada B₀ (a), B₁ (b), R₂ (c) e PIF e PID (d)..... 29
- Figura 5.** Funções de pertinência dos conjuntos “Geral Desfavorável” (GD), “Geral Favorável” (GF), “Desfavorável” (DES), “Pouco Adaptado” (PA) e “Favorável” (FAV), assumidas para a variável fuzzy de saída. 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Organização ambientes avaliados.....	24
Tabela 2. Regras fuzzy implementadas no controlador fuzzy para o modelo de Eberhart e Russell.....	31
Tabela 3. Regras linguísticas fuzzy do controlador híbrido, baseadas no método de Eberhart & Russell e no método modificado de Lin & Binns.....	32
Tabela 4. Resumo de análise de variância individual para a altura de plantas (cm) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em treze ambientes no estado de Goiás.....	33
Tabela 5 Resumo de análise de variância conjunta para característica altura de plantas (cm) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em treze ambientes do estado de Goiás.....	35
Tabela 6. Variáveis de entrada e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES) de 20 linhagens de arroz de terras altas submetidas ao controlador fuzzy baseado no método de Eberhart e Russel (1966), para a característica altura de plantas. 36	
Tabela 7. Variáveis de entrada e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES) de 20 linhagens de arroz de terras altas submetidas ao controlador fuzzy híbrido, para característica altura de plantas.	38
Tabela 8. Resumo de análise de variância individual para a característica produtividade (kg/ha) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em treze ambientes no estado de Goiás.....	39
Tabela 9. Resumo de análise de variância conjunta para característica produtividade de grãos (kg/ha) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em treze ambientes do estado de Goiás.....	40
Tabela 10. Variáveis de entrada e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas submetidas ao controlador fuzzy baseado no método de Eberhart e Russel (1966), para a característica produtividade.....	41
Tabela 11. Variáveis de entrada e classificação do comportamento da característica produtividade de linhagens e cultivares de arroz de terras altas submetidas ao controlador híbrido fuzzy baseado no método de Eberhart & Russell e no método modificado de Lin & Binns.....	42

- Tabela 12.** Resumo de análise de variância individual para a característica número de dias para o florescimento (dias) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em oito ambientes no estado de Goiás. 43
- Tabela 13.** Resumo de análise de variância conjunta para característica número de dias para o florescimento (dias) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em oito ambientes no estado de Goiás..... 44
- Tabela 14.** Variáveis de entrada e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas submetidas ao controlador fuzzy baseado no método de Eberhart e Russel (1966), para a característica número de dias para o florescimento. 45
- Tabela 15.** Variáveis de entrada e classificação do comportamento da característica dias para p número de dias para o florescimento de linhagens e cultivares de arroz de terras altas submetidas ao controlador híbrido fuzzy baseado no método de Eberhart & Russell e no método modificado de Lin & Binns... 47
- Tabela 16.** Médias de altura de plantas (cm) e método de agrupamento de Scott-knott, de 20 linhagens de arroz de terras altas, em 13 ambientes, nos anos de 2017 a 2021..... 55
- Tabela 17.** Médias de produtividade de grãos (kg/ha) e método de agrupamento de Scott-knott, de 20 linhagens de arroz de terras altas, em 13 ambientes, nos anos de 2017 a 2021 56
- Tabela 18.** Médias de número de dias para o florescimento (dias) e método de agrupamento de Scott-knott, de 20 linhagens de arroz de terras altas, em 8 ambientes, nos anos de 2017 a 2021..... 57

RESUMO

MACIEL, D. O. **Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de arroz de terras altas por meio da lógica *fuzzy***. 2022. 57 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022.

A seleção de linhagens para caracteres de interesse agrônômico é feita com avaliações em diferentes ambientes. Como os ambientes são diversificados e avaliam-se várias linhagens, espera-se a ocorrência da interação genótipos por ambientes, e que a mesma tenha papel importante na manifestação do fenótipo. Estudos de adaptabilidade e estabilidade têm sido empregados em programas de melhoramento visando auxiliar o processo de seleção onde a interação de genótipos por ambientes tem sido relatada. A avaliação é baseada em parâmetros fornecidos por metodologias e requer experiência do melhorista, dificultando-a conforme se aumenta o número de genótipos avaliados. A lógica *fuzzy* destaca-se por permitir a automação da tomada de decisão, e ainda classificar o quanto um genótipo pertence a cada conjunto. O objetivo deste trabalho foi avaliar os genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade por meio da lógica *fuzzy*, utilizando dados de caracteres agrônômicos de arroz de terras altas do programa de melhoramento da UFG e parceiros. Oito linhagens do programa de melhoramento da UFG, dez provenientes da UFLA e duas cultivares comerciais foram avaliadas para os caracteres produtividade de grãos, altura de plantas e número de dias para o florescimento, em ensaios de VCU em seis locais no estado de Goiás em quatro anos agrícolas, nas safras 2017/18 a 2020/21. Os ensaios variaram entre os locais ao longo dos anos, totalizando treze ambientes para produtividade de grãos e altura de plantas, e oito ambientes para número de dias para o florescimento. O delineamento foi o de blocos completos casualizados, com três repetições, e parcelas de quatro linhas de 4 metros, espaçadas por 0,45 metros. A área útil considerada foi 3 metros das linhas centrais. As análises de adaptabilidade e estabilidade consideraram um controlador *fuzzy* baseado no método de Eberhart e Russell (1966), e um controlador híbrido, baseado nos métodos Lin e Binss (1988), modificado por Carneiro (1998) e associado com Eberhart e Russell (1966). Ambos controladores classificaram os as linhagens em quatro conjuntos quanto ao desempenho relativo à adaptabilidade e estabilidade (geral, pouco adaptada, ambientes favoráveis, ambientes desfavoráveis). A linhagem CSD 08004 apresentou adaptabilidade e estabilidade ampla para altura de plantas e produtividade, além de valor de pertinência próximo a classificação como de adaptabilidade e estabilidade geral para o número de dias para o florescimento. Assim a linhagem CSD 08004 pode ser recomendada para cultivo na região do Estado de Goiás.

Palavras chave: Recomendação de linhagens, *Oryza sativa*, genótipos, lógica difusa.

ABSTRACT

The selection of lines for characters of agronomic interest is done with evaluations in different environments. As the environments are diversified and several lines are evaluated, it is expected that the interaction between genotypes by environments will occur, and that it will play an important role in the manifestation of the phenotype. Adaptability and stability studies have been used in breeding programs to help the selection process where the interaction of genotypes by environments has been reported. The evaluation is based on parameters provided by methodologies and requires the breeder's experience, making it difficult as the number of evaluated genotypes increases. Fuzzy logic stands out for allowing the automation of decision making, and also classifying how much a genotype belongs to each set. The objective of this work was to evaluate the genotypes in terms of adaptability and stability through fuzzy logic, using data on agronomic characters of upland rice from the breeding program of UFG and partners. Eight lines from the UFG breeding program, ten from UFLA and two commercial cultivars were evaluated for grain yield, plant height and number of days to flowering, in VCU trials at six locations in the state of Goiás in four agricultural years, in the 2017/18 to 2020/21 harvests. The trials varied between locations over the years, totaling thirteen environments for grain yield and plant height, and eight environments for number of days to flowering. The design was complete randomized blocks, with three replications, and plots of four lines of 4 meters, spaced by 0.45 meters. The useful area considered was 3 meters from the central lines. The adaptability and stability analyzes considered a fuzzy controller based on the Eberhart and Russell (1966) method, and a hybrid controller, based on the Lin and Binss (1988) methods, modified by Carneiro (1998) and associated with Eberhart and Russell (1966). Both controllers classified the lines into four sets in terms of performance relative to adaptability and stability (general, poorly adapted, favorable environments, unfavorable environments). The CSD 08004 line showed broad adaptability and stability for plant height and grain yield, in addition to a pertinence value close to classification as adaptability and general stability for the number of days to flowering. Thus, the CSD 08004 line can be recommended for cultivation in the region of the State of Goiás.

Keywords: Lines recommendation, *Oryza sativa*, genotypes, fuzzy logic.

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa L.*) é uma das culturas de grande importância para a segurança alimentar mundial. Produzido nos cinco continentes, está presente na alimentação de grande parte da população. O consumo *per capita* mundial de arroz e produtos derivados é de 80,54 kg ano⁻¹, superando o do trigo. O consumo *per capita* no Brasil é de 37,49 kg ano⁻¹, a frente do feijão (12,69 kg ano⁻¹) e atrás do trigo (52,59 kg ano⁻¹), constituindo um dos principais cereais usados na alimentação (FAO, 2022).

A espécie foi domesticada na Ásia, onde evoluiu sob forte pressão, resultando na formação de dois grupos, indica e japônica (Guimarães, 2009). No Brasil, chegou com os portugueses no século XVI (Abadie *et al.*, 2005). Tradicionalmente, o arroz é cultivado em dois sistemas: terras altas e várzea. A produção brasileira é majoritariamente composta pelo sistema de várzea, com mais de 90% da produção. A produção do arroz de terras altas vem perdendo espaço para outras culturas, apresentando baixa representatividade, de apenas 7,3% do total produzido na safra 2021/2022 (Conab, 2022).

No Brasil, a área disponível para aumento da produção de arroz em várzea é limitada, pelo alto impacto no meio ambiente e por problemas sociais, como a competição pela demanda de água pelas indústrias e uso doméstico. A produção de arroz está concentrada em um único Estado, o Rio Grande do Sul com 76,7% do volume (Conab, 2022; Mapa, 2021), o que denota grande risco para o abastecimento do mercado interno, visto que a produção pode variar conforme condições climáticas. Nesse sentido, há grande interesse no sistema de produção de arroz de terras altas na região Centro-Oeste do Brasil. A expansão do cultivo de arroz de terras na região do Cerrado pode facilitar a distribuição geográfica da cultura, contribuindo para maior segurança alimentar, e minimizar problemas de logística (Carvalho *et al.*, 2020).

O melhoramento de plantas é uma estratégia viável de incremento de produtividade de grãos de forma sustentável, além de não implicar gastos adicionais ao produtor. No Brasil, o melhoramento genético foi uma das principais causas de aumento

de produtividade, com o lançamento de cultivares modernas e adaptadas às condições ambientais (Da Costa et al., 2021).

Uma das principais etapas nos programas de melhoramento é a recomendação de linhagens elite para cultivo em regiões alvo. A recomendação de genótipos feita somente com base na média geral obtida de vários experimentos pode não ser efetiva, principalmente se tratando de caracteres quantitativos. Esta dificuldade está relacionada com a presença da interação genótipo por ambientes, que produz respostas não coincidentes dos genótipos em função dos ambientes (Chaves, 2001). Nesse sentido, os estudos de adaptabilidade e estabilidade auxiliam no momento da recomendação, pois avaliam o comportamento dos genótipos frente as variações ambientais (Carneiro, 2015).

O grande número de métodos para se estudar a adaptabilidade e estabilidade reflete a importância deste tema no melhoramento de plantas. Entretanto, algumas metodologias produzem parâmetros específicos a adaptabilidade, estabilidade e média, além de parâmetros complementares, sendo necessário avaliá-los simultaneamente. Com a complexidade de múltiplos genótipos, parâmetros e classificações produzidos por essas metodologias, processos alternativos podem ser usados (Silva Júnior *et al.*, 2021).

A inteligência computacional é uma abordagem de grande potencial e que pode ser aplicada ao melhoramento de plantas, uma vez que já é consolidada na área da bioinformática (Carneiro *et al.*, 2018). A lógica *fuzzy* é uma alternativa para automação na tomada de decisão, pois traduz expressões verbais, incompletas, comuns da linguagem humana, em valores numéricos, permitindo converter a uma linguagem descodificável por computador (Da Silva et al., 2019).

Ao contrário da lógica clássica, que usa distinções bem definidas para separar conjuntos, a lógica *fuzzy* utiliza a ideia de que todas as coisas (temperatura, velocidade, altura etc.) possuem grau de pertinência. Assim, a lógica *fuzzy* modela a tomada de decisão de maneira aproximada, refletindo a maneira como o ser humano pensa, sendo aplicada em várias áreas (Marro, 2010).

O uso da lógica *fuzzy* no melhoramento de plantas, especialmente em estudos de adaptabilidade e estabilidade, vem sendo utilizada como uma estratégia que facilita as decisões do melhorista. Uma de suas vantagens é o grau de pertinência ou não pertinência aos conjuntos definidos pelo pesquisador. Assim, é possível obter em valores numéricos o quão presente em um conjunto de genótipos está um genótipo em

específico. Além de classificar os genótipos de forma correta de acordo com os critérios do método adotado (Cardoso *et al.*, 2021; Carneiro *et al.*, 2019, 2020, 2018; Silva Júnior *et al.*, 2021).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de caracteres agronômicos de linhagens de arroz de terras altas utilizando dados da rede de ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do programa de melhoramento de arroz de terras altas por meio da lógica *fuzzy*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ORYZA SATIVA

O arroz (*Oryza sativa* L.) pertence a divisão das Angiospermas, classe monocotiledôneas, ordem *Glumifora*, família *Poacea*, subfamília *Oryzoidae* e gênero *Oryza*. O gênero possui duas espécies cultivadas *O. glaberrima* que é cultivado principalmente na África, e *O. sativa*, que é mais conhecido por sua grande relevância na alimentação humana (Ramos, 2015).

A espécie foi domesticada na Ásia, onde evoluiu sob forte pressão evolutiva natural e artificial que resultou na formação de dois grupos, Índica e Japônica. O grupo Índica adaptou-se a regiões do Himalaia e ao norte da Índia, enquanto o Japônica foi ao sudoeste da Ásia. O processo evolutivo deu a estes dois grupos características distintas, tais como: tolerância a baixas temperaturas, estresse hídrico, capacidade de resposta a fertilizantes, maior potencial de competição com plantas daninhas, capacidade fotossintética, entre outras coisas (Guimarães, 2009). Por volta do século VII, a cultura foi introduzida no oriente médio e nos séculos IX e X chegou a Europa. No Brasil chegou com os portugueses no século XVI, e espalhou-se pelo território durante os séculos XVIII e XIX (Abadie *et al.*, 2005; Khush, 1997).

Devida a sua adaptação a diversas condições de cultivo, o arroz é cultivado em cinco continentes, e quase 90% da produção mundial está concentrada no continente Asiático. Sendo os principais países produtores China, Índia, Bangladesh e Indonésia. O restante da produção divide-se principalmente nas Américas e no continente Africano, ambos com 5% cada da produção mundial. Entre os cereais destinados a alimentação humana, é de fundamental importância, sendo responsável por 542 kcal dia⁻¹ da dieta alimentar. Em algumas regiões, especialmente a Ásia, o arroz constitui a base da alimentação (FAO, 2022).

O Brasil destaca-se como o principal produtor de arroz fora do continente asiático, onde a cultura é de grande importância econômica e social, pois, juntamente com o feijão se constitui um dos principais componentes da dieta alimentar brasileira. A

produção brasileira é relativamente ajustada ao consumo nacional, sendo as importações e exportações equivalentes (Conab, 2022).

Tradicionalmente, o arroz é cultivado em dois sistemas de cultivo; terras altas ou várzea. O arroz de terras altas, é geralmente cultivado em terrenos firmes, ou levemente inclinados. As necessidades hídricas da cultura são atendidas com águas das chuvas, porém em alguns casos, pode-se utilizar irrigação suplementar. Este sistema comumente é cultivado em sistema de rotação de culturas. No arroz de várzea, os campos são inundados durante parte ou toda a estação de crescimento, possuindo maiores produtividades quando comparado ao sistema de terras altas (Abadie et al., 2005; Saito et al., 2018).

Nas últimas três décadas a cultura teve significativa redução da área de cultivo, passando de 4,7 milhões de hectares em 1992 para 1,62 em 2022 (Conab, 2022). Especialmente o declínio do cultivo do arroz de terras altas, ocasionando o predomínio da produção em sistema irrigado por inundação, localizado principalmente na região Sul. A procura por inovações, como novas cultivares e a aproximação da produtividade potencial ou do limite máximo de produtividade para o arroz irrigado, são componentes importantes na constância da área de produção na região Sul do País (Carvalho *et al.*, 2020).

Este efeito é resultado do aumento da produtividade com o avanço de cultivares, visto que a produção brasileira enseja somente atender ao mercado nacional, em que o consumo teve aumento menor do que o ganho de produtividade no período. Entre os anos de 2006 a 2022 a área de cultivo no sistema irrigado manteve-se em 1,3 milhões de hectares, enquanto que a produtividade média saltou de 6,5 t ha⁻¹ para 8,3 ha⁻¹. No mesmo período a área cultivada no sistema de terras altas, caiu 80,25% (de 1,6 milhões de hectares para 316 mil hectares). Por outro lado, a produtividade teve um salto de 1,8 t ha⁻¹ para 2,43 t ha⁻¹, este aumento em parte, foi devido à redução de áreas de baixa produtividade, contribuindo no aumento da média nacional (Carvalho *et al.*, 2020; Conab 2022).

A produção brasileira nos últimos anos, vem mantendo o volume total, com algumas oscilações, que em parte acontece devido a condições anuais favoráveis ou desfavoráveis. Essa constância é devida, em parte, ao aumento de produtividade nas últimas safras em ambos os sistemas de cultivo. A oferta continua ajustada ao consumo, com o excedente sendo estocado ou exportado. Na safra de 2021/2022, foram

produzidas no Brasil 10,8 milhões de toneladas, sendo 10 milhões de toneladas no sistema irrigado e 0,8 milhões de toneladas no sistema de terras altas (Conab, 2022).

2.2 IMPORTÂNCIA SOCIOAMBIENTAL

O Brasil se destaca mundialmente como um dos maiores produtores de alimentos do mundo. O setor agropecuário ocupa quase 31% do território (MapBiomass, 2022), sendo a segunda maior fonte de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) do país, com um total de 577 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_{2e}), somente atrás do setor de mudança de uso de terras e florestas (SEEG, 2021). O gás metano (CH₄) é um dos principais gases de efeito estufa. Uma molécula de metano possui potencial de aquecimento vinte uma vez maior quando comparado a molécula de dióxido de carbono (CO₂). A emissão de metano ocorre de forma natural nos ecossistemas, sendo favorecida em ambientes ricos em matéria orgânica e com baixa presença de oxigênio (Carvalho *et al.*, 2020).

No Brasil, a maior fonte de emissão de gás metano é proveniente da fermentação entérica, processo que ocorre no rúmen de animais, seguido pelo manejo de dejetos de animais e a cultura do arroz. A cultivo de arroz representou 2,5% das emissões de metano no ano de 2020 (SEEG, 2021). A emissão de metano pela cultura do arroz ocorre principalmente no sistema irrigado devido a condições altamente propícias.

A agricultura intensiva necessita preservar ecossistemas nativos remanescentes, buscar maior eficiência de uso dos recursos solo e água, e conviver com as rápidas modificações climáticas causadas pelo aquecimento global. A pesquisa e o desenvolvimento voltado para a produção de arroz de terras altas se tornam uma estratégia protagonista para a busca de uma agricultura mais sustentável. O cultivo em terras altas está alinhado à conceitos modernos de produção e consumo, pois depende apenas da água das chuvas para produção, e emissão nula de metano (Embrapa, 2015). Portanto, o cultivo em terras altas, pode proporcionar redução no uso dos recursos hídricos, com maior absorção de carbono, contribuindo para uma produção e consumo sustentáveis.

A expansão do cultivo do arroz de terras altas pode favorecer a distribuição geográfica, contribuindo para maior segurança de produção e segurança alimentar, já que o arroz é alimento básico para a população brasileira. A concentração da produção

na região sul significa risco para o abastecimento, visto que a produção pode variar conforme variações climáticas. Portanto, a expansão do cultivo do arroz de terras altas em áreas consolidadas pelo setor agrícola no Cerrado é desejável, pois minimizaria problemas de logística e abastecimento, aproximando a produção de outras regiões consumidoras no Brasil (Carvalho *et al.*, 2020)

Em levantamento realizado por Chaves *et al.* (2015) no estado do Mato Grosso, 87% do arroz presente nas gôndolas dos supermercados foi proveniente de marcas e produção local, que no estado é majoritariamente o sistema de terras altas. O grão empacotado no estado é distribuído em comércios de todos os portes. Entretanto, o arroz proveniente de outros estados, em especial a região sul, concentra-se em comércios de grande porte e redes varejistas, demonstrando a importância da produção local no abastecimento.

Devido a importância da cultura do arroz de terras altas na agricultura pela sua inserção na dieta alimentar e como alternativa de novos sistemas de plantio, o desenvolvimento de novas cultivares é fundamental, tendo em vista que a produção vem diminuindo gradativamente no cenário nacional e com projeções de diminuição de áreas, devendo ser compensada com aumento de produtividade (Mapa, 2021). Isso seria um risco para a segurança alimentar do país, além de atingir uma parcela significativa de produtores concentrados em várias regiões.

2.3 INTERAÇÃO GENÓTIPOS POR AMBIENTES

Entende-se como interação genótipos por ambientes (G x A) o comportamento distinto de linhagens, cultivares, híbridos e etc., em detrimento de diferentes condições ambientais, tais como, altitude, pluviosidade, fertilidade de solo e demais variações nas condições de cultivo. As causas da interação têm sido atribuídas a fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada genótipo (Nunes *et al.*, 2011).

A interação G x A ocorre quando há respostas diferenciais dos genótipos em relação à variação do ambiente. A interação pode ser classificada como simples ou complexa. A primeira é proporcionada pela variabilidade entre genótipos nos ambientes. Já a segunda, denominada complexa, é dada pela falta de correlação do comportamento dos genótipos entre os ambientes e indica a inconsistência da classificação dos genótipos com a variação ambiental. Assim, um genótipo pode apresentar comportamento superior em um ambiente, mas não em outro, tornando difícil a seleção e/ou recomendação do mesmo (Cruz *et al.* 2012).

A partir dos resultados da análise conjunta dos ensaios, caso não se verifique a presença da interação genótipos por ambientes, a recomendação de cultivares pode ser feita apenas com base na média geral, e o número de ensaios de avaliação pode ser diminuído em avaliações posteriores. Esta situação, no entanto, dificilmente ocorre, pelo menos para as grandes culturas (Chaves, 2001).

Genótipos adaptados a ambientes específicos devem ser identificados como opção para amenizar os efeitos da interação genótipos por ambientes. Entretanto, devido à grande possibilidade de ambientes encontrados, especialmente em países de climas tropicais, torna-se inviável a produção de sementes e manutenção de inúmeros genótipos necessários. Assim, propõe-se a identificação de genótipos com maior adaptabilidade fenotípica, por serem aplicados em várias situações. A identificação destes requer estudos sobre o desempenho genotípico, com base nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade. Para esse tipo de estudo existem atualmente inúmeras metodologias utilizadas (Mano, 2009).

2.4 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

Os estudos sobre a interação G x A são de grande importância para o melhoramento genético de plantas. Porém, estes tipos de estudos, não proporcionam informações detalhadas sobre o comportamento dos genótipos frente as variações ambientais. Assim, deve-se buscar modelos que permitam a identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais (Cruz *et al.* 2012).

Para tal objetivo, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade. A adaptabilidade é a capacidade do genótipo de responder favoravelmente as mudanças do ambiente, enquanto a estabilidade é a capacidade do genótipo ter desempenho previsível frente as variações ambientais (Marriot, *et al.*, 1976).

Nas últimas fases de programas de melhoramento, linhagens com potencial de mercado devem ser avaliadas em um conjunto de ambientes, que representem condições próximas as do ambiente de cultivo. Para ser bem-sucedida, uma linhagem deve apresentar alto desempenho agrônômico em uma ampla gama de condições ambientais (Carneiro, 2016). A adaptabilidade e estabilidade é uma característica herdável, e por isso, pode ser utilizada como critério na seleção de genitores potenciais em etapas subsequentes em programas de melhoramento (Pereira *et al.*, 2015). Isso se

dá porque parte do desempenho observado a campo, é definido por uma grande quantidade de genes fortemente influenciados pelo ambiente.

O grande número de métodos para se estudar a adaptabilidade e estabilidade reflete a importância deste estudo para explorar favoravelmente a interação genótipos por ambientes. A escolha do método a ser utilizado depende de alguns aspectos, como o número de ambientes, a precisão necessária, o tipo de informação desejada e a facilidade de análise e interpretação dos dados (Cruz *et al.*, 2012).

A maioria dos métodos existentes utilizam técnicas de regressão linear, medindo a variação de um caráter quantitativo em relação a um índice ambiental, como os métodos de Eberhart & Russell (1966) e Cruz *et al.* (1989). A diferenciação entre os modelos se dá pelo modelo de regressão utilizado, pela forma de interpretação dos parâmetros do modelo e pela maneira de se determinar o índice ambiental (Chavez, 2001). Há também métodos baseados em análise de variância (Annicchiarico, 1992) e métodos não paramétricos (Lin & Binns, 1988; Carneiro, 1998). Essas metodologias estimam parâmetros específicos analisados isoladamente para cada genótipo, a fim de se escolher os melhores (Silva Júnior *et al.*, 2021).

2.4.1 Eberhart e Russell (1966)

O método proposto por Eberhart & Russel (1966) tem sido um dos métodos mais empregados para o estudo de adaptabilidade e estabilidade de genótipos. Este método baseia-se na análise de regressão linear simples, no qual o efeito do ambiente é a variável independente, e a resposta do caráter quantitativo, de cada genótipo em cada ambiente, representa a variável dependente (Carneiro, 2016).

O modelo de regressão do método é dado a seguir:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \overline{\varepsilon_{ij}}$$

Sendo:

Y_{ij} : a média do genótipo i no ambiente j ;

β_{0i} : a média geral do genótipo i ;

β_{1i} : é o coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente;

I_j : é o índice ambiental codificado;

δ_{ij} : desvio da regressão;

$\overline{\varepsilon_{ij}}$: é o erro experimental médio.

Desta maneira, é possível estimar a resposta fenotípica dos genótipos com base em índices ambientais. Este modelo é capaz de fornecer estimativas de adaptabilidade e estabilidade, sendo fornecidas pelas estimativas do coeficiente de regressão no caso de adaptabilidade, e os desvios da regressão para a estabilidade (Cruz *et al.* 2012).

O coeficiente de regressão (β_{1i}) é o estimador de adaptabilidade dos genótipos, classificando-os como genótipos de adaptabilidade ampla ou específica. Genótipos cujos β_{1i} são iguais a 1, são considerados genótipos de ampla adaptabilidade, ou seja, capazes de apresentar bom comportamento em ambientes e ambientes ruins. Os genótipos com adaptabilidade específica são aqueles que apresentam adaptabilidade para ambientes específicos, que podem ser desfavoráveis, ($\beta_{1i} < 1$), ou favoráveis ($\beta_{1i} > 1$). Comumente estes genótipos não são de grande interesse aos melhoristas, visto que as condições ambientais são flutuantes e os genótipos podem apresentar comportamento imprevisível (Cruz *et al.* 2012).

Os desvios da regressão (δ_{ij}) são tomados como estimativas de estabilidade. Genótipos que apresentam δ_{ij} que não diferem estatisticamente de 0 são considerados com alta previsibilidade de resposta, e, portanto, considerados com maior estabilidade. Valores de δ_{ij} significativamente diferentes de 0 indicam que a regressão linear não representa de forma satisfatória a variação do genótipo nos diferentes ambientes, não permitindo boa previsibilidade do comportamento do genótipo de acordo com o modelo (Chaves, 2001).

Muitos genótipos com características superiores podem apresentar δ_{ij} significativos, dificultando a seleção. Na seleção de alguns genótipos em que os valores de δ_{ij} são baixas, o coeficiente de determinação (R_i^2) pode ser uma medida a auxiliar a comparação entre genótipos (Cruz *et al.* 2012). A utilização do R_i^2 como medida de estabilidade deve ser cautelosa, uma vez que estes valores apresentam correlação com os valores de β_{1i} . Valores elevados de R_i^2 estão comumente associados a genótipos responsivos (Chaves, 2001).

Eberhart e Russel (1966) definiram como genótipo ideal aquele que apresenta alta estimativa de β_{0i} e β_{1i} iguais a 1, δ_{ij} não significativamente diferente de 0 e com altos valores de R_i^2 , ou seja, aquele com melhor desempenho e comportamento altamente previsível frente as alterações ambientais. Para a cultura do arroz, alguns

estudos, tais como: Carneiro *et al.*, (2020), Mahalingam *et al.*, (2013) e Shrestha *et al.*, (2020) utilizaram o método de Eberhart e Russel (1966), a fim de definir quais linhagens possuem maior adaptabilidade e estabilidade utilizando na cultura devido à sua simplicidade e fácil utilização.

2.4.2 Método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

O método de Lin & Binns (1998) é muito utilizado por melhoristas devido a sua simplicidade e fácil interpretação, além de propor resultados seguros quanto a estabilidade produtiva dos genótipos. Este método baseia-se em métodos não paramétricos, que o difere das metodologias baseadas em regressão linear (Santos, 2014).

Este método caracteriza os genótipos superiores por meio de um único parâmetro (P_i), definindo como genótipo superior aquele que apresenta desempenho próximo do máximo no maior número de ambientes. Se a seleção for baseada apenas com base nos valores de P_i , os genótipos com baixa adaptabilidade geral, ou seja, aqueles com adaptação a ambientes específicos, podem ser descartados. De forma geral, o ideal é selecionar genótipos com média de produtividade elevada, com adaptabilidade ampla e, conseqüentemente, com boa estabilidade produtiva.

Carneiro (1998) propôs que a medida de P_i fosse decomposta em P_{if} e P_{id} , sendo estas novas medidas relativas ao desempenho do genótipo em ambientes favoráveis (ambientes com média superior a média geral dos experimentos) e desfavoráveis (ambientes com média inferior à média geral dos experimentos) conseqüentemente. A classificação dos ambientes em favoráveis ou desfavoráveis é obtida por meio de índices de ambientes, que é a diferença entre a média dos genótipos avaliados em dados ambiente comparado com a média geral dos experimentos.

O uso de mais de um método no mesmo conjunto de dados pode auxiliar na escolha de linhagens. Silva & Duarte (2006), demonstraram que o uso de um método baseado em regressão com um não paramétrico, apresentam complementariedade, podendo fornecer informações adicionais sobre a estabilidade fenotípica dos materiais avaliados. O estudo ainda mostrou que o método de Eberhart & Russel (1966) e Lins & Binns (1988), apresentam baixa correlação, sendo recomendado o uso em conjunto destes. O mesmo fato foi relatado por Nascimento *et al.* (2013).

O método de Lins & Bins (1988) modificado por Carneiro (1998) tem sido utilizado de forma individual ou em conjunto com outros métodos, em culturas como feijão (Carneiro *et al.*, 2020), batata-doce (Barreto *et al.*, 2011), soja (Marques *et al.*, 2011; Cavalcante *et al.*, 2014). Na cultura de arroz também tem sido utilizada a fim de selecionar linhagens, Silva Júnior *et al.* (2021) utilizaram a metodologia associada com o método de Eberhart & Russel (1966), e obtiveram melhor discriminação de linhagens, quando o uso de apenas um método isolado.

2.5 LÓGICA FUZZY

Como as estratégias utilizadas para gerar informações de recomendação de linhagens e cultivares são variadas e/ou complexas, e costumam estarem associadas a certo nível de dificuldade de interpretação, novas abordagens que auxiliam na interpretação e tomada de decisão são, muitas vezes, preferidas. Nesse sentido, a inteligência computacional surge como uma abordagem de grande potencial e que pode ser aplicada ao melhoramento de plantas, uma vez que já é consolidada na área da bioinformática (Carneiro *et al.*, 2018).

Ao contrário da lógica clássica em que uma observação pertence ou não a um conjunto, a lógica *fuzzy* assume que todas as coisas possuem um grau de pertinência. É neste grau de incerteza que é baseado o sistema *fuzzy*. Um sim ou não, zero ou um, pode, na maioria das vezes, não ser uma resposta completa, havendo inúmeros graus de incerteza (Da Silva *et al.*, 2019). A lógica *fuzzy* é uma alternativa para automação na tomada de decisão, pois traduz expressões verbais, comuns da linguagem humana, em valores numéricos, permitindo converter a uma linguagem compreensível por computador por meio do uso de variáveis linguísticas.

2.5.1 Conjuntos *fuzzy* e variáveis linguísticas

A lógica *fuzzy* é baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy*, e tem se mostrado adequado para se tratar imperfeições de informações (Da Silva *et al.*, 2019). Nos conjuntos *fuzzy*, um elemento pode ser associado a qualquer valor, dentro de um intervalo de 0 a 1, de forma que esse número indica o grau de pertinência do elemento dentro de um conjunto. Ou seja, um elemento pode não pertencer a um conjunto (valor 0), pertencer ao conjunto (valor 1), ou pode parcialmente pertencer ao conjunto ($0 < \text{valor} < 1$) (Bressan *et al.*, 2008). Os conjuntos *fuzzy* são definidos por funções de

pertinência, em que a transição de pertinência para não pertinência acontece de forma gradual, dentro de um intervalo de zero e um. As funções de pertinência podem assumir vários formatos, e a escolha deve ser definida pelo especialista (Carneiro, 2016).

As variáveis são assumidas como linguísticas, uma vez que os valores assumidos por tais variáveis são expressões verbais, representados por conjuntos *fuzzy*. Esses conjuntos são agrupamentos imprecisos, onde a transição de pertinência ou não-pertinência a um conjunto é gradual, em um universo de valores de 0 a 1 Assim cada observação pode ser membro parcial ou total de um conjunto, indicado por um valor de pertinência. Os valores de pertinência indicam a possibilidade de uma observação pertencer ou não a um conjunto *fuzzy*. As variáveis linguísticas são visualizadas graficamente com os respectivos valores *fuzzy* por funções de pertinência (Figura 1) (Carneiro, 2015).

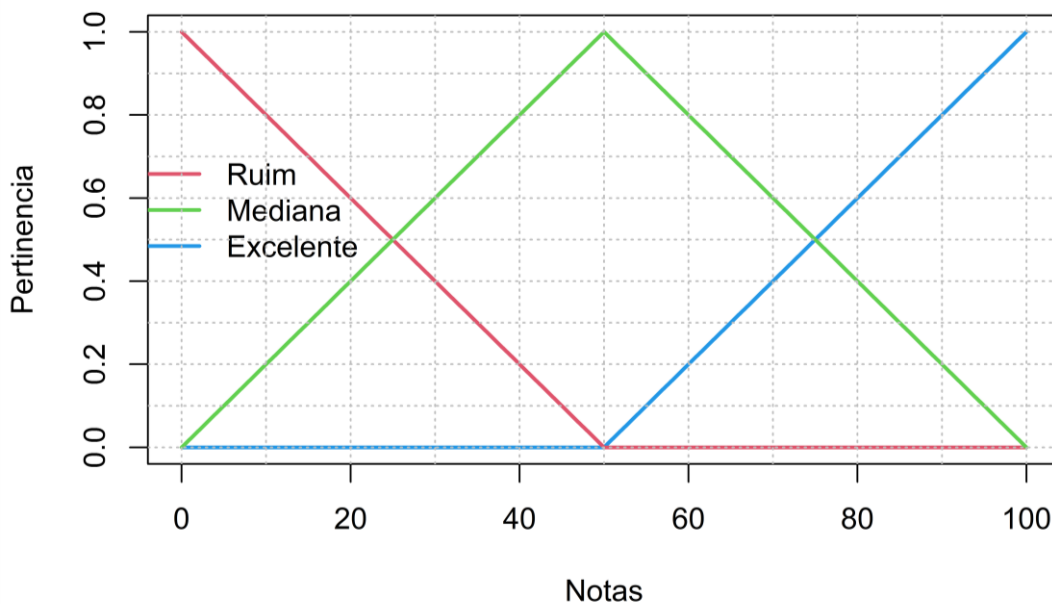


Figura 1. Representação de uma variável linguística (notas), utilizando funções de pertinência triangulares (“trimf”) para representar os conjuntos “Ruim”, “Mediana” e “Excelente”.

Fonte: Carneiro (2015)

Pode-se visualizar na Figura 1 uma forma de representar a variável notas por meio de funções de pertinência, expressando as variáveis linguísticas “Ruim”, “Mediana” e “Excelente”. Pode-se notar que uma nota de 80 possui uma pertinência de 0,6 para excelente e 0,4 para mediana, ou seja, 80 pontos está mais para excelente que mediana.

As funções de pertinências são representações de um conjunto *fuzzy* com base em relações existentes entre os valores de entrada e seus respectivos graus de pertinência. Tais funções descrevem uma curva, cujos pontos variam entre zero e um representando o valor de pertinência em função dos respectivos valores da variável de entrada (Dhar, 2012).

Existem diferentes funções de pertinências que podem ser utilizadas para representar conjuntos de uma determinada variável linguística. Ou seja, um mesmo conjunto pode ser representado por diferentes funções, assim a experiência do desenvolvedor de um controlador é de grande importância na escolha de funções que melhor representem uma variável linguística (Carneiro, 2015). Dentre as principais funções estão as em forma de Z e S (“*zmf*” e “*smf*”), forma de π (“*pimf*”) triangulares (“*trimf*”) e trapezoidais (“*trapmf*”) (Figura 2a, 2b, 2c, 2d).

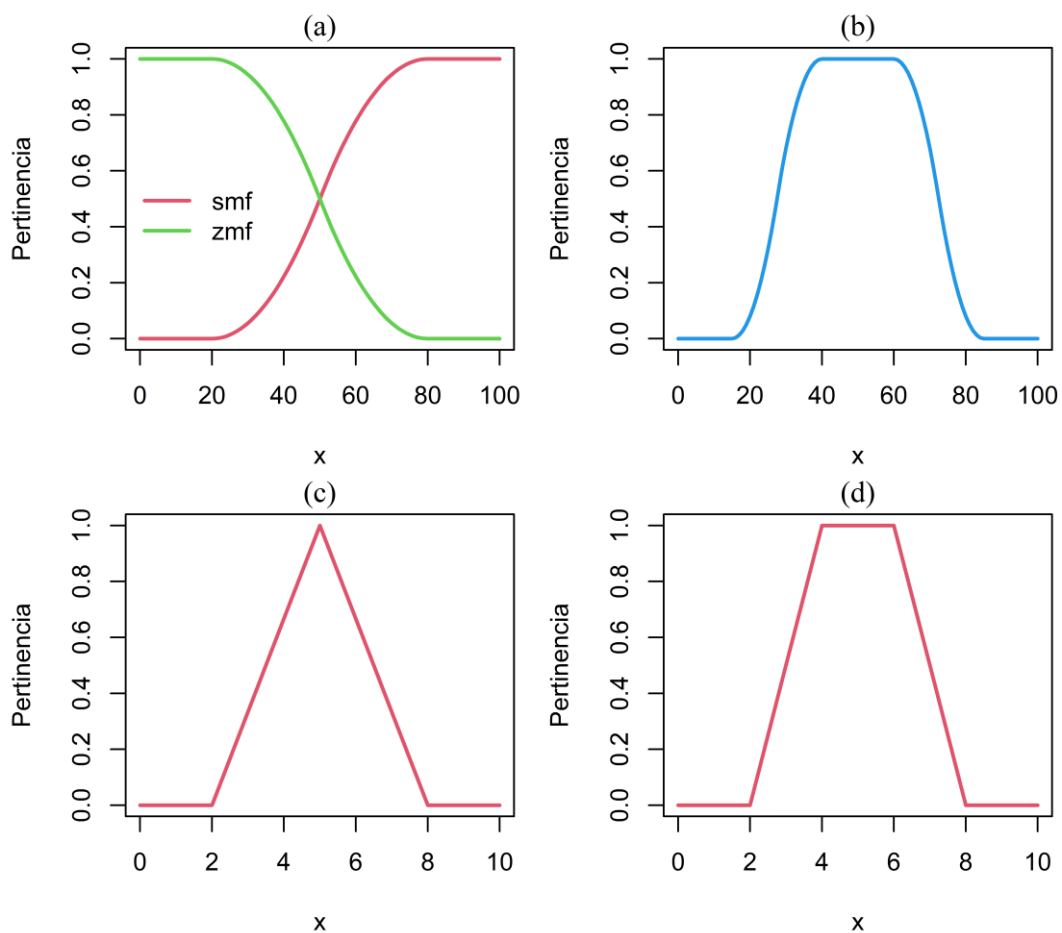


Figura 2. Gráfico das funções em forma de Z (“*smf*”) e S (“*zmf*”) (a), forma de π (“*pimf*”) (b), triangular (“*trimf*”) (c) e trapezoidal (“*trapmf*”) (d).

A função de pertinência triangular é dada pela seguinte função:

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}$$

Em que a e c são os pontos em que assume pertinência nula e b assume pertinência igual a 1.

A função de pertinência em forma trapezoidal é dada pela seguinte função:

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases}$$

Em que a e d são os pontos em que assume pertinência nula e b e c assume pertinência igual a 1.

A função de pertinência em forma de Z é dada pela seguinte equação:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 0, & x \geq b \end{cases}$$

Em que a é o ponto em que assume pertinência igual a 1 e b onde assume pertinência nula.

A função de pertinência em forma de S é dada pela seguinte função:

$$f(x; a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & x \geq b \end{cases}$$

Em que b é o ponto em que assume pertinência igual a 1 e a onde assume pertinência nula.

A função de pertinência em forma de π é dada pela seguinte função:

$$f(x; a, b, c, d) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - 2 \left(\frac{x-c}{d-c} \right)^2, & c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2 \left(\frac{x-d}{d-c} \right)^2, & \frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ 0, & x \geq d \end{array} \right.$$

Em que, a e d são os valores em que assumem valores de pertinência nulos e entre b e c as pertinências assumem valores iguais a 1

2.5.2 Controladores

Os controladores capturam estratégias de tomadas de decisão de operadores humanos, utilizados na solução de problemas, a fim de automatizar funções que normalmente requerem controle manual. O conhecimento é transferido ao controlador *fuzzy* por meio de regras nas quais se baseiam a experiência prévia do agente que realiza a tomada de decisão. Isto posto, é de fundamental importância o conhecimento de todos os fatores que influenciam uma decisão para o desenvolvimento de sistemas autônomos (Carneiro, 2015).

O projeto de desenvolvimento de um controlador *fuzzy* é dividido em três etapas, sendo a: fuzzyficação, inferência e a defuzzyficação. Essas três etapas são muito utilizadas em sistemas de controles utilizados para resolver problemas em diversas áreas de estudos. A fuzzyficação é a primeira etapa, é por meio dela que se transformam as variáveis do problema em valores *fuzzy*. Os valores numéricos da variável de entrada são convertidos em valores dentro de intervalo de zero a um por uma função de pertinência, que permite obter o grau de pertinência de cada observação (Da Silva *et al.*, 2019).

A inferência é a segunda e a mais importante das etapas do raciocínio *fuzzy*, pois é por meio dela que é feita a tomada de decisão, onde se constrói o conjunto de regras, que se baseiam em premissas ou condições (*se <condições> então <conclusão>*), obtendo os valores dos termos das variáveis de saída. Nessa etapa também é possível reunir as saídas das várias regras que compõem um controlador, de modo que a saída represente um valor agregado a respeito de uma observação, esse processo é de grande

validade no caso de análises qualitativas dos dados. Para que um controlador tenha eficácia na tomada de decisão é necessário que este contenha um número de regras suficiente para contemplar todas as situações possíveis de ocorrência nas entradas, podendo ser necessário um grande número de regras (Carneiro, 2015; Da Silva *et al.*, 2019).

A defuzzyficação é a terceira e última etapa do tratamento *fuzzy*, nessa etapa ocorre a transformação das variáveis que se encontram na forma fuzzyficada para forma determinística, assim determinando o valor real da saída. Pode se dizer que a defuzzyficação transforma o resultado *fuzzy* em dado quantitativo (Da Silva *et al.*, 2019).

2.5.3 Aplicações

O uso da lógica *fuzzy* no melhoramento de plantas, especialmente em estudos de adaptabilidade e estabilidade, vem sendo utilizado devido a sua grande vantagem na tomada de decisão automatizada, e grau de pertinência ou não pertinência aos conjuntos definidos pelo pesquisador. Carneiro *et al.* (2019) utilizaram um controlador *fuzzy* para automatizar a tomada de decisão quanto a classificação de genótipos de feijão de acordo com os critérios dos métodos de Cruz *et al.* (1989) e Annicchiarico (1992). Os autores demonstraram que o sistema *fuzzy* foi eficiente em classificar os genótipos, sendo recomendado o uso em estudos de adaptabilidade e estabilidade para recomendação de cultivares.

Carneiro *et al.* (2018), a partir dos parâmetros fornecidos pelo método de Eberhart & Russel (1966), desenvolveram controladores *fuzzy* baseados em dois sistemas de inferências. Ambos os controladores foram igualmente capazes de identificar o comportamento das linhagens de feijão, sendo eficientes para serem utilizados como ferramentas em estudos de adaptabilidade e estabilidade.

Carneiro *et al.* (2020) com linhagens de feijão e Silva Júnior *et al.* (2021) com linhagens de arroz, utilizaram controlador *fuzzy* para identificação do comportamento de linhagens segundo o método de Eberhart & Russel (1966) e o controlador híbrido, desenvolvido a partir da associação dos métodos de Eberhart & Russel (1966) e Lin & Binns (1988) modificado por Carneiro (1998). Em ambos os trabalhos, os controladores foram eficientes em identificar o comportamento das linhagens, sendo o controlador híbrido de maior discriminação. Assim pode observar-se que a lógica *fuzzy* é eficiente em classificação de genótipos quanto a adaptabilidade e

estabilidade de acordo com o critério adotado pelo método utilizado, sendo uma ferramenta de grande auxílio na escolha de linhagens em programas de melhoramento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 GENÓTIPOS AVALIADOS E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE CAMPO

Os dados foram obtidos com base em ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), realizados pelo Programa de Melhoramento de Arroz de Terras Altas da Universidade Federal de Goiás e parceiros. Foram avaliadas as cultivares BRS GO Serra Dourada e BRS Sertaneja como testemunhas e 18 linhagens, sendo oito oriundas do Programa da Universidade Federal de Goiás (CSD 09001, CSD 09005, CSD 09006, CSD 09009, CSD 10002, CSD 10004, CSD 10005 e CSD 08004), e dez do Programa de Melhoramento da Universidade Federal de Lavras (CMG ERF 221-7, MULTILINHA, CMG ERF 221-29, CMG 2119, CMG 2085, CMG ERF 221-4, CMG F6 LAM 20-2, CMG ERF 85-14, CMG ERF 221-16 e CMG ERF 85-6), totalizando 20 tratamentos.

Os ensaios foram conduzidos em treze ambientes para os caracteres altura de plantas e produtividade, e oito ambientes para número de dias para o florescimento, nos municípios de Anápolis, Goiânia, Porangatu, Rio Verde, Santo Antônio e Uruaçu, todos localizados no estado de Goiás (Figura 3), durante quatro safras, de 2017-2018 a 2020-2021. A combinação de cada local e ano foi considerada um ambiente (Tabela 1). O delineamento foi o de blocos completos casualizados com três repetições, e parcelas de quatro linhas com espaçamento de 0,45 m entre linhas e 4 m de comprimento. A área útil considerada foi 3 metros das linhas centrais. O manejo da cultura seguiu recomendações fitotécnicas da cultura.

Tabela 1. Organização ambientes avaliados.

Local	Latitude	Longitude	Altitude	Ano agrícola			
				17/18	18/19	19/20	20/21
Anápolis	-16,32	-48,95	1017	X	-	-	-
Goiânia	-16,6799	-49,255	749	X	-	-	X
Porangatu	-13,4312	-49,1428	390	X	-	-	-
Rio Verde	-17,7972	-50,9	748	X	X	X	X
Santo Antônio	-16,4855	-49,3089	821	X	X	X	X
Uruaçu	-14,5163	-49,144	520	-	X	-	-

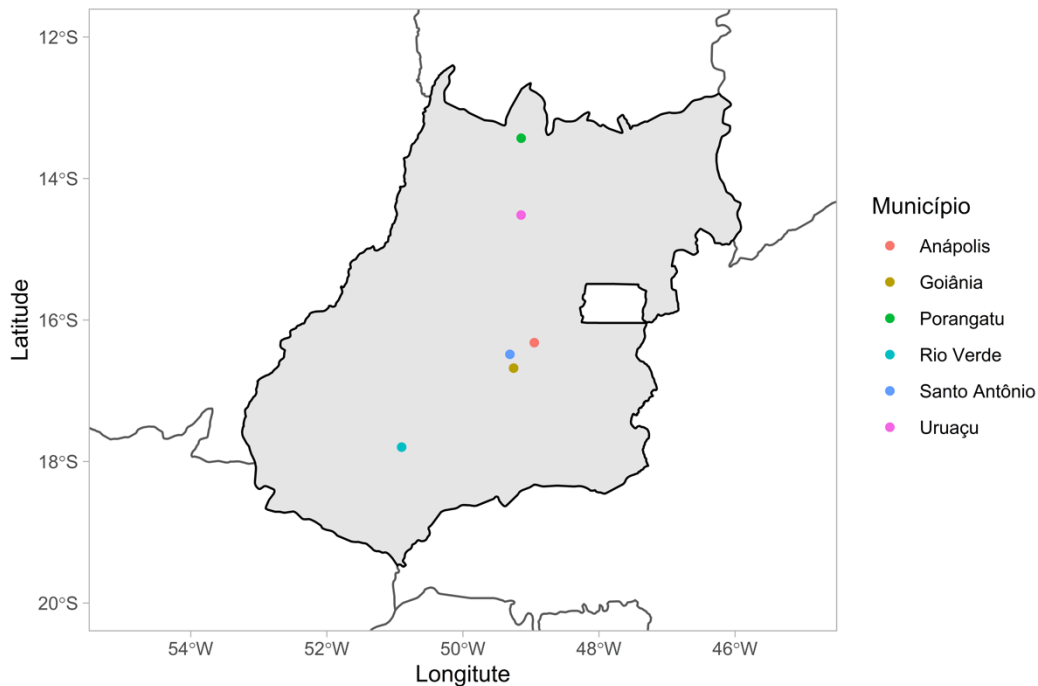


Figura 3. Municípios instalados os experimentos dentro do Estado de Goiás.

3.2 CARACTERES AVALIADOS

- a. Altura de Plantas (AP): calculando a média de cinco plantas na parcela, medindo-se a distância entre a base da planta até a extremidade da panícula, no estágio de maturação completa;
- b. Número de dias para o florescimento (NDF), obtido pelo número de dias decorridos da semeadura à floração média (50% das panículas da parcela floridas);
- c. Produtividade de Grãos (PG) obtida pela pesagem dos grãos de cada parcela (área útil), após limpeza e secagem uniforme ao sol até atingirem 13% de umidade e expressa em kg ha^{-1} .

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente foram realizadas análises individuais dentro de cada ambiente. A partir dos resultados da análise de variância foi realizada a verificação da homogeneidade dos quadrados médios residuais. Para a realização da análise conjunta

(combinação de ambientes) foi empregado o seguinte modelo estatístico de acordo com o delineamento experimental:

$$Y_{ijk} = \mu + B/E_{jk} + G_i + E_k + GE_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

em que,

Y_{ijk} : é a observação referente ao genótipo i do j bloco no ambiente k ;

μ : é a média geral dos experimentos;

E_k : é o efeito aleatório do k ambiente;

B/E_{jk} : é o efeito fixo do bloco j dentro do ambiente k ;

G_i : é o efeito fixo do i genótipo;

GE_{jk} : é o efeito aleatório da interação entre genótipo i e ambiente k ;

ε_{ijk} : é o erro aleatório associado à observação Y_{ijk} , assumindo $\varepsilon_{ijk} \text{ NID } \cap (0, \sigma^2)$.

Para os caracteres que não atenderam a homogeneidade de variâncias, foi realizado ajuste de grau de liberdade segundo o modelo de Cochran (1954). O número de graus de liberdade do numerador é dado pela seguinte equação;

$$n_{GxA} = \frac{(G - 1)(A - 1)^2 V_1^2}{(A - 2)V_2 + V_1^2}$$

em que,

$$V_1 = \frac{\sum_i S_i^2}{A} \quad ; \quad V_2 = \frac{\sum_i S_i^4}{A}$$

G : é o número de genótipos;

A : é o número ambientes.

Para o denominador o número de graus de liberdade foi expresso por;

$$n_r = \frac{(\sum_i S_i^2)^2}{\sum_i \frac{S_i^4}{n_i}}$$

em que,

S_i^2 : é o quadrado médio do resíduo;

n_i : é o número de graus de liberdade para o ambiente i .

A precisão experimental de cada ensaio foi avaliada por meio da acurácia seletiva (AS), seguindo a seguinte equação (Resende & Duarte, 2007):

$$AS = \left(1 - \frac{1}{F}\right)^{1/2}$$

em que,

F : é o valor do teste F obtido nos experimentos

A AS pode ser classificada como muito alta ($AS \geq 0,90$), alta ($0,70 \leq AS < 0,90$), moderada ($0,50 \leq AS < 0,70$) e baixa ($AS < 0,50$).

As médias foram submetidas ao método de agrupamento de Scott-Knott (1974) ao nível de 5% de significância. As análises individuais e conjuntas foram executadas utilizando-se o programa computacional GENES (Cruz, 2013).

3.4 ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE

As avaliações de adaptabilidade e estabilidade foram realizadas por meio dos métodos de Eberhart & Russell (1966) e Lin & Binns (1988) modificado por Carneiro (1998).

3.4.1 Eberhart e Russell (1966)

Os dados das variáveis analisadas foram submetidos a análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Eberhart e Russel (1966) que se baseia no seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

em que:

Y_{ij} : é a média estimada do genótipo i no ambiente j ;

β_{0i} : é a média do genótipo i em todos os ambientes;

β_{1i} : é o coeficiente de regressão linear do genótipo i , que mede a resposta o i -ésimo genótipo à variação do ambiente;

I_j : é o índice ambiental codificado;

δ_{ij} : é o desvio da regressão do genótipo;

ε_{ij} : é o erro experimental médio.

3.4.2 Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

O modelo proposto por Carneiro (1998) baseia-se na decomposição dos valores de P_i do modelo de Lin & Binns (1988) em valores de P_{if} e P_{id} , que são respectivamente parâmetros referentes a estabilidade das linhagens em ambientes favoráveis e desfavoráveis. Os valores de P_{if} e P_{id} foram obtidos conforme as equações a seguir:

$$P_{if} = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2}{2f}, \quad \text{e} \quad P_{id} = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2}{2d},$$

em que,

Y_{ij} : é a performance do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente;

M_j : é a resposta máxima entre todos os genótipos no ambiente;

f : é o número de ambientes favoráveis ($Y_j > Y_i$);

d : é o número de ambientes desfavoráveis ($Y_j < Y_i$).

3.5 CONTROLADORES FUZZY

A análise dos controladores foi realizada utilizando-se o programa computacional R (R Core Team, 2022). As rotinas de análises são apresentadas por Carneiro (2016). Para os caracteres altura de plantas e número de dias para o florescimento, a entrada nos controladores foi realizada utilizando dados provenientes da subtração de um valor maior que o observado na parcela de maior valor. Assim, genótipos com menores médias apresentam maiores médias de entrada nos controladores *fuzzy*, a fim de se classificar como genótipos mais adaptados aqueles com menor média de altura e número de dias para o florescimento.

3.5.1 Controlador *fuzzy* simples

Os controladores *fuzzy* foram desenvolvidos por Carneiro *et al.* (2020). Para o método de Eberhart & Russell (1968), as variáveis linguísticas de entrada foram os parâmetros média geral (β_{0i}), coeficiente de regressão (β_{1i}) e coeficiente de determinação (R^2). Cada variável foi analisada por conjuntos *fuzzy* por meio de funções de pertinências, que permitem a correta classificação quanto a variável em questão (Figura 4a, 4b, 4c).

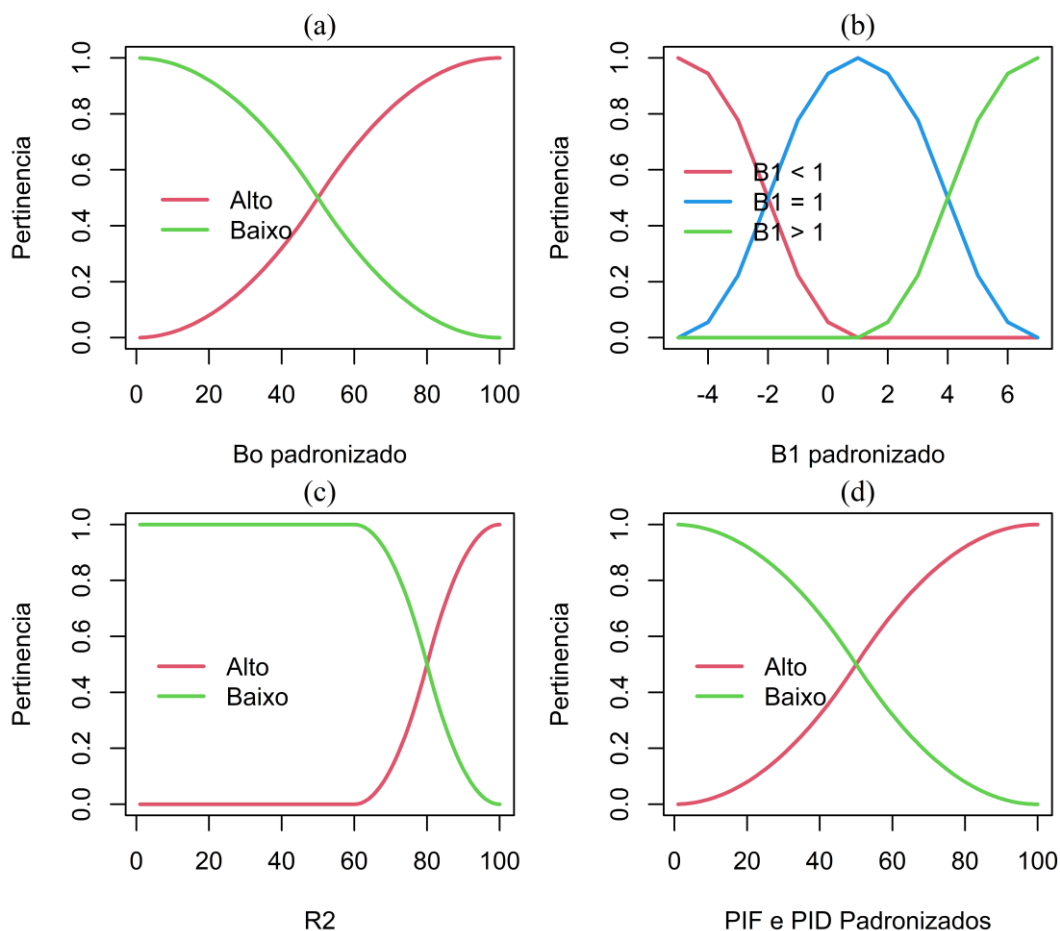


Figura 4. Curvas de pertinências dos controladores para as variáveis de entrada B_0 (a), B_1 (b), R^2 (c) e PIF e PID (d).

Os valores de β_{0i} foram padronizados em uma escala de 0 a 100, sendo baseada na distribuição normal dos dados, nos valores de média (μ) e nos valores de desvio padrão (σ). Receberam 0 valores associados a $\mu - 3\sigma$, e valores associados a $\mu + 3\sigma$ receberam 100. Estes valores foram classificados como altos e baixos por meio de funções de pertinência em forma de S (“smf”) e Z (“zmf”) (Figura 4a). Os valores de β_{1i} originais de cada genótipo, ao serem submetidos ao controlador, foram padronizados. Esta padronização baseia-se no intervalo de confiança com 95% de probabilidade na distribuição t , considerando a hipótese nula de que β_{1i} é igual a 1. Ao limite inferior do intervalo de confiança, foi atribuído valor -2, e ao limite superior, foi atribuído o valor 4. Os valores de β_{1i} foram classificados como $\beta_{1i} > 1$, $\beta_{1i} = 1$ e $\beta_{1i} < 1$, por meio de funções de pertinência em forma de Z, π e S respectivamente (Figura 4b). Já os valores de R^2 não foram padronizados, sendo classificados como “Altos” e “Baixos”, por meio das funções de pertinência em forma de Z e S (Figura 4c).

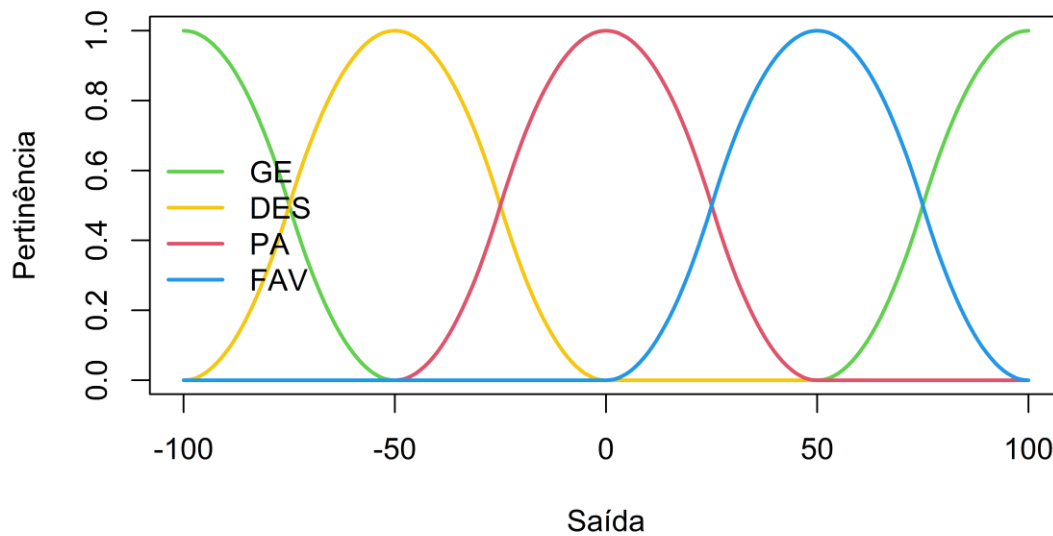


Figura 5. Funções de pertinência dos conjuntos “Geral Desfavorável” (GD), “Geral Favorável” (GF), “Desfavorável” (DES), “Pouco Adaptado” (PA) e “Favorável” (FAV), assumidas para a variável fuzzy de saída.

Para o controlador *fuzzy*, uma variável *fuzzy* linguística de “saída” foi gerada com uma escala variando de -100 a 100 (Figura 5). Os valores de “saída” são alocados em quatro conjuntos baseados no desempenho quanto à adaptabilidade e estabilidade dos genótipos avaliados: adaptabilidade e estabilidade ampla “Geral” (GE), adaptabilidade e ou estabilidade baixa “Pouco adaptado” (PA), adaptabilidade e estabilidade específica a ambientes desfavoráveis “Desfavorável” (DES) e adaptabilidade e estabilidade específica à ambientes favoráveis “Favorável” (FAV). As regras *fuzzy* linguísticas desenvolvidas por Carneiro *et al.* (2020) são baseadas na interpretação dos parâmetros do método de Eberhart e Russel (1966). As regras *fuzzy* implementadas no controlador estão disponíveis nas Tabela 2.

Tabela 2. Regras *fuzzy* implementadas no controlador *fuzzy* para o modelo de Eberhart e Russell.

Entradas			Saídas
β_{0i}	β_{1i}	R^2	Comportamento
Baixa	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixa	Menor que 1	Alto	Pouco adaptado
Baixa	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixa	Igual a 1	Alto	Pouco adaptado
Baixa	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixa	Maior que 1	Alto	Pouco adaptado
Alta	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alta	Menor que 1	Alto	Desfavorável
Alta	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Alta	Igual a 1	Alto	Geral
Alta	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alta	Maior que 1	Alto	Favorável

Fonte: Carneiro (2020)

3.5.2 Controlador híbrido

A fim de auxiliar na identificação do comportamento de linhagens, foi utilizado um controlador híbrido combinando as informações dos parâmetros fornecidos pelo método de Eberhart & Russell (1966) e Lin & Binns (1988) modificado por Carneiro (1998). Este controlador é baseado na associação dos parâmetros β_1 e o R^2 com os valores de P_{if} e P_{id} (Carneiro 2015).

O coeficiente de regressão (β_1) e o coeficiente de determinação (R^2) foram transformados em variáveis de entrada semelhantes às utilizadas no controlador do método de Eberhart e Russell (1966). Já o parâmetro quadrado médio para ambientes favoráveis (P_{if}) e quadrado médio para ambientes desfavoráveis (P_{id}) foram transformados em duas variáveis semelhantes à variável β_1 do controlador do método de Eberhart & Russell (1966), e classificados como “Alto” e “Baixo” por meio das funções em forma de Z e S (Figura 4d).

Para o controlador *fuzzy*, foi gerado uma variável *fuzzy* linguística de saída semelhante ao controlador baseado no modelo de Eberhart e Russell (1966). As regras *fuzzy* implementados no controlador estão disponíveis na Tabela 3.

Tabela 3. Regras linguísticas *fuzzy* do controlador híbrido, baseadas no método de Eberhart & Russell e no método modificado de Lin & Binns.

Entradas			Saidas	
P_{if}	P_{id}	β_{1i}	R^2	Comportamento
Baixo	Baixo	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Menor que 1	Alto	Desfavorável
Baixo	Alto	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Alto	Menor que 1	Alto	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Igual a 1	Alto	Geral
Baixo	Alto	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Alto	Igual a 1	Alto	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Baixo	Maior que 1	Alto	Favorável
Baixo	Alto	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Baixo	Alto	Maior que 1	Alto	Favorável
Alto	Baixo	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Menor que 1	Alto	Desfavorável
Alto	Alto	Menor que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Alto	Menor que 1	Alto	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Igual a 1	Alto	Desfavorável
Alto	Alto	Igual a 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Alto	Igual a 1	Alto	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Baixo	Maior que 1	Alto	Pouco adaptado
Alto	Alto	Maior que 1	Baixo	Pouco adaptado
Alto	Alto	Maior que 1	Alto	Pouco adaptado

Fonte: Carneiro (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ALTURA DE PLANTAS

As análises de variância individual do caráter altura de plantas apresentou efeito significativo para genótipo em nove de treze ambientes, de forma a se evidenciar a variabilidade genética entre os genótipos. Os coeficientes de variação experimental foram todos menores que 11%, valores considerados de baixa magnitude, indicando boa precisão na condução e obtenção das estimativas de interesse (Tabela 4). Valores estes condizentes com o encontrado por Costa (2018) (0,94% a 18,57%).

Tabela 4. Resumo de análise de variância individual para a altura de plantas (cm) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em treze ambientes no estado de Goiás.

Amb ¹	Local	Ano	QM _G ²	QM _E ³	F ⁴	Média	CV ⁵	AS ⁶
1	Goiânia	2017/18	25,20	72,90	0,35	95,38 c	8,95	-
2	Santo Antônio	2017/18	159,98**	50,38	3,16	104,85 e	6,77	0,83
3	Rio Verde	2017/18	89,02**	16,99	5,24	99,32 d	4,15	0,90
4	Anápolis	2017/18	156,87**	35,63	4,4	80,58 a	7,41	0,88
5	Porangatu	2017/18	88,33	76,54	1,15	80,53 a	10,86	0,36
6	Santo Antônio	2018/19	205,55**	76,69	2,68	106,55 f	8,22	0,79
7	Rio Verde	2018/19	76,17*	34,06	2,24	103,04 e	5,66	0,74
8	Uruaçu	2018/19	38,20	31,55	1,21	106,27 f	5,29	0,42
9	Rio Verde	2019/20	48,55	83,15	0,58	107,56 f	8,48	-
10	Santo Antônio	2019/20	173,21**	46,16	3,75	99,44 d	6,83	0,85
11	Goiânia	2020/21	256,56**	56,32	4,55	94,94 c	7,9	0,88
12	Santo Antônio	2020/21	142,71**	17,12	8,33	89,79 b	4,61	0,94
13	Rio Verde	2020/21	61,22*	29,50	2,07	108,90 f	4,99	0,72

¹Amb (Ambientes); ²QM_G (quadrado médio de genótipos); ³QM_E (quadrado médio experimental); ⁴F (Estatística F calculada); ⁵CV (coeficiente de variação); ⁶AS (Acurácia Seletiva).

* e ** valor significativo a nível de 5% e 1% consecutivamente.

Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente a nível de 5% pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott

O uso apenas do coeficiente de variação experimental em experimentos de competição de cultivares mostra-se inadequado por não levar em consideração o nível de variação genotípica expressa no caráter. Assim, a acurácia seletiva (AS) é um critério alternativo para avaliar a qualidade experimental, pois é dependente da proporção entre

os coeficientes de variação experimental (CV_E) e coeficiente de variação genotípica (CV_G), bem como do número de repetições (Resende & Duarte, 2007). Para os ambientes de Goiânia ano 2017/18 e Rio Verde 2019/2020, não foi possível estimar AS , devido ao valor da estatística F ser baixa. Por outro lado, os ambientes de Porangatu 2017/18 e Uruaçu 2018/19 apresentam valores de AS baixo (Resende & Duarte, 2007), ou seja, não forneceram dados indicados para avaliar o desempenho entre as cultivares, pois a razão entre CV_E e CV_G foi muito baixa. Baixas estimativas de AS não correspondem necessariamente à baixa qualidade de condução experimental. Esse resultado pode ser devido à influência de fatores ambientais na variação fenotípica ou baixa variabilidade genética da população (De Moura *et al.*, 2021).

As médias dos experimentos apresentaram diferenças significativas, formando seis grupos de médias pelo método de agrupamento de Scott-Knott. A diferença entre os experimentos é reflexo da variação ambiental entre os locais dos experimentos, além da variação entre anos, já que foi possível observar diferença significativa na média para ambientes instalados no mesmo local (Tabela 4).

As médias dos genótipos apresentaram diferenças significativas, sendo classificadas em quatro grupos de médias pelo método de agrupamentos de Scott-Knott. Juntamente com a cultivar BRS Serra Dourada, as linhagens CMG 2119, CMG ERF 221-4 e CMG ERF 221-29 apresentaram as menores médias para a característica altura de plantas, formando um único agrupamento de médias (Tabela 6). A identificação de linhagens que apresentam média estatisticamente igual a cultivar BRS Serra Dourada indica o potencial dos genótipos avaliados como linhagens promissoras para cultivo na região. Linhagens com menor estatura são desejáveis, haja visto que, esta característica está correlacionada com o acamamento, o que pode resultar em perdas de produtividade, dificultar ou até inviabilizar a operação de colheita mecanizada (Arf *et al.*, 2012; Gitti *et al.*, 2011; Furtini *et al.*, 2020). Outro aspecto positivo da diminuição da altura de plantas, é que plantas com menor porte, conservam energia durante o crescimento vegetativo, e desviam mais carboidratos para a produção de grãos (Da Costa *et al.*, 2021).

A análise de variância conjunta para altura de plantas mostrou significância ($p < 0,01$) para genótipos, ambientes, e interação $G \times A$ (Tabela 5). Esses resultados demonstram a existência de variabilidade entre os genótipos, ambientes e que os genótipos apresentam respostas não coincidentes nos ambientes de cultivo. A significância para a interação $G \times A$ era esperada, visto que os genótipos são oriundos

de grupos genéticos distintos, e ainda foram avaliados em locais com diferenças de latitude, longitude e altitude e ainda em anos variando a pluviosidade nesses locais. Este fato representa grande importância na condução de programas de melhoramento, pois, os ambientes afetam a expressão dos genótipos avaliados de forma desigual.

Mesmo havendo efeitos significativos de genótipos, estes foram os de menor importância para a soma de quadrados, contribuindo com apenas 7,98% da variabilidade observada. Os efeitos de ambientes foram os de maior efeito, com 54,3%, seguido dos efeitos da interação G x A, com 37,72%, evidenciando a importância dos efeitos ambientais e a sua interação com os genótipos na avaliação de linhagens e cultivares. O coeficiente de variação geral, levando-se em conta todos os ambientes, foi de 7,07%, valor considerado baixo. A AS foi de 0,92, indicando grande variação genotípica e consequentemente boa qualidade dos dados para comparação de linhagens.

Tabela 5. Resumo de análise de variância conjunta para característica altura de plantas (cm) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em treze ambientes do estado de Goiás.

FV	GL	SQ	QM	F
Genótipos (G)	19	9867,99	519,37**	6,22
Ambientes (A)	12	67144,16	5595,35**	38,49
G x A	228	19040,29	83,51**	1,73
Bloco/Ambiente	26	3779,54	145,38	
Resíduo	494	23826,56	48,23	
Total	779	123658,56		
Média	98,24			
CV%	7,07			
AS	0,92			

Valores seguidos de *, ** são respectivamente significativos a 5% e 1% de probabilidade.

O controlador *fuzzy* simples, classificou seis genótipos como pertencentes ao conjunto “Geral” (GE). As linhagens CSD 10005, CMG ERF 221-29, CMG ERF 221-16 e a cultivar BRS Sertaneja apresentaram os maiores valores de pertinência no conjunto GE com 65%, 63%, 62% e 64% respectivamente (Tabela 6). Esta classificação é devido ao controlador classificar somente como GE as linhagens que apresentem média superior à média geral, β_1 igual a 1 e R^2 acima de 80%, ou seja, alta média (adaptabilidade) e alta previsibilidade (estabilidade).

Apenas a linhagem CSD 10004 foi classificada como pertencente ao conjunto “Favorável” (FAV) com 56% de pertinência. Esta classificação é obtida devido ao genótipo apresentar média alta, altos valores de β_1 , e R^2 acima de 80%, isto significa, alta média, responsivo as variações ambientais, e alta previsibilidade (Tabela

6). Este comportamento é característico de genótipos com adaptabilidade e estabilidade específica à ambientes favoráveis.

Tabela 6. Variáveis de entrada e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES) de 20 linhagens de arroz de terras altas submetidas ao controlador fuzzy baseado no método de Eberhart e Russel (1966), para a característica altura de plantas.

Linhagens	Entradas			Comportamento em Pertinências (%)			
	Média (β_0)	β_{1i}	R_i^2	GE	PA	FAV	DES
BRS GO S. Dourada	92,93 a	0,9682	0,7806	41	59	0	1
BRS Sertaneja	96,52 b	0,9216	0,8694	64	36	0	6
CSD 09001	101,1 c	1,338*	0,7409	16	73	25	0
CSD 09005	101,53 c	1,189	0,8808	25	68	25	0
CSD 09006	101,22 c	0,9245	0,8078	26	54	0	5
CSD 09009	98,04 b	0,857	0,6897	10	52	0	10
CSD 10002	108,89 d	0,7761	0,4602	0	55	0	0
CSD 10004	97,59 b	1,2653*	0,9061	38	44	56	0
CSD 10005	96,48 b	0,8551	0,8425	65	35	0	12
CSD 08004	96,17 b	1,1064	0,8135	57	43	10	0
CMG ERF 221-7	98,78 b	1,4417*	0,9561	1	55	45	0
MULTILINHA	97,55 b	0,8193	0,8903	56	44	0	29
CMG ERF 221-29	95,14 a	1,2027	0,9072	63	26	37	0
CMG 2119	93,37 a	0,9447	0,7847	43	57	0	3
CMG 2085	97,19 b	0,7702	0,7766	39	52	0	39
CMG ERF 221-4	94,64 a	0,8725	0,7655	34	66	0	15
CMG F6 LAM 20-2	102,62 d	0,8627	0,7564	18	69	0	17
CMG ERF 85-14	98,03 b	0,9915	0,8276	52	48	0	0
CMG ERF 221-16	96,89 b	0,8993	0,8899	62	38	0	9
CMG ERF 85-6	100,12 c	0,9641	0,6933	11	66	0	1

Coefficientes seguidos * e ** são, respectivamente: significativo ao nível de 5% e significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$.

Nenhuma linhagem foi classificada como pertencente ao conjunto “Desfavorável” (DES), entretanto vale destacar a linhagem CMG 2085 apresentou maior valor de pertinência com 39%, isto se deve ao fato da linhagem apresentar média baixa, baixos valores de β_1 e R^2 próximo a 80% (Tabela 6). Isto significa que mesmo a linhagem estando em ambientes desfavoráveis a característica (propícios à altura elevada), essa será pouco responsiva. Tal fato indica que esta linhagem é a de maior potencial entre os genótipos avaliados para cultivo em ambientes desfavoráveis. A maior parte das linhagens foram classificada como pertencentes ao conjunto “Pouco Adaptada” (PA), incluindo a cultivar BRS GO Serra Dourada.

Todas as linhagens classificadas pelo controlador como de adaptabilidade e estabilidade geral, apresentam altura entre 95,14 cm e 97,55 cm. Plantas muito baixas tendem a ser menos produtivas e menos competitivas com plantas daninhas, portanto, plantas entre 90 e 100 cm são preferíveis (Breseghello *et al.*, 2011). De acordo com Silva Júnior *et al.* (2021), estes genótipos podem ser indicados como genitores em programas de melhoramento com o objetivo de se desenvolver linhagens com adaptabilidade geral ou para ambientes favoráveis. Isto porque a adaptabilidade e estabilidade é uma característica herdável, podendo ser um critério para seleção de genitores em programas de melhoramento de plantas (Pereira *et al.*, 2015).

O controlador híbrido, classificou os genótipos de maneira diferente. A cultivar BRS Sertaneja (65%) apresentou o maior valor de pertinência no grupo pertencente a adaptabilidade geral, seguido das linhagens CMG ERF 221-29 (63%), CSD 08004 (57%) e CSD 10005 (56%). A classificação desses genótipos no conjunto GE se deve pelos seus baixos valores de P_{if} e P_{id} , aliados com $\beta_1 = 1$ e $R^2 > 80\%$ (Tabela 7). O controlador híbrido, por avaliar juntamente duas metodologias complementares, é mais informativo, possibilitando melhor classificação da resposta genotípica às variações ambientais (Silva Júnior *et al.*, 2021; Carneiro, 2015).

As linhagens CMG ERF 221-7 e CSD 10004 foram classificadas como linhagens de adaptabilidade a ambientes favoráveis (FAV) com valores de pertinência de 59% e 55% respectivamente. A classificação desses genótipos como pertencentes ao conjunto FAV se deve pelos seus baixos valores de P_{if} , aliados com β_1 maiores que 1 e $R^2 > 80\%$ (Tabela 7). A linhagem MULTILINHA foi a única classificada como pertencente ao conjunto DES. Isto se deve ao fato de ser a única a apresentar baixos valores de P_{id} , aliados com β_1 menor do que 1 e R^2 maior à 80% (Tabela 7). Multilinhas são formadas com a mistura de linhagens superiores e compatíveis, uniformes na aparência, ciclo produtivo, altura de plantas, hábito de crescimento, coloração, tipo e tamanho dos grãos (Dias Neto, 2013). Tais características favorecem com que multilinhas possam agregar simultaneamente linhagens desenvolvidas para diferentes tipos de estresse bióticos e abióticos (Botelho *et al.*, 2011).

Tabela 7. Variáveis de entrada e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES) de 20 linhagens de arroz de terras altas submetidas ao controlador *fuzzy* híbrido, para característica altura de plantas.

Linhagens	Entradas				Comportamento em Pertinências (%)			
	P_{if}	P_{id}	β_{1i}	R_i^2	GE	PA	FAV	DES
BRS GO S. Dourada	12,269	16,654	0,9683	0,7806	41	59	0	24
BRS Sertaneja	44,961	37,719	0,9216	0,8694	65	33	0	35
CSD 09001	56,126	139,207	1,3380	0,7410	12	60	25	12
CSD 09005	109,344	107,312	1,1890	0,8808	25	62	32	25
CSD 09006	138,863	81,960	0,9245	0,8078	27	54	0	39
CSD 09009	68,908	71,890	0,8570	0,6897	10	54	0	10
CSD 10002	347,725	210,107	0,7761	0,4603	0	55	0	0
CSD 10004	29,736	72,608	1,2653	0,9061	38	38	55	30
CSD 10005	65,255	32,970	0,8851	0,8425	56	31	0	44
CSD 08004	37,096	42,367	1,1064	0,8135	57	43	10	32
CMG ERF 221-7	59,633	84,774	1,4417	0,9561	1	41	59	1
MULTILINHA	82,649	34,651	0,8193	0,8903	49	31	0	51
CMG ERF 221-29	20,985	35,755	1,2027	0,9073	63	32	37	27
CMG 2119	29,691	12,789	0,9447	0,7847	43	57	0	30
CMG 2085	84,365	28,438	0,7702	0,7766	39	52	0	39
CMG ERF 221-4	50,713	13,767	0,8725	0,7655	34	62	0	34
CMG F6 LAM 20-2	163,736	91,440	0,8627	0,7564	19	66	0	31
CMG ERF 85-14	47,936	62,134	0,9915	0,8276	52	48	0	37
CMG ERF 221-16	68,709	34,991	0,8993	0,8900	55	31	0	45
CMG ERF 85-6	81,590	98,057	0,9641	0,6934	11	51	0	11

Coefficientes seguidos * e ** são, respectivamente: significativo ao nível de 5% e significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste *t* ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$.

4.2 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

As análises de variância individual dos experimentos identificaram que apenas três locais apresentaram quadrado médio para genótipo significativo. Os CVE variaram de 7,46% (Rio Verde 2017/18) a 46,63% (Goiânia 2020/21) (Tabela 8), sendo a característica que apresentou maior amplitude. Tais valores de CVE estão de acordo com o relato por outros autores, Costa (2018), relata valores de 8,72% a 54,78%, enquanto Silva Junior (2017), obteve valores de coeficiente de variação entre 7,61% a 48,57%. Devido a não significância na maior parte dos ensaios, apenas os ambientes Goiânia 2017/18, Santo Antônio 2017/18 e Rio Verde 2020/21 apresentaram valores de AS altas (Tabela 8), conforme classificação de Resende & Duarte (2007).

Tabela 8. Resumo de análise de variância individual para a característica produtividade (kg/ha) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em treze ambientes no estado de Goiás.

Amb ¹	Local	Ano	QM _G ²	QM _E ³	F ⁴	Média	CV ⁵	AS ⁶
1	Goiânia	2017/18	1727500**	670814	2,57	3610 c	22,69	0,78
2	Santo Antônio	2017/18	1169170**	343670	3,40	3537 c	16,58	0,84
3	Rio Verde	2017/18	88724	60898	1,46	3306 d	7,46	0,56
4	Anápolis	2017/18	192553	153584	1,25	3684 c	10,64	0,45
5	Porangatu	2017/18	293389	180626	1,62	4600 a	9,24	0,62
6	Santo Antônio	2018/19	1033953	587296	1,76	3889 c	19,70	0,66
7	Rio Verde	2018/19	825569	494091	1,67	3178 d	22,12	0,63
8	Uruaçu	2018/19	592857	751455	0,79	4244 b	20,43	-
9	Rio Verde	2019/20	1040389	687458	1,51	2465 e	33,63	0,58
10	Santo Antônio	2019/20	6936237	365065	1,03	3101 d	19,18	0,18
11	Goiânia	2020/21	913779	1256177	0,74	2391 e	46,63	-
12	Santo Antônio	2020/21	303231	201643	1,50	3004 d	14,95	0,58
13	Rio Verde	2020/21	1507053**	407645	3,70	4137 b	15,43	0,85

¹Amb (Ambientes); ²QM_G (quadrado médio de genótipos); ³QM_E (quadrado médio experimental); ⁴F (Estatística F calculada); ⁵CV (coeficiente de variação); ⁶AS (Acurácia Seletiva).

* e ** valor significativo a nível de 1% e 5% consecutivamente.

Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente a nível de 5% pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott.

As médias dos experimentos foram agrupadas em cinco grupos pelo método de agrupamento de médias de Scott-Knott (Tabela 8). Essas diferenças estatísticas das médias é reflexo das variações nas condições ambientais existentes entre os ambientes (latitude, longitude e altitude, como para condições variáveis, como precipitação, temperatura, radiação solar). Sabe-se que a produtividade de grãos é fortemente influenciada pela disponibilidade de nutrientes e fatores climáticos, especialmente disponibilidade hídrica e temperatura (Guimarães; Fageria; Barbosa Filho, 2002; Monteverde *et al.*, 2019). Como os genótipos foram avaliados em quatro anos, a média de cada ambiente foi fortemente influenciada pelos fatores climáticos.

A média geral de produtividade de grãos foi de 3473 kg ha⁻¹, superior à média do estadual e nacional nas safra agrícola de 2021/2022, que foi de 2400 kg ha⁻¹ e 2493 kg ha⁻¹ respectivamente (Conab, 2021). Já a média dos genótipos apresentaram diferenças significativas, formando dois grupos de médias (Tabela 10). Este resultado é indicativo do potencial genético produtivo destas linhagens na região, superando as cultivares BRS GO Serra Dourada e BRS Sertaneja. Entretanto, a recomendação de genótipos somente com base na média fenotípica não é recomenda, visto a imprevisibilidade devido a interação G x A, para tal deve-se efetuar a análise de adaptabilidade e estabilidade.

A análise de variância conjunta para produtividade de grãos dos vinte genótipos de arroz avaliados em treze ambientes mostrou significância (p -valor < 0,01) para ambientes, genótipos e interação G x A (Tabela 9). Tais resultados indicam existência de variabilidade entre os genótipos, entre os ambientes e que os genótipos apresentam respostas não coincidentes em função dos ambientes. A identificação de interação G x A em caracteres quantitativos é frequentemente relatada na cultura do arroz (Carneiro *et al.*, 2018; Da Silva *et al.*, 2008; Silva Júnior *et al.*, 2021). o valor de AS foi alto, de 0,75 conforme Resende & Duarte (2007) sugerem, proporcionando boa razão entre CVg e CVe.

Tabela 9. Resumo de análise de variância conjunta para característica produtividade de grãos (kg/ha) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em treze ambientes do estado de Goiás.

FV	GL	SQ	QM	F
Genótipos (G)	19	39645251,56	2086592,19**	2,26
Ambientes (A)	12	312333821,07	26027818,42**	17,84
G x A	228 (164)	151389357,44	923105,84**	1,37
Bloco/Ambiente	26	37936987,92	1459114,92	
Resíduo	494 (346)	233171543,87	673906,20	
Total	779	774476961,86		
Média	3473			
CV%	23,64			
AS	0,75			

Valores seguidos de *, ** são respectivamente significativos a 5% e 1% de probabilidade; valores seguidos de ^{ns} são não significativos; GL entre parênteses são ajustados pelo método de Cochran (1954).

O controlador *fuzzy* simples identificou as linhagens CMG ERF 221-16 e CSD 08004 como de adaptabilidade e estabilidade geral, com valores de pertinência de 62% e 58% respectivamente (Tabela 10). Assim, ambas as linhagens apresentam comportamento estável em ambientes favoráveis e desfavoráveis, e com alta previsibilidade. Isto porque estas cultivares atenderam aos parâmetros do método para indicar uma cultivar como de adaptabilidade geral, ou seja, média alta, β_1 igual a 1 e R^2 alto.

Nenhuma linhagem foi classificada como de adaptabilidade e estabilidade específica para ambientes favoráveis ou desfavoráveis (Tabela 10). Esta classificação acontece, pois, para ser classificada de tal modo, a linhagem deve apresentar média alta, β_1 maior que 1 (favoráveis) ou menor que 1 (desfavoráveis) e R^2 alto, critérios não atendidos por nenhuma linhagem. Vale destacar a linhagem CMG ERF 221-16,

apresentou o maior valor de pertinência para o conjunto FAV (38%). Silva Júnior *et al.* (2021) ressalta a importância dos parâmetros de pertinência, pois, caso não seja evidenciado genótipos recomendados para uma classe de ambientes de interesse, pode-se recorrer a genótipos mais relevantes para a classe ambiental desejada. Assim essa linhagem pode ser indicada para cultivo ou genitor a fim de aproveitar estímulos ambientais favoráveis ao melhor desempenho produtivo.

Tabela 10. Variáveis de entrada e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas submetidas ao controlador *fuzzy* baseado no método de Eberhart e Russel (1966), para a característica produtividade.

Linhagens	Entradas			Comportamento em Pertinências (%)			
	Média (β_0)	β_{1i}	R_i^2	GE	PA	FAV	DES
BRS GO S. Dourada	3113,3 b	1,0734	0,8124	12	56	2	0
BRS Sertaneja	3190,6 b	0,9563	0,8409	18	68	0	1
CSD 09001	3280,9 b	0,8472	0,5297	0	74	0	0
CSD 09005	3158,6 b	1,1155	0,6657	5	85	4	0
CSD 09006	3253,7 b	0,8460	0,5807	0	77	0	0
CSD 09009	3407,7 b	0,7674	0,6648	5	59	0	5
CSD 10002	3159,9 b	0,8246	0,5594	0	85	0	0
CSD 10004	3715,4 a	0,9942	0,7107	15	79	0	0
CSD 10005	3462,3 a	0,8373	0,6056	0	52	0	0
CSD 08004	3569,7 a	1,1069	0,8167	58	42	3	0
CMG ERF 221-7	3920,7 a	1,0626	0,7413	25	75	1	0
MULTILINHA	3692,3 a	0,9096	0,5999	0	77	0	0
CMG ERF 221-29	3585,5 a	1,0896	0,7121	16	65	2	0
CMG 2119	3314,8 b	1,1000	0,8313	30	64	3	0
CMG 2085	3460,1 a	1,0924	0,6780	8	52	3	0
CMG ERF 221-4	3640,4 a	1,0980	0,5839	0	71	0	0
CMG F6 LAM 20-2	3489,1 a	1,0113	0,5835	0	52	0	0
CMG ERF 85-14	3725,1 a	1,1721	0,7805	41	59	9	0
CMG ERF 221-16	3712,2 a	1,3553	0,8635	62	23	38	0
CMG ERF 85-6	3605,7 a	0,7400	0,4978	0	67	0	0

Coeficientes seguidos de ns, * e ** são, respectivamente: não significativo ao nível de 5%, significativo ao nível de 5% e significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$.

O controlador híbrido classificou as linhagens de maneira semelhante, identificando as mesmas linhagens como de adaptabilidade e estabilidade geral, entretanto a linhagem CMG ERF 221-16 foi dividida entre os conjuntos “Geral” (GE) e “Pouco Adaptada” (PA) (Tabela 11). Esta classificação se deve as linhagens apresentarem baixos valores de P_{if} e P_{id} , coeficiente de regressão igual a 1 e alto

coeficiente de determinação. Estes resultados são similares ao encontrado nos estudos de Carneiro *et al.* (2020); Silva Júnior *et al.* (2021) que também relataram classificação semelhante entre o controlador híbrido e o baseado no método de Eberhart & Russel (1966) para produtividade de grãos.

Similarmente ao resultado do controlador baseado no método de Eberhart e Russel (1966), nenhuma linhagem foi classificada como de adaptabilidade e estabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis, entretanto os valores no conjunto DES foram maiores, com a linhagens CMG ERF 85-14 e a cultivar BRS Sertaneja apresentando os maiores valores de pertinência (28%) (Tabela 11). Isto significa que entre as linhagens avaliadas, essas são as que apresentam melhor desempenho em ambientes com condições desfavoráveis.

Tabela 11. Variáveis de entrada e classificação do comportamento da característica produtividade de linhagens e cultivares de arroz de terras altas submetidas ao controlador híbrido *fuzzy* baseado no método de Eberhart & Russell e no método modificado de Lin & Binns.

Linhagens	Entradas				Comportamento em Pertinências (%)			
	P_{if}	P_{td}	β_{1i}	R_i^2	GE	PA	FAV	DES
BRS GO S. Dourada	999205,4	803459,7	1,0734	0,8124	7	56	2	7
BRS Sertaneja	961176,1	588508,0	0,9563	0,8409	27	68	0	28
CSD 09001	986887,7	567415,6	0,8472	0,5297	0	69	0	0
CSD 09005	1096309,5	847040,6	1,1155	0,6657	4	82	4	4
CSD 09006	1248683,5	423497,3	0,8460	0,5807	0	54	0	0
CSD 09009	928331,4	265585,6	0,7674	0,6648	5	71	0	5
CSD 10002	1296198,4	580493,6	0,8246	0,5594	0	71	0	0
CSD 10004	386726,0	196713,7	0,9942	0,7107	15	73	0	15
CSD 10005	640241,9	331642,4	0,8373	0,6056	0	53	0	0
CSD 08004	363338,9	444330,6	1,1069	0,8167	51	49	3	26
CMG ERF 221-7	109426,8	140620,2	1,0626	0,7413	25	75	1	12
MULTILINHA	275178,3	322784,1	0,9096	0,5999	0	70	0	0
CMG ERF 221-29	413777,9	415980,4	1,0896	0,7121	16	56	2	16
CMG 2119	615473,8	637910,9	1,1000	0,8313	22	55	3	22
CMG 2085	819962,1	386457,0	1,0924	0,6780	8	61	3	8
CMG ERF 221-4	365325,5	537930,8	1,0980	0,5839	0	65	0	0
CMG F6 LAM 20-2	752675,6	460429,1	1,0113	0,5835	0	52	0	0
CMG ERF 85-14	403345,3	311787,0	1,1721	0,7805	41	59	9	28
CMG ERF 221-16	137196,9	448895,9	1,3553	0,8635	50	50	38	13
CMG ERF 85-6	589141,8	271655,8	0,7400	0,4978	0	57	0	0

Coefficientes seguidos de * são significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$.

4.3 NÚMERO DE DIAS PARA FLORESCIMENTO

A análise de variância individual dos experimentos para o caráter número de dias para o florescimento identificaram que apenas dois ambientes não apresentaram significância no teste F. Tal resultado é indicativo de que os genótipos apresentaram variabilidade para o caráter em questão. Os CVe's obtidos em todos os experimentos foram de baixas magnitudes, indicando boa precisão experimental. Fato reforçado pelos valores de AS, que foram altos (AS>70%), ou muito altos (AS>90%) para seis dos oito ambientes avaliados (Tabela 12). Tais valores de AS são indicativos que a variância genotípica foi alta, sendo os dados adequados para a comparação entre os genótipos (Resende & Duarte, 2007).

Tabela 12. Resumo de análise de variância individual para a característica número de dias para o florescimento (dias) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em oito ambientes no estado de Goiás.

Amb ¹	Local	Ano	QM _G ²	QM _E ³	F ⁴	Média	CV ⁵	AS ⁶
1	Goiânia	2017/18	29,67	16,31	1,82	80,7 d	5,0	0,67
2	Santo Antônio	2017/18	11,45**	2,46	4,66	83,4 e	1,88	0,89
3	Anápolis	2017/18	29,58**	1,27	23,37	75,3 c	1,49	0,98
4	Porangatu	2017/18	15,23**	6,16	2,47	71,3 a	3,48	0,77
5	Uruaçu	2018/19	14,13*	6,42	2,20	70,7 a	3,58	0,74
6	Santo Antônio	2019/20	8,47**	1,21	7,00	84,2 e	2,42	0,93
7	Goiânia	2020/21	24,32	15,79	1,54	73,9 b	2,85	0,59
8	Santo Antônio	2020/21	1,354**	2,62	3,95	86,4 f	2,58	0,86

¹Amb (Ambientes); ²QM_G (quadrado médio de genótipos); ³QM_E (quadrado médio experimental); ⁴F (Estatística F calculada); ⁵CV (coeficiente de variação); ⁶AS (Acurácia Seletiva).

* e ** valor significativo a nível de 1% e 5% consecutivamente.

Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente a nível de 5% pelo teste de agrupamento de médias de Scott-Knott.

A análise de variância conjunta do número de dias para o florescimento, indicou significância a nível de 1% de probabilidade para genótipos, ambientes e interação genótipos por ambientes (Tabela 13). Estes resultados reafirmam a variabilidade entre os genótipos, identificada nas análises individuais. Houve grande variação ambiental, identificada na significância entre ambientes, influenciando na resposta dos genótipos, explícito pela significância da interação genótipos por ambientes. A AS foi alta, confirmando boa qualidade dos dados para comparação das linhagens.

Tabela 13. Resumo de análise de variância conjunta para característica número de dias para o florescimento (dias) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas em oito ambientes no estado de Goiás.

FV	GL	SQ	QM	F
Genótipo (G)	19	1114,54	58,66**	4,86
Ambiente (A)	7	15993,41	2284,77**	267,35
G x A	133	1606,21	12,08**	1,85
Bloco/Ambiente	16	136,73	8,55	
Resíduo	304	1984,60	6,53	
Total	479	20835,5		
Média	78,25			
CV%	3,26			
AS	0,89			

Valores seguidos de *, ** são respectivamente significativos a 5% e 1% de probabilidade.

Similarmente aos demais caracteres, os efeitos de genótipos, apesar de serem significativos, foram os de menor importância na soma de quadrados, contribuindo com apenas 5,35% da variabilidade observada. Seguido dos efeitos da interação de genótipos por ambientes com 7,7%. Os efeitos de ambientes foram os de maior importância, representando 76,76% da variabilidade. A forte influência do ambiente sobre o número de dias para o florescimento no arroz de terras altas também foi relatada por Terra *et al.* (2015), em que o ambiente foi responsável por 95,6% dos efeitos de variabilidade e apenas 3,5% pelos genótipos.

A média geral do caráter número de dias para o florescimento foi de 78,25 dias. Já as médias dos ambientes, apresentaram diferenças significativas, formando seis grupos de médias pelo método de agrupamento de Scott-Knott (Tabela 12). A grande diferença notável entre as médias dos ambientes é devido a variação nos fatores ambientais, e sua interação com os genótipos. A média das cultivares também apresentaram diferenças significativas, formando quatro grupos de médias (Tabela 14).

As linhagens CMG ERF 85-6, CMG ERF 85-14, CMG F6 LAM 20-2 e MULTILINHA, apresentaram as menores médias para o número de dias para o florescimento, formando um único grupo de médias (Tabela 14). Na região do cerrado, onde grande parte do arroz de terras altas é cultivado, a distribuição de chuvas é irregular, com a ocorrência de veranicos, que são períodos de escassez durante a estação chuvosa. A ocorrência desses períodos são imprevisíveis, comprometendo o potencial produtivo da planta (Guimarães *et al.*, 2016). As variações ano a ano no estresse abiótico podem levar a redução do investimento de produtores em insumos e resultar em maiores lacunas de produtividade (Saito *et al.*, 2018). Assim são preferíveis linhagens

precoces, visto o menor tempo de permanência no campo, diminuindo o risco de cultivo.

Guimarães *et al.*, (2016) analisando genótipos de arroz de terras altas sob condições de déficit hídrico, identificaram que genótipos com florescimento precoce tendem a ser mais produtivos sob tais circunstâncias. Os autores afirmam que a seleção de genótipos precoces devem ser priorizados quando objetiva-se cultivares que sejam resistentes a déficit hídrico.

Tabela 14. Variáveis de entrada e classificação quanto ao comportamento Geral (GE), Pouco adaptado (PA), Favorável (FAV) e Desfavorável (DES) de linhagens e cultivares de arroz de terras altas submetidas ao controlador fuzzy baseado no método de Eberhart e Russel (1966), para a característica número de dias para o florescimento.

Linhagens	Entradas			Comportamento em Pertinências (%)			
	Média (β_0)	β_{1i}	R_i^2	GE	PA	FAV	DES
BRS GO S. Dourada	77,9 b	0,8516	0,7163	17	60	0	17
BRS Sertaneja	79,6 d	1,0736	0,9666	25	75	9	0
CSD 09001	79,2 c	1,0039	0,8460	32	68	0	0
CSD 09005	80,6 d	0,9052	0,7939	13	53	0	13
CSD 09006	78,0 b	1,0054	0,9438	56	44	0	0
CSD 09009	78,3 c	0,9810	0,8858	48	52	0	1
CSD 10002	79,5 d	0,9174	0,9387	27	73	0	11
CSD 10004	77,9 b	0,9802	0,9199	57	43	0	1
CSD 10005	77,4 b	1,0442	0,9521	66	34	3	0
CSD 08004	78,6 c	1,1286	0,9675	42	58	26	0
CMG ERF 221-7	80,1 d	1,0948	0,9279	18	82	14	0
MULTILINHA	76,5 a	0,8298	0,9422	54	19	0	46
CMG ERF 221-29	80,1 d	0,9278	0,8801	18	82	0	8
CMG 2119	78,7 c	1,1944*	0,9792	41	59	41	0
CMG 2085	77,3 b	0,9877	0,9301	67	33	0	0
CMG ERF 221-4	78,71 c	1,0748	0,9541	41	59	9	0
CMG F6 LAM 20-2	76,3 a	1,0188	0,9253	83	17	1	0
CMG ERF 85-14	75,2 a	1,0773	0,9479	91	7	9	0
CMG ERF 221-16	79,8 d	0,8686	0,9046	22	73	0	22
CMG ERF 85-6	75,2 a	1,0124	0,9190	92	8	0	0

Coefficientes seguidos de ns, * e ** são, respectivamente: não significativo ao nível de 5%, significativo ao nível de 5% e significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$.

O controlador *fuzzy* simples classificou as linhagens CMG ERF 85-14, CMG ERF 85-6 e CMG F6 LAM 20-2 com os maiores valores de pertinência (92%, 91%, 83%) no conjunto de linhagens com adaptabilidade geral. Estes valores são

explicados pelos baixos valores de média, coeficiente de regressão igual a 1 e alto valor de coeficiente de determinação (Tabela 14). Assim de acordo com interpretação do método de Eberhart & Russel (1966), estas linhagens apresentam comportamento estável e previsível em ambientes favoráveis e desfavoráveis. Ambas as linhagens estão presentes no grupo de médias de maior precocidade. Nenhuma linhagem foi classificada como de adaptabilidade e estabilidade específica à ambientes favoráveis ou desfavoráveis.

O controlador *fuzzy* híbrido e o controlador simples, classificou de forma semelhante as linhagens CMG ERF 85-6, CMG F6 LAM 20-2 e CMG ERF 85-14 com os maiores valores de pertinência (87%, 75% e 72%) para o conjunto de linhagens classificadas como de adaptabilidade e estabilidade geral (Tabela 15). Esta classificação semelhante, ocorreu devido aos valores de P_{if} e P_{id} das linhagens, serem baixos. Os valores de P_{if} e P_{id} estão associados ao desempenho das linhagens, assim linhagens com menores valores, significam que tiveram desempenho próximo a linhagem de melhor desempenho em determinado ambiente, em maior número possível de ambientes favoráveis e desfavoráveis consequentemente.

Ao contrário do controlador simples, o controlador híbrido classificou a linhagem CMG 2119 como de adaptabilidade e estabilidade específica a ambientes favoráveis com valor de pertinência de 59% a este conjunto. Esta classificação se deu devido a linhagem apresentar baixo valor de P_{if} e alto valor de P_{id} , aliado com β_1 maior que 1 e R^2 alto (Tabela 15).

O controlador híbrido também não classificou nenhuma linhagem, como de adaptabilidade e estabilidade a ambientes desfavoráveis, entretanto vale ressaltar as linhagens MULTILINHA e CMG ERF 221-4 que apresentaram os maiores valores de pertinência (46% e 43%) (Tabela 15). Estes valores ocorreram de duas maneiras, a MULTILINHA apresentou valor de P_{if} alto, P_{id} baixo, β_{1i} igual a 1 e R^2 alto, já a CMG ERF 221-4 por apresentar valor de P_{if} baixo, P_{id} baixo, β_{1i} menor que 1 (porém não significativo) e R^2 alto. Assim estas linhagens são a mais indicadas entre as avaliadas a serem utilizadas em ambientes desfavoráveis ao florescimento precoce.

Tabela 15. Variáveis de entrada e classificação do comportamento da característica dias para p número de dias para o florescimento de linhagens e cultivares de arroz de terras altas submetidas ao controlador híbrido *fuzzy* baseado no método de Eberhart & Russell e no método modificado de Lin & Binns.

Linhagens	Entradas				Comportamento em Pertinências (%)			
	P_{if}	P_{id}	β_{1i}	R_i^2	GE	PA	FAV	DES
BRS GO S. Dourada	18,7639	4,3750	0,8516	0,7163	17	65	0	17
BRS Sertaneja	16,8472	19,7118	1,0736	0,9666	24	61	9	24
CSD 09001	19,4167	13,2535	1,0039	0,8460	30	51	0	49
CSD 09005	30,1944	25,7813	0,9052	0,7939	5	53	0	9
CSD 09006	10,9028	7,2396	1,0054	0,9438	62	27	0	38
CSD 09009	14,0417	17,2951	0,9810	0,8858	33	50	0	33
CSD 10002	22,3194	15,2396	0,9174	0,9387	21	59	0	41
CSD 10004	11,7083	10,0035	0,9802	0,9199	59	37	0	41
CSD 10005	6,9583	13,3229	1,0442	0,9521	49	51	3	24
CSD 08004	10,1389	17,7674	1,1286	0,9675	31	65	26	31
CMG ERF 221-7	20,1389	21,6285	1,0948	0,9279	19	73	14	19
MULTILINHA	8,9444	3,8646	0,8298	0,9422	54	17	0	46
CMG ERF 221-29	22,7500	24,7674	0,9278	0,8801	11	80	0	11
CMG 2119	8,3750	19,2674	1,1944*	0,9792	26	41	59	26
CMG 2085	10,6250	7,8646	0,9877	0,9301	64	29	0	36
CMG ERF 221-4	12,3056	14,2396	1,0748	0,9541	45	55	9	43
CMG F6 LAM 20-2	7,0694	3,1146	1,0188	0,9253	75	15	1	25
CMG ERF 85-14	0,8056	7,6701	1,0773	0,9479	72	28	9	9
CMG ERF 221-16	25,9167	15,0451	0,8686	0,9046	12	58	0	42
CMG ERF 85-6	2,4028	0,9618	1,0124	0,9190	87	10	0	13

Coefficientes seguidos de ns, * e ** são, respectivamente: significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t ao se considerar como hipótese nula que $\beta_1=1$.

4.3 ESCOLHA DE LINHAGENS

O arroz de terras altas na região do Cerrado brasileiro foi por muito tempo utilizado como primeira cultura, devido suas características de tolerar solos ácidos. Porém, o cultivo de arroz de terras altas passou por algumas transformações, sendo cultivado por produtores tecnificados no sistema de rotação com outras culturas, como por exemplo, a soja (Peixoto, 2022). Para aumentar a competitividade da cultura do arroz de terras altas frente a outras culturas, alguns desafios devem ser superados; o incremento produtivo aliado a precocidade; melhorar adaptação ao sistema de plantio direto; linhagens responsivas a fertilidade; e resistência ao acamamento, são algumas características indispensáveis para a inclusão nas práticas de rotação e sucessão de culturas (Furtine *at al.*, 2019). Sabendo-se das necessidades exigentes de linhagens modernas, deve-se priorizar a recomendação de linhagens que tenha simultaneamente

mais de uma característica. Assim a escolha de linhagens entre as avaliadas deve ser realizada agregando o máximo de características possíveis.

Tendo como objetivo principal a produtividade de grãos, somente duas linhagens foram classificadas como de adaptabilidade e estabilidade ampla, a CSD 08004 e CMG 221-16, esta última dividida nos conjuntos GE e PA pelo controlador híbrido. Ambas as linhagens foram classificadas como de adaptabilidade e estabilidade geral para a característica altura de plantas pelos dois controladores. Já para o número de dias para florescimento, nenhuma das linhagens foi classificada como de adaptabilidade e estabilidade geral, entretanto vale destacar que a linhagem CSD 08004 recebeu pertinência de 42% no controlador baseado no método de Eberhart & Russel (1966), aliado a valores de β_1 igual a 1 e R^2 acima de 80%, ou seja, apresenta comportamento previsível, e média intermediária entre os genótipos avaliados.

Comparando-se as médias das características agronômicas avaliadas com as das cultivares testemunhas, a linhagem CSD 08004 obteve ótimos resultados, com altura de plantas de 96,17 cm, que foi estatisticamente superior à da cultivar testemunha BRS GO Serra Dourada (92,93 cm) e igual a BRS Sertaneja (96,52) (Tabela 6). Entretanto a BRS GO Serra Dourada foi classificada como pouco adaptada, enquanto a linhagem CSD 08004 obteve classificação quanto a adaptabilidade e estabilidade geral. Já para produtividade de grãos a linhagem CSD 08004 apresentou média de 3570 kg ha⁻¹, sendo estaticamente superior as cultivares testemunhas (Tabela 10). Apesar de não ser classificada como de adaptabilidade e estabilidade geral para o número de dias para o florescimento, a linhagem CSD 08004 apresentou valores de pertinência superiores as das cultivares testemunhas, além de média inferior à da cultivar BRS Sertaneja (Tabelas 14 e 15).

Comparando-se o desempenho da linhagem CSD 08004 com de outras cultivares, e que possuem indicação de cultivo para a região, à altura de plantas foi quase 11 cm menor que cultivares como a BRS A502 (Furtini *et. al.*, 2020) e BRS A501 CL (De Castro *et. al.*, 2018), além de possuir número de dias para o florescimento (79 dias) próximo das cultivares acima citadas (78 e 77 dias).

5 CONCLUSÕES

Todos caracteres avaliados apresentaram efeito significativo para interação genótipos por ambientes. A linhagem CSD 08004 possui adaptabilidade e estabilidade ampla para o Estado de Goiás para as características altura de plantas e produtividade de grãos, superando as cultivares testemunhas, sendo indicada para cultivo na região do Estado de Goiás.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, v.46, p.269-278, 1992.
- ABADIE, T. et al. Construção de uma coleção nuclear de arroz para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 129–136, 2005.
- ARF, O. et al. Uso de etil-trinexapac em cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 150–158, jun. 2012.
- BARRETO, Horllys Gomes *et al.* Estabilidade e adaptabilidade da produtividade e da reação a insetos de solo em genótipos experimentais e comerciais de batata-doce. **Biosci. j.(Online)**, p. 739-747, 2011.
- BOTELHO, F. B. S. et al. Multiline as a Strategy to Reduce Damage Caused by *Colletotrichum lindemuthianum* in Common Bean. **Journal of Phytopathology**, v. 159, n. 3, p. 175–180, 1 mar. 2011.
- BRESEGHELLO, F. et al. Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. **Crop Science**, v. 51, n. 3, p. 914–923, 2011.
- BRESSAN, G. M. et al. A classification methodology for the risk of weed infestation using fuzzy logic. **Weed Research**, v. 48, n. 5, p. 470–479, 2008.
- CARDOSO, D. B. O. et al. Using fuzzy logic to select coloured-fibre cotton genotypes based on adaptability and yield stability. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 43, p. 1–9, 2021.
- CARNEIRO, A. R. T. et al. Fuzzy logic in automation for interpretation of adaptability and stability in plant breeding studies. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 2, p. 123–129, 2019.
- CARNEIRO, A. R. T. et al. Fuzzy logic applied to different adaptability and stability methods in common bean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, 2020.
- CARNEIRO, V. Q. et al. Fuzzy control systems for decision-making in cultivars recommendation. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 39314, 2018.
- CARNEIRO, P.C.S (1998). **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 168 pp. Tese de Doutorado em Genética Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.
- CARNEIRO, V. Q. **Rede neural e lógica fuzzy aplicadas no melhoramento do feijoeiro**. 2015, 180f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015.

CARVALHO, Márcia, T. M. **O arroz de terras altas como estratégia para segurança alimentar, intensificação ecológica e adaptação à mudança do clima: rumo aos objetivos de desenvolvimento sustentável para o milênio.** Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2020, 14 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 252).

CHAVES, L. J. **Interação de Genótipos com Ambientes.** In: Luciano L. Nass; Afonso Celso C. Valois; Itamar Soares de Melo; Maria Cléria Valadares-Ingles. (Org.). Recursos Genéticos e Melhoramento - Plantas. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001, v., p. 673-713.

CHAVES, M. O.; DALTRO, E. M. F.; VILLAR, M. L. P.; SANTIAGO, C. M.; FERREIRA, C. M. Pesquisa de participação das marcas de arroz comercializadas em Mato Grosso: uma análise indicativa de mudanças na cadeia produtiva do arroz. **Informações Econômicas**, v. 45, n. 1, p. 20-34, jan./fev. 2015.

CAVALCANTE, Anaisa Kato *et al.* Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de soja em Porto Alegre do Norte, MT. **Biosci. j.(Online)**, p. 942-949, 2014.

COCHRAN, William G. The combination of estimates from different experiments. **Biometrics**, v. 10, n. 1, p. 101-129, 1954.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira – grãos: 11º levantamento**, agosto 2022 – safra 2021/2022.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> >. Acesso em: 14 jul. 2022.

COSTA, Weverton Gomes da. Meta-análise das estimativas de parâmetros em genótipos de arroz irrigado em Minas Gerais. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2018.

CRUZ, C.D.; TORRES, R.A.; VENCOVSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva e Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, v.12, p.567-580, 1989.

CRUZ, C. D.; REGAZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 4º. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 480p.

CRUZ, C. D. GENES - Software para análise de dados em estatística experimental e em genética quantitativa. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271–276, 2013.

DA COSTA, W. G. et al. Quarter century genetic progress in irrigated rice (*Oryza sativa*) in Southeast Brazil. **Plant Breeding**, n. July, p. 1–12, 2021.

DA SILVA, F. L. et al. Methods of adaptability and stability analysis in irrigated rice genotypes in Minas Gerais, Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 8, n. 2, p. 119–126, 2008.

DA SILVA, L. M. et al. Estado da arte dos fundamentos e ideias da lógica fuzzy aplicada as ciências e tecnologia. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 7, n. 3, p. 149,

2019.

DHAR, M. On geometrical representation of fuzzy numbers. **International J Energy, Information and Communications**, vol. 3, n.2, p.29-34, 2012

DE MOURA, A. M. et al. Genetic progress in upland rice breeding program for grain yield and plant height. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 45, 2021.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability Parameters for Comparing Varieties 1 . **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36–40, 1966.

EMBRAPA. **Emissões de metano do cultivo de arroz: terceiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa: relatórios de referência**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2015. 63 p.

FAO. FAOSTAT – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS. **Food and Agricultural Data**. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em 07 fev. 2022.

GITTI, D. DE C. et al. Glyphosate como regulador de crescimento em arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 41, n. 4, p. 500–507, 2011.

GUIMARÃES, E. P. Rice breeding. In: CARENA, M. J. (Ed.). **Cereals**. Springer Science & Business Media, 2009. p. 99-126.

GUIMARÃES, C. M. et al. Drought tolerance in upland rice: identification of genotypes and agronomic characteristics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 201, 1 abr. 2016.

GUIMARÃES, C. M.; FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. Como a planta de arroz se desenvolve. **Encarte de informações agronômicas**, v. 13, n. 99, p. 12, 2002.

KHUSH, G. S. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. **Plant Molecular Biology**, v. 35, n. 1–2, p. 25–34, 1997.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. a Superiority Measure of Cultivar Performance for Cultivar × Location Data. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 68, n. 1, p. 193–198, 1988.

MAHALINGAM, A. et al. Genetics of stability and adaptability of rice hybrids (*Oryza sativa* L.) for grain quality traits. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, n. 22, p. 2673–2680, 2013.

MARRO, Alessandro Assi *et al.* Lógica fuzzy: conceitos e aplicações. **Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)**, p. 2, 2010.

MARQUES, Marcelo Cunha *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em diferentes épocas de semeadura. **Biosci. j.(Online)**, p. 59-69, 2011.

MAPA. **BRASIL PROJEÇÕES DO AGRONEGÓCIO 2020/2021 a 2030/2031**. 102p. Brasília, 2021.

- MARIOTTI JA, Oarzabal ES, Osa JM, Bulacio ANR, Almada GH (1976) Análise de estabilidade e adaptabilidade de genótipos de cana de açúcar. I. Interações dentro de uma localidade experimental. **Revista Agronômica Norte Argentina** 13:405–412
- MANO, A. R. O. **ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE CULTIVARES DE FEIJÃO-DE-CORDA**. 2009. 151 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós Graduação em Agronomia - UFC, Fortaleza, 2009
- MONTEVERDE, E. et al. Integrating molecular markers and environmental covariates to interpret genotype by environment interaction in rice (*Oryza sativa* L.) grown in subtropical areas. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 9, n. 5, p. 1519–1531, 2019.
- NASCIMENTO, M. et al. Association between responses obtained using adaptability and stability methods in alfalfa. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2545–2554, 2013.
- NUNES, G. H. DE S. et al. Influência de variáveis ambientais sobre a interação genótipos x ambientes em meloeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 4, p. 1194–1199, 2011.
- PEREIRA, E. A. et al. Adaptabilidade e estabilidade em genótipos apomíticos do gênero *Paspalum*. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1361–1367, 2015.
- RESENDE, M. D. V. DE; DUARTE, J. B. Precisão E Controle De Qualidade Em Experimentos De Avaliação De Cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 37, n. 3, p. 182–194, 2007.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAMOS, M. R. F. **Heterose e capacidade combinatória de genótipos da coleção nuclear de arroz da embrapa**. 2015. 102 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015
- SAITO, K. et al. Progress in varietal improvement for increasing upland rice productivity in the tropics. **Plant Production Science**, v. 21, n. 3, p. 145–158, 2018.
- SCOTT, Andrew Jhon; KNOTT, M. Método de análise de cluster para agrupamento de médias na análise de variância. **Biometria**, pág. 507-512, 1974.
- SEEG - Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa, Observatório do Clima. Disponível em: <<http://seeg.eco.br>>. Acesso em 18 nov 2021.
- SHRESTHA, J. et al. Genotype × environment interaction and grain yield stability in Chinese hybrid rice. **Ruhuna Journal of Science**, v. 11, n. 1, p. 47, 2020.
- SILVA JÚNIOR, A. C. et al. Application of fuzzy logic for adaptability and stability studies in flood-irrigated rice (<sc> *Oryza sativa* </sc>). **Plant Breeding**, n. April 2020, p. 1–9, 18 out. 2021.

SILVA, W. C. J. E; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 1, p. 23–30, 2006.

SILVA JÚNIOR, A. C. **Progresso genético do programa de melhoramento de arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1993/1994 a 2015/2016**. 2017. 69f. 93
Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

TERRA, T. G. R. et al. Características de tolerância à seca em genótipos de uma coleção nuclear de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 788–796, 2015.

APENDICE A. Testes de Scott-Knott das variáveis avaliadas

Tabela 16. Médias de altura de plantas (cm) e método de agrupamento de Scott-knott, de 20 linhagens de arroz de terras altas, em 13 ambientes, nos anos de 2017 a 2021.

Cultivares	Ambientes													Média Linhagens
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
BRS GO S. Dourada	95,4 aB	96,33 aB	96,8 aB	79,23 aA	74,33 aA	98,0 aB	97,51 aB	99,0 aB	110,0 aB	95,33 aB	77,2 aA	85,97 aA	103,0 aB	92,93 a
BRS Sertaneja	95,07 aB	101,0 aB	106,27 bB	76,37 aA	82,67 bA	99,33 aB	100,56 aB	103,33 aB	107,89 aB	98,67 bB	92,4 aB	86,83 aA	104,44 aB	96,52 b
CSD 09001	98,8 aC	91,67 aB	105,47 bC	72,43 aA	76,0 aA	117,67 bD	114,11 aD	108,0 aC	109,0 aC	111,73 cD	90,67 aB	98,73 bC	120,0 aD	101,1 c
CSD 09005	93,47 aB	110,67 bC	103,67 bC	75,0 aA	81,33 bA	116,67 bC	105,33 aC	109,67 aC	106,0 aC	105,6 cC	105,53 bC	94,47 bB	112,44 aC	101,53 c
CSD 09006	93,13 aB	106,67 aC	105,73 bC	81,0 bA	84,0 bA	113,67 bC	106,14 aC	109,0 aC	103,67 aC	102,4 bC	107,73 bC	95,3 bB	107,44 aC	101,22 c
CSD 09009	90,0 aA	109,0 bB	97,2 aA	83,0 bA	83,67 bA	95,33 aA	96,53 aA	105,33 aB	113,33 aB	110,13 cB	94,93 aA	90,23 aA	105,78 aB	98,04 b
CSD 10002	95,0 aA	121,0 bC	108,93 bB	91,57 bA	91,67 bA	128,33 cC	109,67 aB	106,0 aB	107,89 aB	111,0 cB	118,93 aC	111,4 cB	114,22 aB	108,89 d
CSD 10004	96,2 aC	103,33 aC	102,27 bC	71,1 aA	74,0 aA	106,33 aC	103,16 aC	108,33 aC	110,44 aC	108,4 cC	91,27 aB	89,3 aB	104,56 aC	97,59 b
CSD 10005	99,2 aB	101,0 aB	93,13 aB	77,77 aA	85,33 bA	101,0 aB	102,83 aB	102,0 aB	110,0 aB	99,93 bB	94,73 aB	83,2 aA	104,33 aB	96,5 b
CSD 08004	101,13 aC	106,0 aD	96,33 aC	83,63 bB	70,67 aA	110,33 bD	101,88 aC	100,0 aC	101,67 aC	93,73 aC	85,6 aB	86,63 aB	112,56 aD	96,17 b
CMG ERF 221-7	95,33 aB	107,33 aC	96,53 aB	72,33 aA	73,67 aA	111,67 bC	106,96 aC	111,67 aC	107,56 aC	102,33 bB	100,8 bB	82,87 aA	115,11 aC	98,78 b
MULTILINHA	97,33 aB	104,33 aB	93,13 aA	87,1 bA	81,33 bA	107,67 aB	100,43 aB	106,67 aB	103,22 aB	96,33 aB	96,53 aB	87,63 aA	106,44 aB	97,55 b
CMG ERF 221-29	91,33 aB	102,67 aC	97,8 aC	73,1 aA	78,0 aA	106,67 aC	98,22 aC	103,0 aC	113,33 aC	88,0 aB	88,87 aB	86,0 aB	109,89 aC	95,14 a
CMG 2119	93,93 aC	96,0 aC	96,67 aC	72,23 aA	83,67 bB	99,0 aC	93,05 aC	107,0 aD	108,56 aD	86,73 aB	87,27 aB	85,37 aB	104,33 aD	93,37 a
CMG 2085	96,2 aA	104,0 aB	96,8 aA	86,67 bA	88,0 bA	99,33 aB	101,0 aB	106,33 aB	105,11 aB	93,33 aA	93,4 aA	82,23 aA	111,11 aB	97,19 b
CMG ERF 221-4	99,87 aB	98,67 aB	95,73 aB	83,53 bA	76,0 aA	96,67 aB	99,78 aB	108,0 aB	104,44 aB	86,33 aA	92,13 aB	84,17 aA	105,0 aB	94,64 a
CMG F6 LAM 20-2	96,87 aB	112,0 bC	109,2 bC	95,13 bB	77,33 aA	108,67 aC	104,55 aC	106,67 aC	109,78 aC	100,53 bC	104,8 bC	96,6 bB	112,0 aC	102,63 c
CMG ERF 85-14	92,33 aA	106,33 aC	92,27 aB	82,57 bA	85,33 bA	105,67 aB	105,9 aB	108,0 aB	114,67 aB	99,53 bB	86,4 aA	88,77 aA	106,67 aB	98,03 b
CMG ERF 221-16	93,53 aB	99,67 aB	99,27 aB	76,13 aA	84,0 bA	106,33 aB	103,11 aB	104,33 aB	99,22 aB	99,33 bB	98,0 aB	88,47 aA	108,22 aB	96,89 b
CMG ERF 85-6	93,47 aB	119,33 bC	93,27 aB	91,77 bB	79,67 aA	102,67 aC	110,11 aC	113,0 aC	105,33 aC	99,33 bB	91,67 cB	91,53 aB	110,44 aC	100,12 c
Média Ambientes	95,38 C	104,85 E	99,32 D	80,58 A	80,53 A	106,55 F	103,04 E	106,27 F	107,56 F	99,44 D	94,94 C	89,79 B	108,9 F	98,24

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo método de agrupamento de Scott-knott, a 5% de probabilidade.

Tabela 17. Médias de produtividade de grãos (kg/ha) e método de agrupamento de Scott-knott, de 20 linhagens de arroz de terras altas, em 13 ambientes, nos anos de 2017 a 2021

Cultivares	Ambientes													Média Linhagens
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
BRS GO S. Dourada	3005 bA	2950 bA	3148 aA	3379 aA	4248 aA	3617 bA	2971 aA	3782 aA	2522 aA	2731 aA	1109 aB	3036 aA	3974 bA	3113,3 b
BRS Sertaneja	3195 bB	2686 bB	3077 aB	3521 aA	4560 aA	3770 bA	2605 aB	4168 aA	2546 aB	2654 aB	2452 aB	2614 aB	3629 bA	3190,6 b
CSD 09001	3531 bA	2886 bA	3485 aA	3279 aA	4724 aA	3326 bA	2892 aA	3696 aA	3569 aA	3309 aA	1310 aB	2868 aA	3778 bA	3280,9 b
CSD 09005	2372 bB	3005 bB	3504 aA	3475 aA	4596 aA	3560 bA	2050 aB	3691 aA	1694 aB	2975 aB	2556 aB	2847 aB	4736 aA	3158,6 b
CSD 09006	2390 bB	3171 bB	3308 aB	3598 aB	4621 aA	3400 bB	2658 aB	4626 aA	2367 aB	3449 aB	2590 aB	2948 aB	3173 bB	3253,7 b
CSD 09009	2662 bA	3540 aA	3253 aA	3530 aA	4733 aA	3625 bA	2888 aA	4432 aA	3036 aA	3309 aA	2642 aA	3073 aA	3578 bA	3407,7 b
CSD 10002	3148 bB	3202 bB	3355 aB	3716 aA	4737 aA	3274 aB	2499 aB	4113 aA	2086 aB	3114 aB	2547 aB	2828 aB	2458 bB	3159,9 b
CSD 10004	3415 bB	3671 aB	3563 aB	3402 aB	4227 aA	4760 bA	3544 aB	4852 aA	2904 aB	3879 aB	2363 aB	2912 aB	4807 bA	3715,4 a
CSD 10005	3544 bA	3945 aA	3482 aA	3458 aA	3679 aA	3432 bA	3560 aA	4314 aA	2766 aB	3249 aA	2321 aB	2381 aB	4878 bA	3462,3 a
CSD 08004	4357 aA	3895 aA	3537 aA	3806 aA	4661 aA	3995 aA	3741 aA	3858 aA	2025 aB	3094 aA	2021 aB	3210 aA	4205 bA	3569,7 a
CMG ERF 221-7	4158 aA	4159 aA	3042 aB	3976 aA	4782 aA	5267 aA	4170 aA	4619 aA	2767 aB	3402 aB	2953 aB	3004 aB	4669 bA	3920,7 a
MULTILINHA	5012 aA	3683 aB	3302 aB	3918 aA	4252 aA	4654 bA	3367 aB	4221 aA	2127 aB	2965 aB	3123 aB	3294 aB	4080 bA	3692,3 a
CMG ERF 221-29	4037 aA	3962 aA	3071 aB	3833 aA	4773 aA	3933 bA	3243 aB	3407 aB	2021 aB	3160 aB	2483 aB	3527 aB	5160 bA	3585,5 a
CMG 2119	4275 aA	3407 bA	3090 aB	3463 aA	4724 aA	3849 bA	2670 aB	4183 aA	2036 aB	2956 aB	2317 aB	2709 aB	3413 bA	3314,8 b
CMG 2085	3403 bB	2940 bB	3334 aB	3898 aA	5014 aA	3047 bB	3829 aA	4612 aA	3121 aB	2679 aB	2111 aB	2475 aB	4516 bA	3460,1 a
CMG ERF 221-4	3725 aB	4779 aA	3310 aB	3707 aB	4808 aA	4020 bB	3684 aB	3629 aB	1541 aC	2546 aC	3085 aC	3480 aB	5012 bA	3640,4 a
CMG F6 LAM 20-2	4292 aA	2412 bB	3332 aB	3910 aA	4876 aA	3489 bB	3423 aB	4391 aA	1669 aB	2938 aB	3410 aB	3006 aB	4210 bA	3489,1 a
CMG ERF 85-14	2881 bB	4398 aA	3441 aB	4199 aA	4709 aA	4607 aA	3214 aB	4726 aA	2432 aB	3736 aA	2239 aB	3318 aB	4525 bA	3725,1 a
CMG ERF 221-16	4885 aA	3809 aA	3071 aB	4045 aA	4942 aA	4531 aA	3119 aB	4662 aA	2472 aB	2835 aB	2184 aB	3128 aB	4575 aA	3712,2 a
CMG ERF 85-6	3915 aA	4233 aA	3413 aA	3577 aA	4337 aA	3630 bA	3433 aA	4892 aA	3607 aA	3039 aA	2002 aA	3430 aA	3366 bA	3605,7 a
Média Ambientes	3610 C	3537 C	3306 D	3684 C	4600 A	3889 C	3178 D	4244 B	2465 E	3101 D	2391 E	3004 D	4137 B	3472,9

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo método de agrupamento de Scott-knott, a 5% de probabilidade.

Tabela 18. Médias de número de dias para o florescimento (dias) e método de agrupamento de Scott-knott, de 20 linhagens de arroz de terras altas, em 8 ambientes, nos anos de 2017 a 2021.

Cultivares	Ambientes								Media das linhagens
	1	2	3	4	5	6	7	8	
BRS GO S. Dourada	74,3 aA	83,3 aC	73,3 aA	72,0 bA	70,7 bA	83,3 aC	79,0 bB	87,0 aC	77,9 b
BRS Sertaneja	81,7 bB	85,3 bC	74,3 aA	74,0 bA	70,7 bA	86,0 aC	76,0 bA	89,0 aC	79,6 d
CSD 09001	77,3 aB	87,0 bC	75,7 aB	70,7 aA	71,3 bA	84,0 aC	79,0 bB	88,3 aC	79,2 c
CSD 09005	86,0 bB	85,0 bB	83,3 bB	73,0 bA	71,0 bA	83,3 aB	76,0 bA	87,0 aB	80,6 d
CSD 09006	77,7 aB	83,7 bC	74,3 aB	70,7 aA	70,0 bA	85,0 aC	76,0 bB	86,3 aC	78,0 b
CSD 09009	84,0 bB	83,0 aB	74,0 aA	69,3 aA	74,3 bA	82,7 aB	72,7 aA	86,7 aB	78,3 d
CSD 10002	81,3 bB	83,0 aB	75,3 aA	75,0 bA	73,7 bA	85,3 aC	73,7 aA	88,7 aC	79,5 d
CSD 10004	79,7 aC	85,3 bD	74,7 aB	74,0 bA	70,0 bA	85,3 aD	71,0 aA	85,3 aD	77,9 b
CSD 10005	82,7 bB	82,7 aB	73,0 aA	69,7 aA	71,0 bA	82,0 aB	72,0 aA	86,3 aB	77,4 b
CSD 08004	82,0 bB	85,3 bB	73,3 aA	72,3 bA	71,0 bA	85,7 aB	72,0 aA	87,3 aB	78,6 c
CMG ERF 221-7	83,0 bC	84,7 bC	81,0 bC	71,3 aA	69,7 bA	86,3 aD	76,0 bB	88,7 aD	80,1 d
MULTILINHA	79,0 aB	80,0 aB	73,3 aA	73,3 bA	69,0 bA	82,0 aB	71,7 aA	83,3 aB	76,5 a
CMG ERF 221-29	86,0 bC	82,7 aC	79,0 bB	71,3 aA	72,3 bA	86,3 aC	77,3 bB	86,0 aC	80,1 d
CMG 2119	82,0 bB	85,0 bC	73,3 aA	70,7 aA	71,0 bA	87,0 aC	72,7 aA	87,7 aC	78,7 c
CMG 2085	79,7 aB	82,3 aB	73,0 aA	72,7 bA	70,3 bA	83,0 aB	70,0 aA	86,7 aC	77,3 d
CMG ERF 221-4	81,3 bC	82,7 aC	75,3 aB	69,3 aA	70,7 bA	86,3 aD	76,7 bB	87,3 aD	78,7 c
CMG F6 LAM 20-2	76,7 aB	82,0 aC	72,3 aA	67,7 aA	72,0 bA	83,7 aC	71,0 aA	85,0 aC	76,3 a
CMG ERF 85-14	81,3 bC	79,7 aC	72,3 aB	66,3 aA	67,0 aA	81,7 aC	71,0 aB	82,7 aC	75,2 a
CMG ERF 221-16	82,0 bB	84,7 bC	80,7 bB	73,7 bA	73,7 bA	84,3 aC	73,0 aA	86,7 aC	79,8 d
CMG ERF 85-6	76,0 aC	80,3 aC	75,0 aC	69,7 aB	64,7 aA	82,7 aD	71,0 aB	82,7 aD	75,2 a
Média Ambientes	80,7 D	83,4 E	75,3 C	71,3 A	70,7 A	84,2 E	73,9 B	86,4 F	78,25

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e da mesma letra maiúscula na linha pertencem ao mesmo grupo pelo método de agrupamento de Scott-knott, a 5% de probabilidade