

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RAPHAEL DE PAULA GONÇALVES

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE CULTIVARES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

RAPHAEL DE PAULA GONÇALVES

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE CULTIVARES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Edgard Augusto de Toledo Picoli

Coorientadores: Plínio César Soares
Maicon Nardino

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

G635p
2021

Gonçalves, Raphael de Paula, 1991-
Plasticidade fenotípica de cultivares de arroz de terras altas em
diferentes sistemas de cultivo / Raphael de Paula Gonçalves. - Viçosa,
MG, 2021.
51 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Edgard Augusto de Toledo Picoli.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 44-49.

1. *Oryza sativa* L. 2. Plantas - Nutrição. 3. Stresse (Fisiologia).
4. Morfologia. 5. Arroz - Cultivo. 6. Produtividade. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-
Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.18

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fatima Alves CRB6/2578

RAPHAEL DE PAULA GONÇALVES

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE CULTIVARES DE ARROZ DE TERRAS ALTAS
EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 2 de junho de 2021.

Assentimento:

Raphael de Paula Gonçalves

Raphael de Paula Gonçalves

Autor

Edgard Augusto de Toledo Picoli

Edgard Augusto de Toledo Picoli

Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e pelas bençãos concedidas.

Aos meus pais Joel e Rosimar e ao meu irmão Matheus, pelo apoio, carinho e suporte.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao professor Dr. Edgard Augusto de Toledo Picoli, pelos ensinamentos, confiança, apoio e orientação.

Ao Dr. Plínio César Soares, pela orientação na graduação e coorientação no mestrado, pelos ensinamentos, confiança e apoio.

Ao professor Dr. Maicon Nardino, pelos ensinamentos, confiança, apoio e coorientação.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, pelo material de apoio, pelo local de condução do experimento e pelo suporte a este trabalho.

Aos colaboradores do Campo Experimental de Leopoldina da EPAMIG, Sérgio, Arley e demais, pelo suporte, apoio e dedicação para esta pesquisa.

Aos amigos Josimar, Abelardo, João Paulo, Ralph e demais colegas do Departamento de Anatomia Vegetal da UFV, que de alguma forma, contribuíram com este trabalho.

À família Ribeiro, pelo incentivo, carinho e suporte.

A todos meus amigos pessoais, pela amizade e apoio.

Enfim, minha gratidão a todos aqueles que colaboraram para a conclusão do Curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

GONÇALVES, Raphael de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Plasticidade fenotípica de cultivares de arroz de terras altas em diferentes sistemas de cultivo.** Orientador: Edgard Augusto de Toledo Picoli. Coorientadores: Plínio César Soares e Maicon Nardino.

As plantas são constantemente desafiadas por fatores ambientais. Este desafio se amplia frente ao cenário de mudanças climáticas, mas o estresse imposto por estes fatores ambientais pode ser contornado em parte por processos de aclimatação e/ou adaptação. Estudos revelam que os maiores prejuízos no setor agropecuário provêm de perdas causadas por secas e enchentes. A capacidade de um único indivíduo gerar fenótipos alternativos dependentes de sua interação com o ambiente é denominada plasticidade fenotípica, um mecanismo pelo qual as plantas podem responder às diferenças no ambiente em que se desenvolvem. Portanto, o objetivo deste trabalho foi estimar a plasticidade fenotípica de variedades de terras altas cultivadas em diferentes sistemas de cultivo. Este experimento foi conduzido no Campo Experimental de Leopoldina da EPAMIG utilizando quatro cultivares de arroz de terras altas (Curinga, Caravera, Relâmpago e Caçula) que foram submetidas a três condições de disponibilidade hídrica: um ambiente de terras altas, um ambiente de várzea úmida com irrigação intermitente e um ambiente de várzea com presença de lâmina d'água de forma contínua. As parcelas experimentais nos três ensaios foram constituídas de quatro fileiras de plantas de cinco metros de comprimento e espaçadas de 30 cm, com densidade de semeadura de 300 sementes viáveis/m². Como área útil da parcela foram colhidas as duas fileiras de plantas internas, eliminando-se 0,5 m nas extremidades das duas fileiras de plantas, totalizando uma área útil de 2,4 m². O arranjo experimental consistiu em um esquema fatorial 4x3, sob um delineamento em blocos ao acaso, com três repetições. Foram avaliadas características de crescimento e produção como produtividade de grãos, altura de plantas, peso de 100 grãos, dias para floração, matéria seca da parte aérea, área foliar, área foliar específica, número de perfilhos, perfilhamento e resistência ao acamamento, além dos teores de nutrientes. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) no software R. Além disso, foram realizadas as análises do índice de plasticidade fenotípica, de correlação e de componentes principais. As variáveis produtividade de grãos, altura de plantas, número de perfilhos; e teor dos nutrientes potássio, magnésio e zinco não apresentaram diferença estatística pelo agrupamento de Skott-Knott em

nível de 5% entre as variedades nos diferentes sistemas de cultivo adotados neste experimento. A interação genótipo ambiente foi significativa para 13 das variáveis avaliadas. Foi observado que há maior efeito da interação genótipo ambiente para avaliação das variáveis nutricionais em contraste as demais. Os índices de plasticidade estimados para as características morfológicas, de crescimento e nutrição das plantas não apresentaram diferenças significativas, mesmo considerando os três tratamentos de manejo de irrigação da cultura, indicando plasticidade fenotípica semelhante entre os genótipos avaliados. A plasticidade semelhante observada reflete a proximidade de pedigree ou potencial de adaptação semelhante dos parentais utilizados nos cruzamentos das cultivares utilizadas, implicando em sua proximidade genotípica e fenotípica. O conjunto de fatores relacionados ao ambiente de cultivo foi o principal fator para explicar o comportamento diferenciado das cultivares.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L. Nutrição de plantas. Estresse hídrico. Morfologia. Produção.

ABSTRACT

GONÇALVES, Raphael de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Phenotypic plasticity of upland rice cultivars in different cultivation systems.** Adviser: Edgard Augusto de Toledo Picoli. Co-advisers: Plínio César Soares and Maicon Nardino.

Plants are constantly challenged by environmental factors. This challenge expands in the context of climate change, but the stress imposed by these environmental factors can be partially overcome by acclimatization and/or adaptation processes. Studies show that the greatest losses in the agricultural sector come from losses caused by droughts and floods. The ability of a single individual to generate alternative phenotypes dependent on its interaction with the environment is called phenotypic plasticity, a potential by which plants can respond to differences in the environment in which they develop. Therefore, the objective of this work was to estimate the phenotypic plasticity of upland varieties cultivated in different cropping systems. This experiment was conducted at EPAMIG's Leopoldina Experimental Field using four upland rice cultivars (Curinga, Caravera, Relâmpago and Caçula) that were subjected to three water availability conditions: an upland environment, a wetland environment with intermittent irrigation and a floodplain environment with continuous water depth. The experimental plots in the three trials consisted of four rows of plants five meters long and spaced 30 cm apart, with sowing density of 300 viable seeds/m². As usable area of the plot, the two rows of indoor plants were harvested, eliminating 0.5 m at the ends of the two rows of plants, totaling a usable area of 2.4 m². The experimental arrangement consisted of a 4x3 factorial scheme, under a randomized block design, with three replications. Growth and yield characteristics were evaluated such as grain yield, plant height, weight of 100 grains, days to flowering, shoot dry matter, leaf area, specific leaf area, number of tillers, tillering and lodging resistance, in addition to nutrient contents. Data were subjected to analysis of variance and treatment means were grouped using the Scott-Knott test ($p \leq 0.05$) in the R software. In addition, analyzes of the phenotypic plasticity index, correlation and components were performed. The variables grain yield, plant height, number of tillers, and potassium, magnesium and zinc nutrient content showed no statistical difference by the Scott-Knott grouping at 5% level among the varieties in the different cropping systems adopted in this experiment. The environment genotype interaction was significant for 13 of the evaluated variables. It was observed that there is a greater effect of the environment genotype

interaction for the assessment of nutritional variables in contrast to the others. The plasticity indices estimated for the morphological, growth and nutrition characteristics of the plants did not show significant differences, even considering the three treatments of irrigation management of the crop, indicating similar phenotypic plasticity among the evaluated genotypes. The similar plasticity observed reflects the proximity of pedigree or similar adaptation potential of the parents used in the crosses of the cultivars used, implying their genotypic and phenotypic proximity. The set of factors related to the cultivation environment was the main factor to explain the different behavior of the cultivars.

Keywords: *Oryza sativa* L. Plant nutrition. Water stress. Morphology. Production.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 9 |
| 2. MATERIAIS E MÉTODOS | 13 |
| 2.1 Avaliação de Parâmetros | 16 |
| 2.2 Análises Estatísticas | 18 |
| 3. RESULTADOS | 19 |
| 3.1 Variáveis de Crescimento e/ou Produção | 20 |
| 3.2 Variáveis Nutricionais | 24 |
| 3.3 Análise de Correlação | 29 |
| 3.4 Índice de Plasticidade Fenotípica | 30 |
| 3.5 Análise de Componentes Principais | 31 |
| 4. DISCUSSÃO | 34 |
| 4.1 Variáveis de Crescimento e/ou Produção | 34 |
| 4.2 Variáveis Nutricionais | 38 |
| 4.3 Análise de Correlação | 41 |
| 4.4 Índice de Plasticidade Fenotípica | 42 |
| 4.5 Análise de Componentes Principais | 43 |
| 5. CONCLUSÃO | 43 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 44 |
| APÊNDICE | 50 |

1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um alimento básico e essencial para uma dieta saudável atuando como fonte primária de energia advinda de carboidratos complexos, fontes proteicas (aminoácidos essenciais), fibras, vitaminas e minerais para cerca de metade da população mundial (NAVES; BASSINELO, 2006). O gênero *Oryza* integra o grupo de cereais mais importantes para produção de alimentos no planeta, ocupando uma área plantada aproximada de 163 milhões de ha (USDA, 2020).

O consumo médio mundial de arroz beneficiado é 54 kg/pessoa/ano, com destaque para o continente asiático, onde a média é de 78 kg/pessoa/ano. No Brasil, a média é de 32 kg/pessoa/ano, figurando como o maior país consumidor deste cereal fora do continente asiático (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2018).

Na safra brasileira de 2019/20, foram mais de 11.183,4 mil toneladas colhidas em 1.665,8 mil ha. A área plantada em manejo irrigado foi de 1.298,9 mil ha, com retração de 4,2% em relação à safra anterior, enquanto no arroz de sequeiro houve aumento de 5,9%, chegando a 366,9 mil ha semeados (CONAB, 2020).

Nos últimos cinco anos, os estados Rio Grande do Sul e Santa Catarina respondem, em média, por cerca de 80% do arroz produzido no Brasil em sistema irrigado por inundação contínua, tornando a região sul grande estabilizadora na oferta deste grão no Brasil (IBGE 2020). Esta grande concentração da produção de arroz no Sul do Brasil está sujeita a instabilidades climáticas nessa região, podendo resultar em impacto negativo na produção brasileira (LEITE; FEDERIZZI; BERGAMASCHI, 2012). Ressalta-se a grande demanda de água para sustentar altas produtividades, pois o arroz sulista é praticamente todo irrigado e os recursos de água doce são de extrema importância para o abastecimento dos centros urbanos e indústrias (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2018). A necessidade de transportar e distribuir grandes quantidades de arroz, desde o Sul para as demais regiões do país, implica em custo elevado para o consumidor final. Neste contexto, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a expansão da rizicultura pelo país, principalmente do sistema de terras altas que apresenta um menor gasto dos recursos hídricos, é uma meta a ser cumprida com a interação do melhoramento e manejo da cultura (CRUSCIOL et al., 2013).

O cultivo em várzea úmida, atualmente, é quase inexistente (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2020). O sistema de terras altas responde pelos outros 20% da produção nacional,

sendo os estados do Mato Grosso, Maranhão, Pará, Rondônia, Tocantins, Piauí, Goiás e Minas Gerais os maiores produtores, nesta ordem, deste tipo de cultivo, respondendo por mais de 95% da área cultivada e da produção neste sistema (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2020).

Os estados responsáveis pela maior parte do cultivo de arroz de terras altas estão localizados predominantemente na região dos Cerrados, onde predominam os Latossolos, que apresentam boas características físicas, mas baixa fertilidade natural. Além disso, são regiões propensas a veranicos, que podem causar déficit hídrico na lavoura (GUIMARÃES et al., 2006). Considerando o avanço da orizicultura para áreas com solos de menor fertilidade a escolha e desenvolvimento de variedades mais eficientes na absorção ou utilização de minerais há de contribuir para a sustentabilidade da cultura nesses ambientes.

A agricultura no planeta é constantemente desafiada pela crescente incidência de eventos climáticos adversos, como consequência do aquecimento global. Eventos extremos que alteram a disponibilidade de água, como secas e inundações, constituem ameaças à segurança alimentar (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2015). Os cenários de mudança climática mundial apontam para situações de extremos na disponibilidade de água, ora resultando em seca severa em algumas áreas, enquanto inundações devido a eventos extremos de chuvas afetarão outras áreas geográficas (ANA, 2016). A produção agrícola é sensível ao clima e, portanto, diretamente afetada pelas mudanças climáticas.

Um estudo realizado em 48 países em desenvolvimento entre 2003 e 2013, mostrou que 25% dos danos advindos de desastres naturais impactaram diretamente a agropecuária. Estes desastres implicam em prejuízos de US\$ 70 bilhões no setor e ainda se estima que 44% dessas perdas foram causadas por seca e 39% por enchentes (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO), 2015).

Com base nos cenários de mudanças climáticas e de seus impactos sobre os recursos hídricos em escala global, o Brasil deve sofrer efeitos diferentes na quantidade e na disponibilidade desses recursos (MARENGO; DIAS, 2006). Os principais impactos identificados nas regiões brasileiras indicam um potencial aumento das condições de aridez no centro da região Nordeste, assim como no sul da Amazônia, que passaria de clima tropical úmido para um clima tropical subúmido. No Sudeste e na região Sul do Brasil, tem sido observado um aumento intenso na precipitação nos últimos 40 anos, causando prejuízos aos

agricultores devido a inundações (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2002; MARENGO, 2006).

Segundo estimativas da CONAB (2020), a safra atual de arroz será 2,1% inferior que a safra 2019/20 e que um dos principais fatores será a menor expansão da área plantada. Apesar do preço recorde do arroz este ano, o investimento no plantio de arroz será afetado devido ao preço de outras commodities que competem com a cultura por área, como a soja e o milho.

Em um clima em constante mudança, as plantas enfrentarão desafios que podem, em parte, ser contornados por processos de aclimatação e/ou adaptação. A capacidade de um único indivíduo gerar fenótipos alternativos baseados em mudanças no ambiente é denominada plasticidade fenotípica (BRADSHAW, 2006), que é uma estimativa da capacidade das plantas responderem a mudanças em seu ambiente (NICOTRA et al., 2010).

A aclimatação é uma forma facultativa e reversível de plasticidade, que altera os processos fisiológicos de curto prazo e o fenótipo em resposta à variação ambiental, enquanto que a adaptação é um processo irreversível que pode levar gerações para ser alcançada (BAEMAN et al., 2016; TAIZ et al., 2017). O estresse hídrico afeta diversos processos morfofisiológicos e bioquímicos nas plantas, sendo as respostas dependentes do genótipo, do estado fenológico e da duração e severidade do estresse (VIDAL et al., 2005).

Em condições de períodos prolongados de estresse hídrico por excesso de água, as plantas podem sofrer hipoxia, redução de oxigênio abaixo dos níveis ideais para uma planta, que é a forma mais comum de estresse em solos úmidos e ocorre durante inundações de curto prazo. Ainda que a parte aérea permaneça em contato com o oxigênio da atmosfera, as raízes submersas em água podem sofrer anoxia, a ausência total de oxigênio, que é ainda mais prejudicial as plantas (SASIDHARAN et al., 2017).

A formação de aerênquima é uma das respostas das plantas expostas ou adaptadas a ambientes com menor teor de oxigênio. Os tecidos dessas plantas apresentam um aumento dos espaços intercelulares que são preenchidos por gases (EVANS, 2004). Em decorrência desta menor disponibilidade de oxigênio, pode haver extensa reprogramação da expressão gênica e indução do metabolismo fermentativo, permitindo que a planta use glicólise para produção de ATP (PERATA; ALPI, 1993). O etileno está relacionado a formação do aerênquima (TAIZ et al., 2017), além de funcionar como sinalizador para a maioria das adaptações às inundações e ser responsável por modular uma cascata de respostas hormonais para a indução do enraizamento adventício em arroz (STEFFENS; WANG; SAUTER, 2006). A emergência das raízes também requer que o etileno induza a formação de espécies reativas

de oxigênio (ERO's) nas células epidérmicas, levando à sua morte celular para permitir o lançamento das raízes (STEFFENS; SAUTER, 2009).

A plasticidade das plantas em relação a tolerância à seca está relacionada ao uso eficiente da água, diminuição da área foliar, ajuste osmótico eficiente, quantidade de cera cuticular, capacidade de dissipação do excesso de energia na folha e capacidade de desenvolver um sistema radicular capaz de explorar camadas mais profundas do solo (TAIZ et al., 2017).

Gramíneas como o arroz, sob alta intensidade luminosa, tendem a produzir folhas mais grossas com tecidos mais fotossintetizantes, enquanto em condições de menos disponibilidade de luz, as plantas produzem folhas com menor quantidade de esclerênquima e maior área foliar por unidade de matéria seca (WAHL; RYSER; EDWARDS, 2001). Folhas produzidas sob baixa disponibilidade de nutrientes podem conter maiores quantidades de tecidos esclerenquimatosos em comparação com aquelas produzidas sob disponibilidades nutricionais adequadas, o que contribui para aumentar a robustez e reduzir possíveis danos e perdas (WAHL; RYSER; EDWARDS, 2001).

Para selecionar cultivares de arroz tolerantes à seca, são necessários pelo menos dois fatores: utilização de genótipos tolerantes à seca utilizadas como pais doadores e métodos de avaliação eficazes e adequados para a triagem de alto rendimento no campo para o cruzamento e seleção bem-sucedida (XIA et al., 2016). Apesar de ser uma espécie com alta exigência de demanda hídrica, é possível obter cultivares de arroz mais tolerantes à seca que mantenham níveis satisfatórios de desenvolvimento e produção (BOTELHO et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi estimar a plasticidade fenotípica de variedades de terras altas cultivadas em diferentes sistemas de cultivo. Adicionalmente, pretende-se identificar as variáveis morfológicas, de produção e nutricionais que apresentam maior variação nos sistemas de cultivo visando facilitar a avaliação e seleção de materiais com melhor potencial de adaptação a condições menos favoráveis conforme as previsões de mudanças climáticas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental de Leopoldina (CELP) da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), situado na cidade de Leopoldina, Minas Gerais, localizado nas coordenadas: 225 m de altitude, latitude 21°28'35.45"S e longitude 42°43'19.11"O (GOOGLE EARTH, 2019) (Figuras 1A, 1B e 1C). Foram utilizadas cultivares comerciais recomendadas à orizicultura mineira para cultivo no sistema de terras altas, trabalho resultante da parceria entre a EPAMIG, a Universidade Federal de Lavras e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Arroz e Feijão).

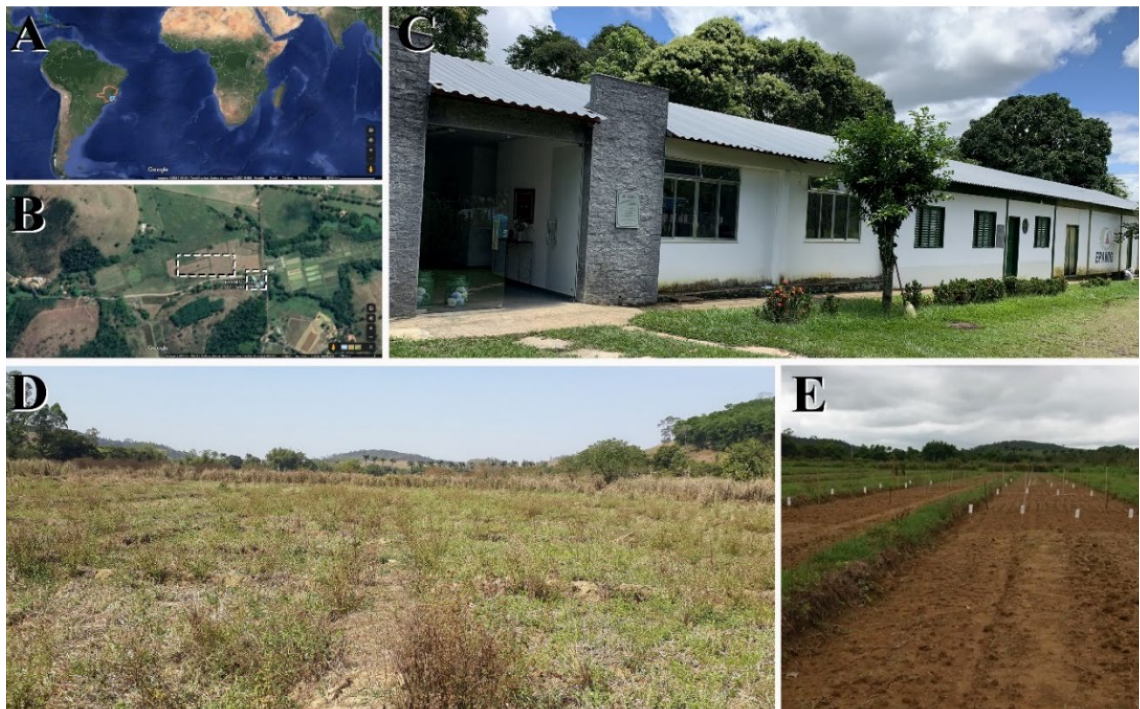


Figura 1. Localização do estado de Minas Gerais (A), localização do Campo Experimental de Leopoldina (B), vista da sede do Campo Experimental de Leopoldina (C), início do preparo das áreas (11/11/2019) para receber os experimentos em terras altas (D) e imagem da área destinada a uma das parcelas para os tratamentos de várzea úmida e várzea irrigada por inundação contínua (E). Imagens ilustrativas (A e B) da localização obtidas no Google Earth. Retângulos com bordo pontilhado nas imagens de satélite indicam a localização da sede do Campo Experimental de Leopoldina e as áreas onde o experimento foi realizado.

As cultivares de arroz utilizadas foram: BRSMG Curinga, BRSMG Caravera, BRSMG Relâmpago e BRSMG Caçula (Tabela 1) que foram submetidas a três condições de disponibilidade hídrica do solo (Figuras 1D e 1E):

- i) Cultivo em terras altas: onde o único fornecimento hídrico foi proveniente da precipitação pluviométrica;
- ii) Cultivo em várzea úmida: neste sistema a água foi fornecida predominantemente pela precipitação pluviométrica e esporadicamente pela irrigação por inundação intermitente, a qual consiste em ciclos de inundação rápidos (banhos), com reposição da lâmina de água (umidade do solo) após o solo ficar exposto, em razão da evapotranspiração e infiltração da lâmina d'água aplicada anteriormente.
- iii) Cultivo em várzea sob irrigação por inundação contínua: neste sistema, a água foi fornecida por gravidade. A lâmina de irrigação (10-20 cm de altura) foi mantida durante todo o ciclo da cultura e aumentada gradativamente conforme o desenvolvimento das plantas. Ela foi iniciada 10 dias após a semeadura e foi suspensa cerca de 10 dias antes da colheita;

Tabela 1. Principais características das cultivares.

| Cultivar | Ano de lançamento | Alt. | Prod. | DF | DM | Tipo de grão | P100 | RG |
|-----------|-------------------|------|-------|----|-----|--------------|------|------|
| Curinga | 2004 | 93 | 3687 | 97 | 132 | Longo-fino | 2.68 | 54 |
| Caravera | 2007 | 93 | 4655 | 83 | 113 | Longo-fino | 2.69 | 50.3 |
| Relâmpago | 2007 | 102 | 4232 | 79 | 109 | Longo-fino | 2.68 | 44.3 |
| Caçula | 2012 | 98 | 3620 | 74 | 105 | Longo-fino | 2.91 | 58.8 |

Alt: Altura de plantas (cm); Prod: Produtividade média (kg/ha); DF: Dias para floração; DM: Dias para maturação; P100: Peso de 100 grãos (g); RG: Rendimento de grãos inteiros após beneficiamento (%). Adaptado de (SOARES et al., 2018).

Em cada área destinada as parcelas dos tratamentos um total de 10 amostras de solo na camada de 0 – 20 cm, foram coletadas e misturadas para homogeneização em um balde livre de impurezas, para formar uma amostra composta. Desta amostra, 500 g de solo de cada ambiente foram devidamente armazenadas em sacos plásticos, identificadas e enviadas para o Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa para a realização das análises física e química do solo.

O preparo do solo nas três condições constou de uma operação de aração e uma de gradagem no dia 10 de outubro de 2019 e de outra gradagem adicional no dia 7 de novembro, no caso dos experimentos implantados em várzeas, para o acerto manual dos tabuleiros. No dia 11 de novembro, a semeadura direta no campo foi realizada nos três ambientes.

As parcelas experimentais nos três ensaios foram constituídas de quatro fileiras de plantas de cinco metros de comprimento e espaçadas de 30 cm, com densidade de semeadura de 300 sementes viáveis/m². Como área útil da parcela foram colhidas as duas fileiras de plantas internas, eliminando-se 0,5 m nas extremidades das duas fileiras de plantas, totalizando uma área útil de 2,4 m². O arranjo experimental consistiu em um esquema fatorial 4x3, sob um delineamento em blocos ao acaso, com três repetições.

Na adubação de plantio foram aplicados 500 kg/ha da formulação 8-28-16 no sulco de plantio. Para a adubação de cobertura foram aplicados 200 kg/ha da formulação 20-05-20 em duas parcelas, sendo 100 kg/ha aos 30 e 100 kg/ha aos 60 dias após o plantio. Para o controle de plantas daninhas foi feito o controle mecânico por meio de capinas manuais. O acompanhamento de pragas e doenças foi acompanhado/avaliado de acordo com as recomendações (EMBRAPA, 1977), sendo constatado que o uso de inseticidas e fungicidas foi desnecessário durante o experimento. Para evitar o ataque por pássaros, foram instaladas redes de náilon sobre cada um dos três ambientes (Figuras 2F, 2G e 2H).

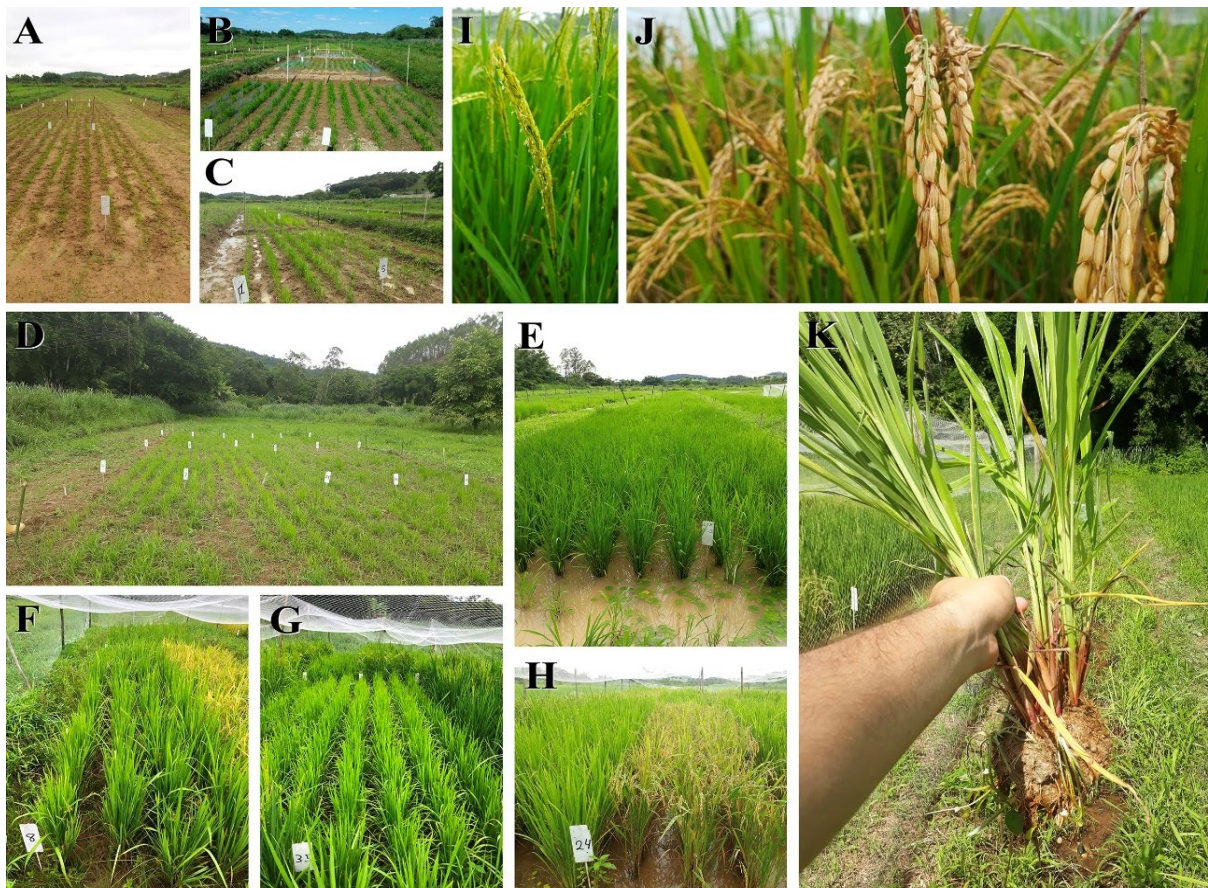


Figura 2. Panorama geral da condução do experimento. Emergência das plantas em várzea irrigada por inundação contínua antes da lâmina d'água (10 dias de cultivo) (A), plantas em

várzea úmida aos 30 dias de cultivo (B) e (C), emersão das plantas no ambiente de terras altas (10 dias de cultivo) (D), plantas atingindo o máximo perfilhamento na fase vegetativa na condição de inundação contínua (aproximadamente 65 dias de cultivo) (E), utilização de telas para proteção contra ataques de pássaros em terras altas (aproximadamente 65 dias de cultivo) (F), várzea úmida (G) e várzea irrigada por inundação contínua (H). Estágio R4, onde 50% das plantas da parcela atingem a antese (I), ponto de colheita (J) e número de perfilhos de uma planta (K).

2.1 Avaliação de Parâmetros

A produtividade de grãos foi determinada na época de colheita (Figura 2J) quando foram colhidas todas as plantas da área útil da parcela. A partir deste valor, obtido em gramas por parcela, foi estipulado a produtividade em kg/ha. A determinação da altura de plantas foi realizada avaliando-se 10 plantas tomadas ao acaso, poucos dias antes da colheita, em cada parcela útil e suas alturas foram mensuradas com o auxílio de uma régua de madeira, adotando-se como referência a distância entre o nível do solo e a folha bandeira (Figura 2J).

A determinação do número de dias para a floração foi baseada no número de dias, desde o plantio até que 50% das plantas em cada parcela tenham florescido (Figura 2I). Na estimativa do caractere peso de 100 grãos, na época de colheita (Figura 2J), três amostras por parcela útil de 100 grãos foram pesadas em uma balança digital de precisão, com a umidade corrigida para 13%.

O parâmetro acamamento foi avaliado em termos de notas de 1 a 5 (EMBRAPA, 1977), realizado na época de maturação (colheita) (Figura 2J), sendo: 1 – excelente, sem planta acamada; 2 - entre 1– 25% de plantas acamadas; 3 – entre 25-50% de plantas acamadas; 4 – entre 51-75% de plantas acamadas e; 5 – entre 76-100% de plantas acamadas (Figura 2I). O parâmetro perfilhamento foi avaliado através de notas de 1 – 9 (EMBRAPA, 1977), realizado na época do florescimento (1-2: excelente; 3-4: bom; 5-6: médio; 7-8: pobre; 9: muito pobre) (Figura 2K).

Durante a fase de enchimento de grãos, três plantas de cada repetição foram coletadas, tiveram suas folhas removidas e digitalizadas para determinação da área foliar. O Índice de Área Foliar nas imagens foi contabilizado pelo *software* ImageJ® (SCHNEIDER et al. 2012). As mesmas folhas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem a massa constante. Após isso, foram pesadas em uma balança digital analítica para obtenção da Massa Seca Foliar. Durante o processo de

coleta das plantas, 10 folhas de cada planta foram reservadas e levadas a estufa para secagem de forma separada. Depois de atingir peso constante, as folhas foram pesadas e Área Foliar Específica estimada por meio da razão Área foliar / Matéria seca foliar.

Após todas as amostras foliares atingirem massa constante em estufa e pesadas, foram identificadas e enviadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Viçosa, para determinação dos macros (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (Cu, Fe, Zn, Mn e B).

Todos os recipientes utilizados nas análises estavam livres de contaminação. O procedimento de descontaminação da vidraria foi feito retirando as identificações anteriores com escova e sapólio, mergulhando-se, em seguida, os recipientes em uma bandeja com solução de HCl a 2% por um período de cinco min e enxaguando-os em água deionizada. Após a lavagem drenou-se o excesso de água e levou-se o material à estufa para secagem.

Para a análise e determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Mn e Fe, foi realizada uma Digestão Nitricoperclórica (SARRUGE & HAAG, 1974), adotando-se o seguinte procedimento: foram pesados 0,5 g do material moído de cada amostra da repetição e foram despejados em tubos de digestão. Depois, foram adicionados 10 mL da mistura de ácido nítrico + ácido perclórico na proporção 4:1 dentro de capela de exaustão. Após isso, foram levados em chapa quente pré-aquecida a 80° C e a temperatura foi aumentada gradativamente até atingir 200° C. Assim que o extrato ficou cristalino, foi retirado da chapa para esfriar. Depois o volume foi completado para 25 mL com água deionizada. Depois os minerais foram quantificados utilizando espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP- OES; Perkin Elmer Modelo Optima 8300 DV). O equipamento foi calibrado com solução multielementar na mesma matriz das amostras em diferentes intervalos de com as seguintes concentrações: K (3 a 300 mg/L); Ca (2,4 a 240 mg/L); Mg (2,0 a 200 mg/L); S e P (0,8 a 80 mg/L); Fe (0,4 a 40 mg/L); Mn (0,2 a 20 mg/L); Cu, Zn e B (0,02 a 2 mg/L).

Para análise do Nitrogênio, foram pesados 0,2 g de cada amostra do material moído, depois o material foi despejado em tubos de digestão. Depois foram adicionados 5 mL da mistura de ácido sulfúrico dentro de capela de exaustão. Após isso, foi levado ao bloco digestor pré-aquecido a 120° C e a temperatura foi elevada gradativamente até atingir 350° C. Assim que o extrato ficou cristalino, foi retirado para esfriar. Em seguida, o volume foi completado para 50 mL com água deionizada. Para a determinação do N, o tubo do bloco digestor com o extrato foi levado ao destilador Kjeldahl, onde foram adicionados 25 mL de NaOH e a destilação foi iniciada. Na reação do NH_4^+ com a base, há liberação de NH_3 que é

arrastado pelo vapor d'água para um erlenmeyer de 50 mL contendo 20 mL de indicador de ácido bórico, que fornece um H^+ para recompor o NH_4^+ , que é dosado com uma solução de HCl 1N, usando-se uma microbureta (SARRUGE; HAAG, 1974).

2.2 Análises Estatísticas

De posse dos dados, estes foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) no software R (R CORE TEAM, 2020).

O índice de plasticidade fenotípica associado às características morfológicas, de crescimento das plantas, produção de grãos e nutrição, variando de 0 (sem plasticidade) a 1 (plasticidade máxima), foram calculados como a diferença entre os valores médios mínimo e máximo entre os tratamentos (TA: terras altas; VU: várzea úmida e VI: várzea irrigada), dividido pelo valor médio máximo (VALLADARES; SANCHEZ-GOMEZ; ZAVALA, 2006). A análise das estimativas do índice de plasticidade foi realizada a partir da comparação das médias entre os índices de plasticidade para as variáveis comparadas pelo teste U de Mann-Whitney; e Kruskal-Wallis (testes LSD foram aplicados para comparar as médias entre as cultivares de arroz, considerando os três tratamentos avaliados, $\alpha = 0,05$).

Associações multivariadas entre variáveis morfológicas, rendimento e valor nutricional de folhas de arroz em três tipos de ambiente foram analisadas utilizando uma análise de componentes principais (PCA). A PCA foi realizada para examinar as correlações entre todas as variáveis. Os resultados desta análise foram examinados com um gráfico “biplot” utilizando os três primeiros componentes principais (PC1, PC2 e PC3) derivados do PCA. Ela foi realizada usando o pacote R "factorextra" (KASSAMBARA & MUNDT, 2020) na versão R 3.6.1 (R CORE TEAM, 2020).

Foram avaliados os coeficientes de correlação de todas as variáveis presentes nos dados, para isso, foi utilizada a função “corr_plot” do pacote “metan” no software R. Para verificar a significância de cada correlação, foi utilizado o teste t (KASSAMBARA & MUNDT 2020; R CORE TEAM, 2020).

3. RESULTADOS

O experimento teve duração aproximada de 100 a 130 dias, levando em consideração o ciclo da cultura e as variedades de arroz utilizadas sob diferentes condições de manejo, tomando por referência a data da semeadura até a colheita dos grãos (Figura 1). O desenvolvimento das plantas foi vigoroso e o controle de pragas e doenças foi desnecessário. Apesar do esforço de se manter os experimentos livres de plantas invasoras, a ocorrência delas foi mais expressiva nas condições de várzea úmida e terras altas, enquanto que na condição de várzea irrigada por inundação contínua, foi praticamente inexistente, devido a presença da lâmina d'água de forma contínua. Nesta condição, houve a ocorrência apenas de pequenas quantidades de lírios d'água (*Nymphaea elegans*) e aguapés (*Eichhornia crassipes*). Apesar da instalação dos telados (Figuras 2F, 2G e 2H), algumas aves conseguiram acessar as plantas, o que pode ser um fator a contribuir negativamente para as estimativas de produção.

Foram avaliadas um total de 21 variáveis, das quais 10 relacionadas à morfologia, crescimento de plantas e produção; e outras 11 abordando a quantificação de nutrientes nas folhas das plantas. Para os caracteres resistência ao acamamento e perfilhamento, que foram avaliadas através de notas, não foram realizadas análises estatísticas devido a aparente ausência de variação entre as repetições. De forma geral, todas as cultivares apresentaram ótima resistência ao acamamento e um ótimo perfilhamento independente da condição de manejo.

Dentre as variáveis avaliadas, a produtividade de grãos, altura de plantas, número de perfilhos por planta (Apêndice 2) e os teores de K, Mg e Zn (Apêndice 3) não apresentaram interação cultivar x ambiente significativa em nível de 5% de probabilidade. Para o peso de 100 grãos, matéria seca da parte aérea, área foliar, área foliar específica e teores de N, P, S e Cu, houve diferença significativa entre as cultivares apenas no ambiente de terras altas, enquanto que Ca e Fe apresentaram diferença significativa entre os genótipos apenas no ambiente de várzea irrigada por inundação contínua. Já o teor de Mn apresentou diferença significativa entre as cultivares apenas em várzea úmida e os de B diferiram nos tratamentos em terras altas e várzea úmida. Dias para a floração foi o único parâmetro que apresentou diferenças significativas entre todas as cultivares nos três ambientes.

Considerando o efeito do ambiente dentro das cultivares, observou-se que para peso de 100 grãos, dias para floração e os teores de P, S, Cu, Fe e Mn nos tecidos, houve comportamento semelhante, com interação significativa, considerando todas as variedades. Entretanto, a matéria seca apresentou diferença significativa apenas para Curinga e

Relâmpago. Área foliar e Ca não apresentaram diferença significativa apenas para a cultivar Caçula, enquanto área foliar específica só apresentou diferença significativa na cultivar Relâmpago. Para o teor de N, houve diferença significativa apenas nas cultivares Curinga e Caçula e para o de B, apenas para a variedade Curinga.

A interação genótipo ambiente foi significativa para 13 das variáveis avaliadas. Observa-se que há maior efeito da interação genótipo ambiente para avaliação das variáveis nutricionais em contraste as demais. As diferenças significativas para os teores de N, P, Ca, S, Cu, Fe, Mn e B devem ser consideradas de forma isolada pois implicam em maior eficiência na absorção ou utilização de minerais para cultivar Caçula, com exceção do P. Por outro lado, a diferença significativa de entre os ambientes avaliados, mostra que a disponibilidade de água tem influência significativa na capacidade de absorção de nutrientes e, portanto, apresenta potencial efeito na produção.

3.1 Variáveis de Crescimento e/ou Produção

A altura de plantas (Tabela 2) apresentou interação não significativa, para a qual as cultivares variaram de 93 a 101 cm. Analisando os efeitos simples, no ambiente de terras altas as cultivares obtiveram maior média de altura (108 cm), já nos ambientes de várzea úmida e várzea irrigada obtiveram portes semelhantes (92 e 90 cm respectivamente).

Produtividade de grãos foi semelhante para as cultivares e condições avaliadas (Tabela 2). Em relação ao número de perfilhos por planta, verificou-se a ausência de interação significativa, porém, analisando os efeitos simples, observou-se que na condição de várzea irrigada por inundação contínua, os genótipos apresentaram maior perfilhamento com média de 16 perfilhos por planta (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância das variáveis produtividade de grãos, altura de plantas e número de perfilhos por planta.

| Produtividade de grãos (kg/ha) | | | | |
|---------------------------------------|----------------|---------------|-----------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 3633 ± 0975,97 | 2544 ± 319,72 | 2974 ± 307,27 | 3050 a |
| Caravera | 3618 ± 1018,29 | 2142 ± 177,76 | 3121 ± 198,00 | 2960 a |
| Relâmpago | 2903 ± 0609,97 | 2601 ± 401,55 | 2789 ± 134,28 | 2764 a |
| Caçula | 2174 ± 0087,73 | 1925 ± 272,58 | 2507 ± 092,67 | 2193 a |
| M.G.A. | 3075 a | 2303 a | 2848 a | |

| Altura de plantas (cm) | | | | |
|-------------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 112 ± 3,91 | 93 ± 0,83 | 96 ± 0,58 | 101 a |
| Caravera | 109 ± 3,62 | 91 ± 1,63 | 94 ± 1,10 | 098 a |
| Relâmpago | 107 ± 1,27 | 91 ± 2,36 | 91 ± 3,70 | 096 b |
| Caçula | 106 ± 3,80 | 86 ± 1,18 | 88 ± 1,62 | 093 b |
| M.G.A. | 108 a | 92 b | 90 b | |

| Número de perfilhos por planta | | | | |
|---------------------------------------|--------------|--------------|-----------------|---------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 11 ± 1,00 | 12 ± 3,18 | 13 ± 2,91 | 12,00 a |
| Caravera | 10 ± 0,88 | 09 ± 2,73 | 19 ± 2,52 | 13,00 a |
| Relâmpago | 10 ± 0,67 | 12 ± 2,31 | 18 ± 2,33 | 13,00 a |
| Caçula | 10 ± 1,76 | 13 ± 2,08 | 14 ± 1,76 | 12,00 a |
| M.G.A. | 10 b | 12 b | 16 a | |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou na linha, não diferem estatisticamente pelo agrupamento de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).; M.G.G: Média geral de genótipo e M.G.A: Média geral de ambiente.

Houve interação significativa para a variável peso de 100 grãos, para o qual as cultivares diferiram de forma significativa, no ambiente de terras altas (Tabela 3). Neste ambiente, a cultivar Caçula foi a que mais se destacou, atingindo a massa de 3,13 g. Entretanto, as cultivares apresentaram resultados semelhantes quando cultivadas em várzea úmida e várzea irrigada por inundação contínua (2,84 e 2,76 g respectivamente).

O número de dias para floração diferiu significativamente entre as cultivares em cada ambiente (Tabela 3). No ambiente terras altas, as plantas obtiveram o maior ciclo, variando de 77 dias na Caçula, que é uma cultivar super precoce, até 91 dias para a Curinga. Tanto no

ambiente de várzea úmida, quanto no ambiente de várzea irrigada por inundação contínua, foi observado uma redução na duração do ciclo de todas as cultivares, com destaque para a cultivar Curinga no ambiente de várzea úmida, que em comparação com ambiente de sequeiro, reduziu o ciclo em 38 dias.

Para o teor de matéria seca da parte aérea, dentro do ambiente de terras altas, as cultivares Caravera e Caçula foram estatisticamente inferiores as demais, entretanto considerando as cultivares dentro dos ambientes, observou-se que tanto Caravera como Caçula tiveram comportamento semelhante dentro dos diferentes ambientes (Tabela 3). A cultivar Curinga apresentou maior teor de matéria seca em média (1,35 g). O ambiente que proporcionou maior acúmulo de massa seca foi o de terras altas (1,49 g).

O ambiente de terras altas foi o que proporcionou maior área foliar para as cultivares em média (1131,66 cm²) e as cultivares Curinga e Caravera se destacaram em relação as demais (Tabela 3), já no ambiente de várzea úmida, as médias entre as cultivares situou-se em 550,63 cm². A área foliar específica das plantas no ambiente de várzea úmida foram as que apresentaram maior valor em média para as cultivares (206,43 cm²/g). Já as plantas dos tratamentos em terras altas e várzea irrigada por inundação contínua apresentaram valores semelhantes (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância das variáveis peso de 100 grãos, dias para floração, matéria seca da parte aérea, área foliar e área foliar específica.

| Peso de 100 grãos (g) | | | | |
|------------------------------|----------------|----------------|-----------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 2,73 ± 0,07 cB | 2,93 ± 0,10 aA | 2,70 ± 0,03 aB | 2,79 |
| Caravera | 2,91 ± 0,05 bA | 2,77 ± 0,04 aB | 2,70 ± 0,02 aB | 2,79 |
| Relâmpago | 2,88 ± 0,04 bA | 2,81 ± 0,02 aA | 2,69 ± 0,02 aB | 2,80 |
| Caçula | 3,13 ± 0,06 aA | 2,85 ± 0,03 aB | 2,93 ± 0,03 aB | 2,97 |
| M.G.A. | 2,91 | 2,84 | 2,76 | |

| Dias para floração | | | | |
|---------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 91 ± 0,00 aA | 53 ± 0,00 dC | 77 ± 0,00 aB | 74 |
| Caravera | 84 ± 0,00 bA | 65 ± 0,00 bB | 64 ± 0,00 bC | 71 |
| Relâmpago | 84 ± 0,00 bA | 78 ± 0,00 aB | 64 ± 0,00 bC | 75 |
| Caçula | 77 ± 0,00 cA | 63 ± 0,00 cB | 63 ± 0,00 cB | 68 |
| M.G.A. | 84 | 65 | 67 | |

| Matéria seca da parte aérea (g) | | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 1,78 ± 0,37 aA | 1,06 ± 0,11 aB | 1,22 ± 0,12 aB | 1,35 |
| Caravera | 1,24 ± 0,15 bA | 0,80 ± 0,11 aA | 1,06 ± 0,03 aA | 1,03 |
| Relâmpago | 2,05 ± 0,15 aA | 0,51 ± 0,08 aC | 1,00 ± 0,07 aB | 1,19 |
| Caçula | 0,90 ± 0,12 bA | 0,83 ± 0,12 aA | 1,07 ± 0,12 aA | 0,93 |
| M.G.A. | 1,49 | 0,80 | 1,09 | |

| Área foliar (cm²) | | | | |
|-------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 1520,96 ± 379,43 aA | 613,83 ± 127,93 aB | 0809,44 ± 076,93 aB | 981,41 |
| Caravera | 1291,43 ± 058,49 aA | 460,03 ± 077,04 aB | 1150,65 ± 112,78 aA | 967,37 |
| Relâmpago | 0925,16 ± 114,88 bA | 406,92 ± 011,82 aB | 1016,73 ± 092,75 aA | 782,94 |
| Caçula | 0789,08 ± 149,42 bA | 721,73 ± 208,72 aA | 0610,87 ± 102,93 aA | 707,22 |
| M.G.A. | 1131,66 | 550,63 | 896,92 | |

| Área foliar específica (cm²/g) | | | | |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 198,89 ± 09,14 aA | 176,10 ± 14,41 aA | 172,61 ± 11,85 aA | 182,53 |
| Caravera | 224,74 ± 10,38 aA | 222,02 ± 11,44 aA | 200,67 ± 01,22 aA | 215,81 |
| Relâmpago | 145,51 ± 15,42 bB | 224,66 ± 29,25 aA | 206,15 ± 05,91 aA | 192,11 |
| Caçula | 201,98 ± 21,09 aA | 203,17 ± 07,93 aA | 187,80 ± 08,33 aA | 197,65 |
| M.G.A. | 192,78 | 206,49 | 191,81 | |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo agrupamento de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).; M.G.G: Média geral de genótipo e M.G.A: Média geral de ambiente.

3.2 Variáveis Nutricionais

Os nutrientes K, Mg e Zn não apresentaram diferença significativa entre variedades, ambientes ou interação nas condições avaliadas. Desdobrando os efeitos simples, de maneira geral, o ambiente de terras altas foi o que proporcionou maior acúmulo médio destes nutrientes no tecido foliar (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância do teor dos nutrientes K, Mg e Zn acumulados na folha.

| Potássio (K) (g/kg) | | | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|-----------------|---------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 19,22 ± 0,56 | 17,32 ± 0,59 | 17,69 ± 0,19 | 18,08 a |
| Caravera | 19,09 ± 0,43 | 17,24 ± 1,45 | 17,56 ± 0,41 | 17,97 a |
| Relâmpago | 19,33 ± 0,43 | 15,59 ± 0,38 | 17,27 ± 0,77 | 17,40 a |
| Caçula | 17,17 ± 0,68 | 13,99 ± 0,32 | 15,11 ± 0,57 | 15,42 b |
| M.G.A. | 18,70 a | 16,04 b | 16,91 b | |
| Magnésio (Mg) (g/kg) | | | | |
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 2,07 ± 0,06 | 1,76 ± 0,22 | 1,17 ± 0,05 | 1,67 a |
| Caravera | 1,94 ± 0,08 | 1,29 ± 0,09 | 0,83 ± 0,05 | 1,35 b |
| Relâmpago | 1,95 ± 0,04 | 1,12 ± 0,09 | 0,98 ± 0,04 | 1,35 b |
| Caçula | 2,33 ± 0,16 | 2,03 ± 0,18 | 1,15 ± 0,21 | 1,84 a |
| M.G.A. | 2,07 a | 1,55 b | 1,03 c | |
| Zinco (Zn) (mg/kg) | | | | |
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 28,82 ± 4,58 | 15,13 ± 2,31 | 17,68 ± 1,52 | 20.54 a |
| Caravera | 22,00 ± 2,08 | 11,78 ± 0,34 | 13,10 ± 0,07 | 15.63 b |
| Relâmpago | 20,22 ± 1,54 | 12,36 ± 2,56 | 14,03 ± 0,85 | 15.54 b |
| Caçula | 17,39 ± 1,72 | 10,39 ± 0,37 | 11,17 ± 0,39 | 12.99 b |
| M.G.A. | 22,11 a | 12,42 b | 13,99 b | |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou na linha, não diferem estatisticamente pelo agrupamento de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).; M.G.G: Média geral de genótipo e M.G.A: Média geral de ambiente.

Quanto a concentração de nitrogênio, a única cultivar que se destacou em relação as demais foi a Caçula, com acúmulo de 34,36 g/kg de matéria seca e o ambiente de terras altas proporcionou maior concentração de N nas cultivares. Considerando o efeito dos ambientes dentro das cultivares, não houve variação significativa entre as cultivares apenas para Caravera e Relâmpago (Tabela 5).

Para o fósforo, as cultivares Curinga e Relâmpago apresentaram maiores concentrações deste nutriente no tecido foliar no ambiente de terras altas (4,76 e 4,20 g/kg respectivamente), enquanto a Caçula, foi a que apresentou menor acúmulo (2,88 g/kg). Considerando o desempenho das cultivares nos três ambientes, foi observado que a cultivar Curinga se destacou em relação as outras, alcançando acúmulo médio de 3,05 g/kg. No ambiente de sequeiro, as cultivares apresentaram maior acúmulo médio (3,88 g/kg) (Tabela 5).

Em relação ao teor do macronutriente cálcio, que apresentou diferença significativa entre as cultivares apenas no ambiente de várzea irrigada por inundação contínua, o destaque foi da cultivar Caçula, que obteve 5,07 g/kg. De maneira geral, as cultivares apresentaram teores médios de Ca no ambiente de várzea irrigada por inundação contínua inferiores aos dos demais ambientes (4,25 g/kg), 5,09 g/kg em terras altas e 5,18 g/kg em várzea úmida (Tabela 5). Para o teor de enxofre no ambiente de terras altas, a cultivar Caçula foi superior as demais (2,59 g/kg). O ambiente de terras altas foi onde os genótipos apresentaram maior acúmulo médio (2,24 g/kg) (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância do teor dos nutrientes N, P, Ca e S acumulados na folha.

| Nitrogênio (N) (g/kg) | | | | |
|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 28,13 ± 2,50 bA | 19,99 ± 2,05 aB | 21,38 ± 2,11 aB | 23,16 |
| Caravera | 24,99 ± 1,57 bA | 21,12 ± 2,20 aA | 17,83 ± 0,75 aA | 21,31 |
| Relâmpago | 26,17 ± 0,75 bA | 21,59 ± 1,64 aA | 21,84 ± 0,54 aA | 23,20 |
| Caçula | 34,36 ± 3,27 aA | 17,05 ± 1,34 aB | 20,71 ± 2,42 aB | 24,04 |
| M.G.A. | 28,41 | 19,94 | 20,44 | |
| Fósforo (P) (g/kg) | | | | |
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 4,76 ± 0,45 aA | 2,01 ± 0,11 aB | 2,37 ± 0,07 aB | 3,05 |
| Caravera | 3,66 ± 0,20 bA | 1,57 ± 0,08 aB | 2,00 ± 0,12 aB | 2,41 |
| Relâmpago | 4,20 ± 0,39 aA | 1,69 ± 0,09 aB | 2,22 ± 0,15 aB | 2,70 |
| Caçula | 2,88 ± 0,18 cA | 1,59 ± 0,05 aB | 1,97 ± 0,22 aB | 2,15 |
| M.G.A. | 3,88 | 1,72 | 2,14 | |
| Cálcio (Ca) (g/kg) | | | | |
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 5,18 ± 0,17 aA | 5,38 ± 0,41 aA | 3,99 ± 0,19 bB | 4,85 |
| Caravera | 5,02 ± 0,03 aA | 4,97 ± 0,34 aA | 3,73 ± 0,14 bB | 4,57 |
| Relâmpago | 5,34 ± 0,25 aA | 4,66 ± 0,15 aB | 4,23 ± 0,35 bB | 4,74 |
| Caçula | 4,82 ± 0,09 aA | 5,70 ± 0,23 aA | 5,07 ± 0,47 aA | 5,19 |
| M.G.A. | 5,09 | 5,18 | 4,25 | |
| Enxofre (S) (g/kg) | | | | |
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 2,17 ± 0,09 bA | 1,31 ± 0,04 aB | 1,33 ± 0,06 aB | 1,60 |
| Caravera | 2,00 ± 0,08 bA | 1,73 ± 0,12 aA | 1,28 ± 0,09 aB | 1,67 |
| Relâmpago | 2,19 ± 0,16 bA | 1,50 ± 0,10 aB | 1,53 ± 0,13 aB | 1,74 |
| Caçula | 2,59 ± 0,23 aA | 1,48 ± 0,10 aB | 1,26 ± 0,04 aB | 1,78 |
| M.G.A. | 2,24 | 1,50 | 1,35 | |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo agrupamento de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).; M.G.G: Média geral de genótipo e M.G.A: Média geral de ambiente.

Diferenças significativas entre as cultivares foram observadas para as concentrações de cobre apenas no cultivo em terras altas, onde a cultivar Caçula obteve média superior de acúmulo de matéria seca em relação as demais (17,26 mg/kg) (Tabela 6). De maneira geral, a

concentração de Cu diminuiu à medida que a disponibilidade hídrica dos ambientes aumentou, apresentando médias de 11,5, 4,05 e 2,67 mg/kg, para os ambientes de terras altas, várzea úmida e várzea irrigada por inundação contínua, respectivamente. Considerando os três ambientes, a Caçula foi o genótipo que obteve o maior acúmulo (7,75 mg/kg).

Analisando o teor de ferro, apenas o ambiente de várzea irrigada por inundação contínua apresentou diferenças significativas entre as cultivares. De maneira geral, a média do teor de Fe para todas as cultivares aumentou conforme aumentou a disponibilidade hídrica. No ambiente de terras altas, o teor de Fe foliar foi de 89,54 mg/kg de matéria seca, no ambiente de várzea úmida foi de 111,01 mg/kg e no ambiente de várzea irrigada por inundação contínua foi de 455,36 mg/kg, com destaque para a cultivar Caçula, que obteve o teor médio de 685,84 mg/kg de matéria seca (Tabela 6).

A concentração de manganês diferiu entre as cultivares apenas no ambiente de várzea úmida (Tabela 6). As concentrações médias nos ambientes de terras altas, várzea úmida e várzea irrigada por inundação contínua foram 476,71, 1396,54 e 377,54 mg/kg de matéria seca respectivamente. A cultivar que obteve a maior média foi a Caçula, que atingiu 1911,08 mg/kg no ambiente de várzea úmida. Porém, foi a cultivar que obteve o menor acúmulo no ambiente de várzea irrigada por inundação contínua (326,61 mg/kg).

Houve diferença significativa entre as cultivares em terras altas e várzea úmida para o teor de boro (Tabela 6). No ambiente de terras altas, a única que foi estatisticamente inferior as demais foi a Curinga (2,72 mg/kg). Já no ambiente de várzea úmida, a Curinga (14,18 mg/kg) e a Caçula (12,55 mg/kg) foram superiores as demais. O ambiente de várzea úmida foi o que proporcionou maior acúmulo deste micronutriente (11,39 mg/kg). Considerando as médias das cultivares nos três ambientes, a Caçula obteve o maior acúmulo (10,42 mg/kg).

Tabela 6. Análise de variância do teor dos nutrientes Cu, Fe, Mn e B acumulados na folha.

| Cobre (Cu) (mg/kg) | | | | |
|---------------------------|-----------------|----------------|-----------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 07,88 ± 0,46 bA | 3,59 ± 0,40 aB | 2,36 ± 0,32 aB | 4,61 |
| Caravera | 09,64 ± 0,24 bA | 4,84 ± 0,16 aB | 2,80 ± 0,10 aC | 5,76 |
| Relâmpago | 09,82 ± 1,33 bA | 4,20 ± 0,20 aB | 3,14 ± 0,12 aB | 5,72 |
| Caçula | 17,26 ± 1,44 aA | 3,59 ± 0,26 aB | 2,39 ± 0,34 aB | 7,75 |
| M.G.A. | 11,15 | 4,06 | 2,67 | |

| Ferro (Fe) (mg/kg) | | | | |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 094,19 ± 11,05 aB | 096,93 ± 04,68 aB | 293,81 ± 40,20 cA | 161,64 |
| Caravera | 077,41 ± 09,62 aB | 113,92 ± 26,45 aB | 415,12 ± 16,42 bA | 202,15 |
| Relâmpago | 077,88 ± 03,44 aB | 115,85 ± 14,49 aB | 426,67 ± 67,13 bA | 206,80 |
| Caçula | 108,70 ± 16,30 aB | 117,37 ± 16,05 aB | 685,84 ± 90,96 aA | 303,97 |
| M.G.A. | 89,55 | 111,02 | 455,36 | |

| Manganês (Mn) (mg/kg) | | | | |
|------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 607,45 ± 202,66 aB | 1559,41 ± 085,67 bA | 370,90 ± 39,82 aB | 845,92 |
| Caravera | 369,21 ± 048,96 aB | 1117,56 ± 097,32 cA | 352,27 ± 14,93 aB | 613,01 |
| Relâmpago | 603,15 ± 101,23 aB | 0998,09 ± 106,88 cA | 460,38 ± 83,79 aB | 687,21 |
| Caçula | 327,03 ± 068,68 aB | 1911,09 ± 241,64 aA | 326,61 ± 97,28 aB | 854,91 |
| M.G.A. | 476,71 | 1396,54 | 377,54 | |

| Boro (B) (mg/kg) | | | | |
|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------|
| Genótipos | Ambientes | | | M.G.G. |
| | Terras Altas | Várzea Úmida | Várzea Irrigada | |
| Curinga | 2,72 ± 0,09 bB | 14,18 ± 2,19 aA | 12,57 ± 1,72 aA | 9,82 |
| Caravera | 7,51 ± 0,70 aA | 09,51 ± 1,07 bA | 07,51 ± 1,14 aA | 8,18 |
| Relâmpago | 6,16 ± 0,94 aA | 09,32 ± 0,94 bA | 07,92 ± 1,14 aA | 7,80 |
| Caçula | 9,88 ± 1,53 aA | 12,55 ± 1,23 aA | 08,83 ± 1,76 aA | 10,42 |
| M.G.A. | 6,57 | 11,39 | 9,21 | |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem estatisticamente pelo agrupamento de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).; M.G.G: Média geral de genótipo e M.G.A: Média geral de ambiente.

3.3 Análise de Correlação

Observa-se que, além das diferenças de médias entre as concentrações de nutrientes e as variáveis de crescimento e produção de arroz, há relações entre esses dois blocos de variáveis que precisam ser exploradas. Foram observadas correlações significativas e não significativas em nível de 10%, 5% e 1% de probabilidade entre e dentro desses dois grupos de variáveis (Figura 3). Apesar da importância e complexidade dessas correlações, foi estabelecido apresentar e discutir somente as correlações significativas e que apresentaram valores de correlações positivas ou negativas acima de 70%, exceção feita entre área foliar e área foliar específica com matéria seca; e as com Fe e B.

A análise de correlação (Figura 3) nos permite verificar uma relação alta e direta entre as variáveis de crescimento (altura de planta, dias para o florescimento e matéria seca) com as variáveis nutricionais, os teores de P, K, S, Cu e Zn. Adicionalmente, as correlações entre concentrações de nutrientes (S e N, Cu e N, Cu e S, Zn e P) são altas, positivas e significativas. A ausência de correlações altas entre as variáveis de crescimento e produção é algo que merece destaque e implica em maior complexidade ou número de fatores interagindo com essas variáveis. As correlações negativas dos nutrientes Mn e Fe evidenciam que, nas condições avaliadas, a concentração desses minerais no solo pode estar em níveis tóxicos para as plantas.

Particularmente, as correlações positivas entre área foliar e matéria seca e negativas entre área foliar específica e matéria seca estão de acordo com esperado e evidenciam uma relação do ganho de matéria seca com a expansão das folhas. A ausência de correlações altas com as variáveis de produção (P100 e PROD) chama a atenção, considerando correlações significativas, porém de média magnitude, variando entre 33 e 58% (Figura 3), ressaltando a complexidade inerente as variáveis de produção. Entretanto, as correlações significativas de diferentes magnitudes entre as variáveis de produção com as demais comprovam que os fatores envolvidos influenciam, em grau menor ou intermediário, os caracteres de produção.

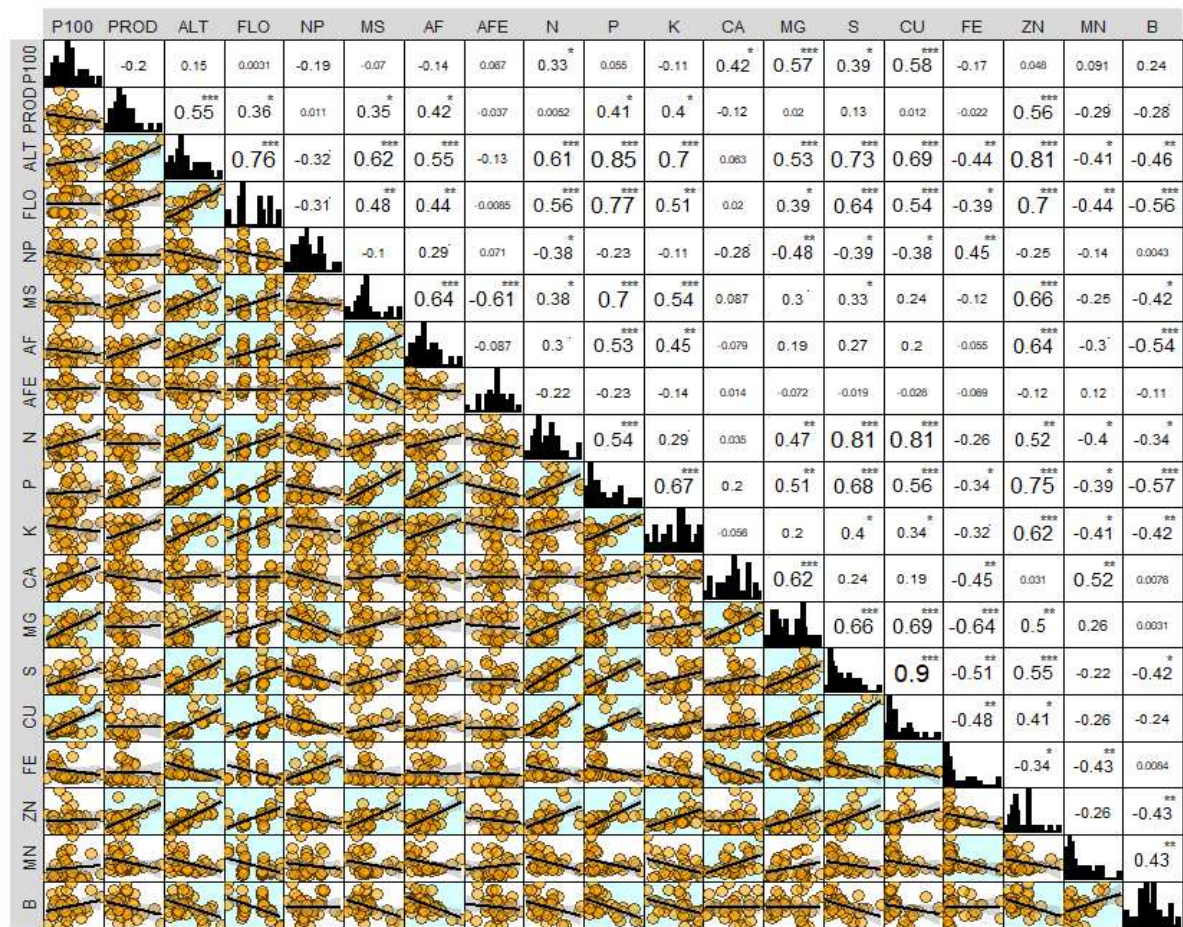


Figura 3. Análise de correlação. *, ** e ***: significativo a 10, 5 e 1% respectivamente. P100: peso de 100 grãos (g); PROD: produtividade de grãos (kg/ha); ALT: altura de plantas (cm); FLO: dias para floração; NP: número de perfilhos; MS: matéria seca foliar (g); AF: área foliar (cm²); AFE: área foliar específica (cm²/g); N, P, K, Ca, Mg e S: teores dos macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, respectivamente (em g/kg de matéria seca); Cu, Fe, Zn, Mn e B: teores dos micronutrientes cobre, ferro, zinco, manganês e boro (em mg/kg de matéria seca).

3.4 Índice de Plasticidade Fenotípica

Os índices de plasticidade estimados para as características morfológicas, de crescimento e nutrição das plantas foram semelhantes entre as variedades de arroz, mesmo considerando os três tratamentos de manejo de irrigação da cultura (Tabela 7). Isto indica a semelhança das respostas dos genótipos às condições ambientais avaliadas.

Tabela 7. Índice de plasticidade fenotípica para as características morfológicas, de crescimento e nutrição das plantas.

| Características | Abr. | Cultivar de arroz | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------|
| | | Caçula | Caravera | Curinga | Relâmpago | |
| Morfológicas, crescimento das plantas e produção de grãos | <i>P100</i> | 0,14 | 0,10 | 0,17 | 0,10 | |
| | <i>Prod.</i> | 0,47 | 0,67 | 0,66 | 0,54 | |
| | <i>Alt.</i> | 0,26 | 0,22 | 0,24 | 0,23 | |
| | <i>DF</i> | 0,18 | 0,24 | 0,42 | 0,24 | |
| | <i>NP</i> | 0,59 | 0,79 | 0,61 | 0,64 | |
| | <i>MS</i> | 0,46 | 0,58 | 0,63 | 0,82 | |
| | <i>AF</i> | 0,67 | 0,78 | 0,80 | 0,68 | |
| | <i>AFE</i> | 0,30 | 0,18 | 0,30 | 0,55 | |
| | média ± EE | 0,38 ± 0,07 a | 0,45 ± 0,10 a | 0,48 ± 0,08 a | 0,48 ± 0,09 a | |
| | Nutrição (teor de nutrientes) | <i>N</i> | 0,61 | 0,39 | 0,48 | 0,31 |
| | | <i>P</i> | 0,53 | 0,65 | 0,67 | 0,68 |
| | | <i>K</i> | 0,24 | 0,27 | 0,19 | 0,24 |
| | | <i>Ca</i> | 0,28 | 0,37 | 0,39 | 0,35 |
| | | <i>Mg</i> | 0,65 | 0,64 | 0,50 | 0,54 |
| <i>S</i> | | 0,59 | 0,46 | 0,48 | 0,47 | |
| <i>Cu</i> | | 0,91 | 0,74 | 0,78 | 0,75 | |
| <i>Fe</i> | | 0,89 | 0,87 | 0,79 | 0,87 | |
| <i>Zn</i> | | 0,49 | 0,57 | 0,66 | 0,62 | |
| <i>Mn</i> | | 0,91 | 0,79 | 0,86 | 0,74 | |
| <i>B</i> | | 0,64 | 0,47 | 0,85 | 0,58 | |
| média ± EE | | 0,61 ± 0,07 ^{n.s.}a | 0,57 ± 0,06 ^{n.s.}a | 0,60 ± 0,06 ^{n.s.}a | 0,56 ± 0,06 ^{n.s.}a | |

n.s.: não mostram diferença estatisticamente significativa entre o índice de plasticidade médio das variáveis morfológicas, crescimento das plantas e produção de grãos e nutrição (teste U de Mann-Whitney, *: P < 0,05). Testes de Kruskal-Wallis; letras iguais indicam que não há diferença estatisticamente significativa entre a média das cultivares de arroz (LSD, P > 0,05). P100: peso de 100 grãos; Prod: produtividade; Alt: altura de plantas; DF: dias para floração; NP: número de perfilhos por planta; MS: matéria seca da parte aérea; AF: área foliar e AFE: área foliar específica.

3.5 Análise de Componentes Principais

A análise multivariada considerando as 18 variáveis resultou na estimativa de 3 componentes principais que explicam 70,6% da variabilidade do experimento (Figura 4). As variedades tiveram um comportamento semelhante entre si, mas há a expressão da plasticidade fenotípica desses genótipos quando cultivados em diferentes ambientes, considerados aqui como os sistemas de irrigação (Figuras 4 A, 4 B e 4 C). Dado o

comportamento diferenciado das variedades conduzidas nos diferentes sistemas de irrigação, foi ainda possível na análise multivariada, discriminar os ambientes, indicando que há um norteamento das respostas dos genótipos de arroz desencadeado pelo ambiente onde estão sendo cultivados. Considerando que os tratamentos envolvem o manejo da água durante o desenvolvimento da cultura, tanto a disponibilidade desse recurso como a tensão de oxigênio para o sistema radicular das plantas, são fatores próprios de cada sistema e capazes de desencadear as respostas observadas.

Vale ressaltar que as variáveis teor dos nutrientes B e Mn foram importantes para a estimativa dos componentes principais utilizados na discriminação do tratamento várzea úmida, enquanto o teor de Fe e número de perfilhos para a estimativa dos componentes principais utilizados para a discriminação de várzea irrigada. Um maior número de variáveis (área foliar específica, dias para floração, altura de plantas, peso de 100 grãos, área foliar P, Zn, N, S, Cu e Mg) foi comum para a estimativa dos componentes principais que discriminam o tratamento terras altas. Vale a pena evidenciar que as variáveis de maior importância para estimativa do PC1 (altura de plantas, P, Zn, S, dias para floração, Cu, N, K e área foliar específica) são também as variáveis envolvidas nas correlações de maior valor (Figura 3). Por outro lado, a produtividade e o peso de 100 grãos tiveram maior peso para a estimativa de PC2 e PC3, contribuindo para importância dessas estimativas e abordagem.

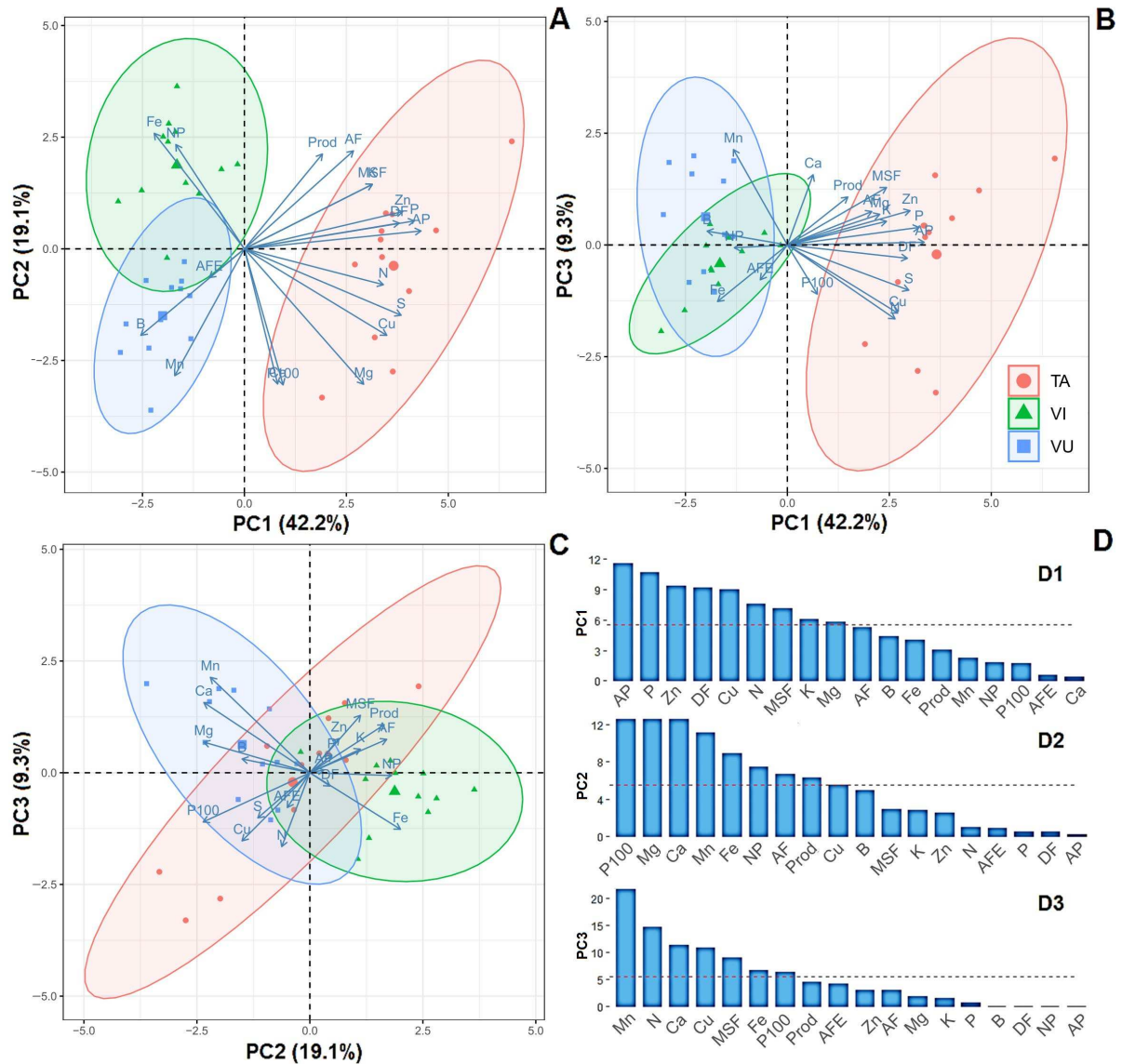


Figura 4. Os três primeiros eixos de um componente principal (PC; A, B e C) análise de variáveis morfológicas, rendimento e valor nutricional de folhas de arroz em três tipos de ambientes (TA: Terras Altas; VU: Várzea úmida, e VI: Várzea Irrigada por inunda o contínua). Contribui es de variáveis para PC em subquadros (D: D1, D2 e D3). Variabilidade total explicada= 70,6%. A elipse representa o agrupamento de tratamentos com um intervalo de confiança de 95%. AP: altura de plantas; DF: dias para flora o; Prod: produtividade de grãos; AF:  rea foliar; AFE:  rea foliar específica; MSF: massa seca foliar.

4. DISCUSSÃO

4.1 Variáveis de Crescimento e/ou Produção

Altura de Plantas

Os menores portes médios observados nos ambientes de várzea úmida e várzea irrigada sugerem que estes decréscimos podem ser explicados através de um dos mecanismos de defesa das plantas, que é a quiescência – uma estratégia alternativa onde a planta tem como objetivo entrar em um estado de inatividade, a ser revivido uma vez que a inundação recua (VOESENEK; BAILEY-SERRES, 2015). As variedades de arroz que sobrevivem à submersão, podem induzir o acúmulo de etileno, que induz o gene SUB1A, uma estratégia que permite reduzir o consumo de carboidratos ao mínimo necessário para manter a planta viva, enquanto espera a água retroceder, para retomar o crescimento aéreo (VOESENEK; SASIDHARAN, 2013). O menor porte da cultura é uma característica desejável, pois contribui com maior tolerância ao acamamento (SOARES et al., 2018). Resultado diferente foi encontrado por Crusciol et al. (2003), em um trabalho avaliando a produtividade de arroz de terras altas em condições de sequeiro e irrigado por aspersão em função do espaçamento, relataram que as plantas expostas a maiores disponibilidades hídricas, demonstraram maior porte, quando o espaçamento entre fileiras foram de 30 e 50 cm respectivamente.

Número de perfilhos por planta

Os perfilhos são estruturas utilizadas pelas plantas da família Poaceae para a compensação de espaços vazios dentro da comunidade, no campo e na lavoura (SANGOI et al., 2011). A capacidade de perfilhamento faz com que o arroz tenha resposta elástica à densidade de plantas, podendo compensar baixas densidades pela maior emissão de perfilhos. A capacidade de perfilhamento depende da cultivar, da densidade de semeadura, da temperatura do solo, da disponibilidade de nitrogênio no solo e da altura da lâmina de água de irrigação, dentre outros fatores (SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO, 2018).

Comparando os efeitos simples, houve uma homogeneidade no perfilhamento das plantas no ambiente de terras altas e um aumento no número de perfilhos em várzea irrigada. Isto pode ser devido a tentativa dos genótipos em estabelecer um contato aéreo com oxigênio.

Cabe ressaltar que grande parte destes perfilhos se tornará inviáveis ou inférteis, constituindo um grande dreno metabólico de massa seca, já que se admite como ideal de 2 a 6 perfilhos para a planta de arroz, que corresponderiam a uma maior quantidade de perfilhos viáveis e maior número de plantas em condições de campo (FRANÇA et al., 2008). Tanto é, que mesmo com uma quantidade superior de perfilhos em ambiente de várzea irrigada por inundação contínua, isto não implicou estatisticamente, em uma maior produtividade. Santos et al. (1999) verificaram maior perfilhamento, com a inundação intermitente, na fase vegetativa, seguida de inundação contínua, nas fases reprodutiva e de maturação, em comparação com o perfilhamento obtido com a inundação contínua durante todo o ciclo do arroz (DOS SANTOS et al., 2017). Esta capacidade compensatória devido ao perfilhamento, pode compensar eventuais falhas, como aquelas causadas por ataque de pássaros, por exemplo.

Produtividade de grãos

A semelhança entre as variedades e tratamentos aplicados em termos de produtividade de grãos, pode ser devido a recente evolução na escala evolutiva da planta de arroz da condição semiaquática para condição de terras altas (PINHEIRO; STONE; DA SILVA, 2000). Fazendo, portanto, com que as plantas consigam alcançar produções semelhantes em diferentes condições hídricas do solo. Heinemann e Stone (2009) em um trabalho avaliando o efeito do déficit hídrico em 4 cultivares de arroz de terras altas, verificou que não houve diferença estatística para a cultivar Curinga para as condições com e sem déficit hídrico. Segundo estes autores, o fato de essa cultivar ter apresentado um rendimento semelhante nas duas condições, pode estar correlacionado com a presença de mecanismos de tolerância ao estresse hídrico, ou maior resistência à seca, conforme descrito por Morais et al. (2005), além do fato dessa cultivar apresentar um ciclo mais longo, o tratamento estresse foi aplicado após o fim da floração.

Peso de 100 grãos

Apesar da diferença no peso médio dos grãos das cultivares nos três ambientes, todas ficaram acima de 2,5 g e de acordo com os pesos atingidos nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso nas épocas de seus respectivos lançamentos (SOARES et al., 2018). A manutenção do

enchimento de grãos pode ser atribuída a uma eficiência na produção e exportação de carboidratos para os grãos (JAGADISH et al., 2007). Terra et al. (2013) avaliaram características de tolerância a seca de uma coleção nuclear de arroz e verificaram que plantas em condições adequadas de irrigação, obtiveram maior massa de 100 grãos. Neste estudo, quando consideramos a média geral por ambiente, verificamos que o peso médio de 100 grãos das cultivares, decresceu conforme aumentava a disponibilidade hídrica do ambiente. A diminuição dos pesos dos grãos nos tratamentos com maiores disponibilidades hídricas, pode ser devida ao enchimento inadequado dos grãos. Nugraha et al. (2013) afirmaram que o menor peso de 100 grãos em condições de submersão foi devido ao enchimento inadequado dos grãos e ao estágio de enchimento irregular, portanto, na colheita os grãos tiveram diferentes estágios de maturação, reduzindo assim o peso das sementes (VOESENEK, 2008).

O maior peso obtido pela cultivar Curinga em ambiente várzea úmida em relação ao terras altas, pode ser explicado pela sua dupla aptidão de manejo, o que a torna recomendada para os sistemas de terras altas e várzeas (SOARES et al., 2018).

Dias para floração

As plantas nos ambientes várzea úmida e várzea irrigada, podem ter utilizado a estratégia de escape, que em situação de estresse, diminuem a duração da fase vegetativa e com isso, aceleram o ciclo. Este resultado corrobora com o trabalho de Suhre; Cordeiro e Medeiros (2008), onde as linhagens testadas tiveram redução na duração do ciclo em condições de maior disponibilidade hídrica. Porém, difere do trabalho de Heinemann e Stone (2009), realizado com quatro variedades de arroz de terras altas sob condição de estresse por deficiência hídrica, que mostraram que, sob esta condição, o período de florescimento aumentou em até 11 dias. Em contraste com o trabalho dos outros autores, há evidência de que esta estratégia de escape é utilizada tanto em condições de déficit, quanto de excesso hídrico.

Apesar da redução do ciclo das cultivares em condições de maior disponibilidade hídrica, não teve, estatisticamente, influência sobre a produtividade de grãos. No entanto, análises da qualidade dos grãos e rendimento de grãos inteiros, são necessárias para verificar se não afetaram a porcentagem de grãos quebrados durante o beneficiamento (SOARES et al., 2018).

Massa seca foliar

Os maiores teores de matéria seca foliar, mostra que nos ambientes de várzea úmida e várzea irrigada por inundação contínua, a maior disponibilidade hídrica, diminuiu o acúmulo de fotoassimilados, visto que de maneira geral, o acúmulo da maioria dos nutrientes foi no ambiente de terras altas, sugerindo que nos ambientes de maiores disponibilidades hídricas, que também foram onde as plantas reduziram o ciclo, estes nutrientes foram translocados para os grãos. Isto pode indicar uma tentativa de sobrevivência das plantas, onde se há uma prioridade em deixar o maior número de descendentes (GUIMARÃES et al., 2006) e também, que a disponibilidade hídrica pode ter afetado o pH da solução do solo e com isso, ter alterado a absorção dos nutrientes (MALAVOLTA et al., 1974). Falqueto et al. (2009) relataram que os cultivares de arroz irrigado diferem quanto ao padrão de distribuição de matéria seca em cada órgão durante o período de enchimento de grãos.

Área foliar e Área foliar específica

Trata-se de características muito variáveis, que podem ser amplamente influenciadas pelos fatores climáticos, inclusive pela disponibilidade hídrica do ambiente. A área foliar está diretamente relacionada com a fotossíntese e aumenta até o período de floração, após esta fase, ocorre uma redução devido a senescência das folhas mais velhas. A menor área foliar média no ambiente de várzea úmida em relação ao demais, pode ser atribuída a maior competição das cultivares com as plantas invasoras neste ambiente. Quanto maior a área foliar, maior a interceptação de luz e, portanto, maior a taxa fotossintética, mas há um limite nessa relação, pois além da competição com as plantas daninhas, pode ocorrer um auto sombreamento, que irá causar uma diminuição na taxa de fotossíntese média por unidade de área foliar (DOS SANTOS; COSTA, 1997).

A área foliar específica é utilizada como indicador de acúmulo e locação de carbono e seus efeitos no desenvolvimento da planta (LOBO et al., 2010). A maior área foliar específica observada no ambiente de várzea úmida, pode ser atribuída a competição mais intensa dos genótipos com as plantas invasoras. O aumento da área foliar específica em condições de menor luminosidade está diretamente relacionado com as alterações anatômicas que podem ocorrer nas plantas sombreadas, como epidermes mais delgadas, menor proporção de parênquima paliádico e menor espessura de mesofilo e de tecidos condutores e de

sustentação, maior proporção de espaços intercelulares e menor densidade estomática (BERLYN; CHO, 2000). Portanto, mudanças anatômicas que ocorrem nas folhas, possibilitam que as plantas se adaptem às adversidades ambientais. Estas informações corroboram com o trabalho de Allard; Nelson e Pallardy (1991) que observaram aumento linear na área foliar específica da gramínea C3 *Festuca arundinacea* submetida a diferentes níveis de sombreamento. No trabalho de Lin et al. (2001), as espécies forrageiras avaliadas apresentaram aumento significativo na área foliar específica, quando se desenvolveram sob 50% de sombra, em relação às plantas que se desenvolveram a pleno sol.

4.2 Variáveis Nutricionais

O nitrogênio (N) favorece o desenvolvimento das plantas e os componentes da produtividade. É responsável pelo incremento da área foliar da planta, o que aumenta a eficiência de interceptação da radiação solar, a taxa fotossintética e, conseqüentemente, a produtividade de grãos (DOS SANTOS et al., 2017). Com o aumento da disponibilidade hídrica, o nitrato é o primeiro composto a sofrer reação de redução pela microbiota do solo, no processo de desnitrificação, onde todo o nitrato presente pode ser reduzido a N_2O e N_2 , podendo estes elementos, serem perdidos para atmosfera por volatilização (SOUSA et al., 2006). Além disso, considerando os menores teores de N nas cultivares em várzea úmida e várzea irrigada, pode ser observado que houve maior lixiviação nestas condições.

Da Silva et al. (2011) avaliaram a dinâmica do N em solos de várzea e os resultados encontrados pelos autores corroboram com os resultados aqui apresentados. Quanto ao teor de P, que é o elemento determinante para altas produtividades no arroz, devido a sua participação no processo de fotossíntese e síntese de proteínas, tem influência direta no número de panículas devido a seu estímulo ao perfilhamento e enraizamento (DARIO; DARIO, 2015).

A maior disponibilidade hídrica dos ambientes de várzea úmida e várzea por inundação contínua em relação ao de terras altas, afetou a absorção de P pelos genótipos, pois a maior parte do P solúvel é adsorvida pelos óxidos de Fe e Al, ou é precipitada no solo, tornando-o não disponível às plantas (VELOSO et al., 2009), pois em condições de saturação do solo, o P, em razão da sua adsorção específica na superfície dos óxidos, este elemento fica com sua dinâmica muito alterada, podendo ser liberado para a solução do solo à medida que há redução do Ferro e conseqüente desestabilização mineral (VAHL, 1999). Resultados semelhantes foram relatados por Ranno et al. (2007), onde os autores estudaram a capacidade de adsorção do P em solos de várzea da região do Rio Grande do Sul.

De maneira geral, a média do teor de cálcio nos ambientes de terras altas e várzea úmida foram maiores que no ambiente de várzea irrigada por inundação contínua (5,09; 5,18 e 4,25 g.kg⁻¹ de matéria seca respectivamente). A cultivar Caçula foi a que obteve o maior acúmulo considerando as três condições (5,19 g.kg⁻¹). Os solos de várzea apresentam como principal característica uma drenagem natural deficiente (hidromorfismo), ocasionado pelo relevo predominantemente plano dos tabuleiros, frequentemente associado a uma camada subsuperficial impermeável e uma camada superficial rasa, com fertilidade natural média a baixa (PINTO et al., 1999). O Ca não participa diretamente das reações de oxirredução que ocorrem sob inundação, porém, geralmente ele tem sua solubilidade aumentada devido ao deslocamento para a solução do solo pelo manganês e ferro (SOUSA et al., 2006). Nos resultados apresentados neste trabalho, o acúmulo de Ca foi maior no ambiente de terras altas. Este resultado, diferente do observado na literatura, pode ser atribuído ao maior teor inicial de Ca no solo neste ambiente (Apêndice 1).

O enxofre, assim como o nitrogênio, teve o maior acúmulo pelas cultivares no ambiente de terras altas. É um elemento essencial às plantas e, nas proteínas, é um constituinte importante de aminoácidos como cisteína e metionina (SUZUKI, 1995). O enxofre no solo em condições de aerobiose como no ambiente de terras altas, encontra-se na forma de sulfatos (SO₄⁻²), que é a forma iônica mais absorvida pelas plantas, porém, com o aumento da saturação do solo, ocorre a redução SO₄⁻² para S²⁻, tornando o elemento menos disponível para absorção radicular (SOUSA et al., 2006). Apesar destes elementos apresentarem efeito indireto no processo de redução, o maior teor de ferro na forma Fe²⁺ na solução do solo pode deslocar esses cátions que estavam adsorvidos na fase sólida, aumentando sua disponibilidade para as plantas (VAHL, 1999).

Depois do N, o K foi o nutriente mais absorvido pelas cultivares. Faz parte de diversos processos bioquímicos e fisiológicos na planta. Já o Mg é um componente da clorofila, além de ativador enzimático. Geralmente, em solos reduzidos pela inundação, o K tem sua disponibilidade aumentada, assim como sua absorção pelo arroz, pois, na presença da lâmina d'água, o K tem sua difusão aumentada, que conseqüentemente, causa um deslocamento do nutriente dos sítios de troca para a solução do solo, pelos cátions NH₄⁺, Fe₂⁺ e Mn₂⁺ e liberação de potássio das frações não-trocável e estrutural (MACHADO, 1985). Neste trabalho, mesmo com o ambiente de terras altas possuindo os maiores teores iniciais de K no solo (72 mg/dm³), os ambientes de várzea úmida e várzea irrigada possibilitaram uma absorção deste nutriente bem próxima da proporcionada pelo ambiente de terras altas

(Apêndice 1). O menor acúmulo de Mg no tecido foliar, evidencia que o estado redutor da solução solo afetou a absorção deste nutriente.

O teor de Cu, assim como o Fe, forma quelatos altamente estáveis e permite a transferência de elétrons ($\text{Cu}^{2+} + e^- \leftrightarrow \text{Cu}^+$). Diferente do observado para o íon Fe, as enzimas que contêm Cu podem reagir com oxigênio molecular e, preferencialmente, catalisar processos de oxidação terminais (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). O Zn, funciona como um cátion divalente em metaloenzimas, em algumas das quais liga as enzimas a seus substratos correspondentes, enquanto em outras, o Zn forma complexos tetraédricos com N e O e, particularmente, ligantes de S com uma variedade de compostos orgânicos (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). As maiores concentrações observadas dos micronutrientes Zn e Cu no ambiente de terras altas são atribuídas às reações que ocorrem com S.

Em ambientes saturados ou alagados, o íon sulfato sofre redução, formando o íon sulfeto, que por sua vez pode reagir com hidrogênios e formar H_2S , que pode causar toxidez para o arroz. Portanto, a redução do sulfato em solos com maior disponibilidade hídrica pode, além de diminuir o suprimento de S, diminuir a disponibilidade de Zn e Cu (SOUSA et al., 2006). A disponibilidade de Zn diminui após o alagamento do solo, devido, possivelmente, à precipitação do $\text{Zn}(\text{OH})_2$ como efeito do aumento do pH, à precipitação do ZnCO_3 como consequência do acúmulo de CO_2 , resultado da decomposição da matéria orgânica, e à precipitação do ZnS em ambiente de solo altamente reduzido (CAMARGO et al., 1999). (HUANG et al., 2016) estudando a variação de elementos minerais em grãos de 20 acessos de arroz integral, mostraram que a interação de Fe, Zn e Cu foram afetadas pela variância do ambiente. Tanto Huang et al. (2016) quanto Saha e Roy (2020) destacam a importância da composição mineralógica dos grãos e abordam que o ambiente e a forma de manejo podem influenciar a disponibilidade de nutrientes na alimentação humana. Isto é grande relevância, visto que os grãos representam a base alimentar de muitos países em desenvolvimento.

A concentração média de Fe entre os genótipos aumentou, conforme aumentou a disponibilidade hídrica do ambiente. Em solos saturados e alagados, ocorre um aumento da solubilidade do ferro, além da redução do Fe^{3+} a Fe^{2+} . Com isso, sua disponibilidade aumenta, sendo excessivamente absorvido pela planta, podendo danificar as células e causar toxidez ao arroz, além de alterar a dinâmica de absorção de outros compostos do solo (SOUSA et al., 2006; DARIO; DARIO, 2015). Os resultados aqui encontrados estão de acordo com Schmidt et al. (2013), que avaliaram o impacto do manejo da água na toxidez por Fe no arroz e

verificaram que os solos que permaneciam sobre anoxia por mais tempo, continham maiores teores de Fe^{2+} .

A maior concentração Mn entre as plantas ocorreu no ambiente de várzea úmida. A redução do Mn^{4+} a Mn^{2+} no solo alagado ocorre quase coincidentemente com a redução do nitrato. A diminuição dos teores de Mn na solução do solo decorre da adsorção e precipitação como MnCO_3 e MnS . As concentrações máximas são mais altas e ocorrem em menor período de alagamento, quanto maiores forem as concentrações de Mn e matéria orgânica no solo (SOUSA et al., 2006). Conforme se observa no Apêndice 1, a análise de solo mostra que no ambiente de terras altas, havia maiores teores e concentrações iniciais de Mn e matéria orgânica.

Há evidências crescentes de que o B desempenha um papel na função da membrana plasmática. Em tecidos deficientes em B, a atividade da ATPase ligada à membrana plasmática e as taxas de absorção de íons são diminuídas. As membranas tornam-se permeáveis, mas podem ser rapidamente restauradas pelo suprimento deste nutriente (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). O acúmulo de B nos ambientes de maior disponibilidade hídrica indicam que os solos que passaram pelo processo de redução propiciaram maior absorção deste micronutriente, mesmo com a disponibilidade inicial muito superior que o ambiente de terras altas proporcionou (Apêndice 1).

4.3 Análise de Correlação

A altura de plantas correlacionou-se positivamente ($p < 0,01$) com muitos nutrientes, como P, K, S, Zn e Cu ($r = 0,85$; $r = 0,70$; $r = 0,73$; $r = 0,81$ e $r = 0,69$, respectivamente). Indício de que plantas com portes maiores tendem a estar com concentrações adequadas destes minerais. As cultivares utilizadas neste trabalho, assim como a maioria das cultivares utilizadas no país, são do tipo moderno. Pinheiro (2006) afirma que um dos argumentos fisiológicos utilizados para se justificar a seleção de plantas de porte mais baixo é que plantas mais altas, possuem maior proporção de tecidos não fotossintetizantes (bainhas e caules), devendo, portanto, apresentar maiores perdas de C fotossintético por respiração do que plantas de baixa estatura, além do maior acúmulo dos outros nutrientes nestes tecidos.

Para dias para floração e altura de plantas houve correlação positiva de $r = 0,76$ ($p < 0,01$), evidenciando uma tendência que entre os genótipos de portes mais altos, há menor duração do período vegetativo. Pinheiro (2010) em um trabalho com caracterização de genótipos e estimativa de parâmetros genéticos de características produtivas de sorgo

forrageiro, também encontrou na análise de correlação que genótipos de sorgo de maiores alturas, também obtiveram os maiores ciclos. Além disso, os teores dos nutrientes P e Zn também obtiveram forte correlação com dias para floração ($r = 0,77$ e $r = 0,70$, respectivamente) ($p < 0,01$), e também correlação entre eles ($r = 0,75$) indicando que as plantas que demonstraram maiores ciclos, tinham maiores concentrações destes nutrientes. O P é um elemento de extrema importância na nutrição do arroz, pois em quantidades abaixo das necessárias, afeta a absorção de N e K (DARIO; DARIO, 2015), fato que pôde ser observado neste trabalho, pois além das correlações positivas entre P x N e P x K, também houveram correlações positivas do Dias para Floração com N, P e K (Figura 3).

Além da forte correlação entre P e MS ($r = 0,70$), houve correlações, embora de menores magnitudes, com os outros macronutrientes requisitados em maiores quantidades pela planta, como o N e K, indicando que as plantas que acumularam maiores teores de matéria seca foliar, acumularam maiores teores destes nutrientes.

Nitrogênio e enxofre, segundo Taiz et al. (2017), são classificados como elementos que fazem parte de compostos de carbono. As plantas assimilam esses nutrientes via reações bioquímicas envolvendo oxidação e redução, formando ligações covalentes com C e criando compostos orgânicos como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos. Isso contribui para a forte correlação entre o acúmulo destes nutrientes ($r = 0,81$). Já o Cu, é agrupado no grupo dos nutrientes que participam de reações que envolvem transferência de elétrons (redox). As correlações do Cu com N ($r = 0,81$) e do Cu com S ($r = 0,90$), evidencia que os ambientes de solos que sofreram redução tiveram forte influência sobre estas correlações.

A correlação negativa entre os teores de Mn e Fe, evidencia que estes nutrientes possam estar causando algum grau de toxidez às plantas. Ambos elementos, em ambientes alagados são reduzidos de Mn (IV) e Fe (III) a Mn^{2+} e Fe^{2+} , o que pôde ser observado também na análise de variância (Tabela 6).

A correlação entre área foliar e área foliar específica com matéria seca possuem magnitudes opostas, o que já era esperado, pois a área foliar é inversamente proporcional a área foliar específica. As plantas que obtiveram maiores teores de matéria seca, eram as que possuíam maiores áreas foliares.

4.4 Índice de Plasticidade Fenotípica

A semelhança da plasticidade fenotípica entre os genótipos avaliados pode ser atribuída ao fato de que a planta de arroz é considerada uma espécie semiaquática e sua

evolução para terras altas é relativamente recente na escala evolutiva. Desta forma, é possível que, mesmo os genótipos adaptados ao ambiente de terras altas, possuam bons desempenhos em ambientes de maiores disponibilidades hídricas (PINHEIRO; STONE; DA SILVA, 2000). Análises bioquímicas, fisiológicas e anatômicas, podem contribuir com este trabalho, fornecendo mais parâmetros para a análise do índice de plasticidade em estudos posteriores.

As estimativas do índice de plasticidade entre as variedades para diferentes características é um indicativo de que a origem (pedigree) e ou o perfil de adaptação comum dos progenitores ao cultivo em várzea irrigada, contribui para uma capacidade de resposta semelhante entre as variedades utilizadas. Este resultado está de acordo com a expectativa de maior parentesco entre as variedades testadas.

4.5 Análise de Componentes Principais.

O maior número de variáveis agrupadas comuns para o ambiente de terras altas, (PC 1) se deve ao fato de que no programa de melhoramento genético de arroz de Minas Gerais, foi priorizado a seleção de materiais com características que melhor se adaptem a menores disponibilidades hídricas (SOARES et al., 2018). A importância que as variáveis relativas aos teores de B, Mn (PC 2), Fe e número de perfilhos (PC 3) tiveram para discriminar os ambientes de várzea úmida e várzea irrigada por inundação contínua, respectivamente, é devido a processo de redução destes solos, que torna a absorção destes nutrientes mais elevadas (SOUSA et al., 2006) e o maior número de perfilhos nestes ambientes. Como já abordado anteriormente, esta é uma estratégia das plantas para aumentar o contato com oxigênio atmosférico.

5. CONCLUSÃO

A plasticidade fenotípica entre as quatro cultivares de arroz foi semelhante para as plantas conduzidas nos sistemas de cultivo de terras altas, várzea úmida e irrigada. A plasticidade semelhante observada reflete a proximidade de pedigree ou potencial de adaptação semelhante dos parentais utilizados nos cruzamentos das cultivares utilizadas, implicando em sua proximidade genotípica e fenotípica. O conjunto de fatores relacionados ao ambiente de cultivo foi o principal componente para explicar o comportamento diferenciado das cultivares.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLARD, G.; NELSON, C. J.; PALLARDY, S. G. Shade Effects on Growth of Tall Fescue: I. Leaf Anatomy and Dry Matter Partitioning. **Crop Science**, v. 31, n. 1, p. 163–167, 1991.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação / Agência Nacional de Águas**. – Brasília: ANA, GGES, 93p. 2016.

BEAMAN J. E.; WHITE, C. R.; SEEBACHER, F. Evolution of plasticity: mechanistic link between development and reversible acclimation. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 31, p. 237–249, 2016.

BERLYN, G.P.; CHO, J. Light, moisture, and nutrient use by plants. In: ASHTON, M.S., MONTAGNINI, F. (Eds.) *The silvicultural basis for agroforestry systems*. Boca Raton: **CRC Press**, p.9-39, 2000.

BOTELHO, F. B. S.; SOARES, P. C.; CASTRO, A. P.; TORGA, P. P.; REIS, M. S.; RODRIGUES, C. S. Melhoramento genético do arroz em Minas Gerais: avanços e perspectivas. **Informe Agropecuário**, v. 39, p. 29–34, 2018.

BRADSHAW, A., D. Unravelling phenotypic plasticity—why should we bother?. **New Phytologist**, v. 170, n. 4, p. 644-648, 2006.

CAMARGO, F. A. de O.; SANTOS, G. de A.; ZONTA, E. Alterações eletroquímicas em solos inundados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 171-180. 1999.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377–2394, 2002.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira 2019/2020 N. 12|Setembro 2020. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2019/2020**, v. 7, p. 68, 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Acesso em: 15 de dezembro de 2020.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; NASCENTE, A. S.; ARF, O. Root distribution, nutrient uptake, and yield of two upland rice cultivars under two water regimes. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 1, p. 237–247, 2013.

CRUSCIOL, C. A.; ARF, O.; SORATTO, P. R.; ANDREOTTI, M. Produtividade do arroz de terras altas sob condições de sequeiro e irrigado por aspersão em função do espaçamento entre fileiras. **Agronomia**, v. 1, p. 10–15, 2003.

Da SILVA, L. S.; POCOJESKI, E.; RHODEN, A. C. Dinâmica de nitrogênio mineral após alagamento em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 583–590, 2011.

DARIO, G. A.; DARIO, I. S. N.. Adubação e correção da acidez. *In: Arroz do plantio à*

colheita. 1. ed. p. 122–134, 2015.

Dos SANTOS, A. B.; COSTA, J. D. Crescimento de arroz de sequeiro em diferentes populações e irrigação suplementar. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 32, n. 6, p. 591–599, 1997.

Dos SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; SANTOS, T. P. B. Índices Fisiológicos Do Arroz Irrigado Afetados Pela Inundação E Fertilização Nitrogenada. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 122–131, 2017.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de arroz (*Oryza sativa* L.) no Brasil (1986 a 2019): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2020. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 4 jan. 2021.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (Goiânia, GO). **Manual de métodos de pesquisa em arroz**. Goiânia, 106 p., 1977.

USDA, **United States Department of Agriculture**. Disponível em: <<http://www.usda.gov>>. Acesso em: 10 de out, 2020.

EVANS, D. E. Aerenchyma formation. **New Phytologist**, v. 161, n. 1, p. 35–49, 2004.

FALQUETO, A. R.; CASSOL, D.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; OLIVEIRA, A. C.; BACARIN, M. A. Crescimento e partição de assimilados em cultivares de arroz diferindo no potencial de produtividade de grãos. **Bragantia**, v. 68, n. 3, p. 563–571, 2009.

FAO. Impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition : A call for action to build resilient livelihoods. **FAO report**. p. 1–16, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i4434e.pdf>. Acesso em 15 de dezembro de 2020.

FRANÇA, M. G. C.; ARAÚJO, A. P.; ROSSIELLO, R. O. P.; RAMOS, F. T. Relações entre crescimento vegetativo e acúmulo de nitrogênio em duas cultivares de arroz com arquiteturas contrastantes. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 1, p. 43–49, 2008.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; VENTRELLA, M. C.; GRACEZ NETO, A. F.; ROCHA, G. C. Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436-1444, 2011.

GOOGLE EARTH. **Guia do usuário**. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/ptBR/userguide/v4/ug_toc.html>. Acesso em: 25 de agosto 2019.

GUIMARÃES, C. M.; Dos SANTOS, A. B.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; STONE, L. F. Sistemas de cultivo. *In*: DOS SANTOS, Alberto Baêta; STONE, Luís Fernando; VIEIRA, Nórís Regina de Almeida (org.). **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás, GO.: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 59–108.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. Efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e

rendimento de quatro cultivares de arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 2, p. 134–139, 2009.

HUANG, Y.; TONG, C.; XU, F.; CHEN, Y.; ZHANG, C.; BAO, J. Variation in mineral elements in grains of 20 brown rice accessions in two environments. **Food Chemistry**, v. 192, p. 873–878, 2016.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. 2020. Disponível em: <<http://https://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 Dez 2020.

JAGADISH, S. V. K.; CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.1627-1635, 2007.

KASSAMBARA, A., MUNDT, F. **Factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses**. *R Package Version 1.0.7*. Retrieved December 9, 2020, from <https://cran.r-project.org/web/packages/factoextra/index.html>.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas- Funções, Absorção e Mobilidade. **Informações agronômicas**, v. 118, n. 2, p. 1–24, 2007.

LEITE, J. G. D. B.; FEDERIZZI, L. C.; BERGAMASCHI, H. Mudanças climáticas e seus possíveis impactos aos sistemas agrícolas no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 2, p. 337–343, 2012.

LIN, C. H.; MCGRAW, M. L.; GEORGE, M. F.; GARRETT, H. E. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. **Agroforestry Systems**, v. 53, n. 3, p. 269–281, 2001.

LOBO, F. A.; ORTÍZ, C. E. R.; LUCENA, I. C.; ARDUIN, M. Efeito da irrigação e da ontogenia sobre a estimativa da área foliar de *Hancornia speciosa* Gomez (Mangabeira). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 754-762, 2010.

MACHADO, M. O. Caracterização e adubação do solo. In: EMBRAPA-CPATB. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação Cargill p. 129-179, 1985.

MALAVOLTA, E., HAAG, H. P., MELLO, F. D., BRASIL SOBRINHO, M. D. *Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas*, São Paulo: Pioneira, p. 99-108, 1974.

MARENGO, J. A.; DIAS, P. L. S. Mudanças climáticas globais e seus impactos nos recursos hídricos. **Águas doces no Brasil**, n. 3, p. 63–109, 2006.

MORAIS, O. P. et al. *BRSMG Curinga*: cultivar de arroz de terras altas de ampla adaptação para o Brasil. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, (**Comunicado técnico**, 114), 2005.

NAVES, M. M.; BASSINELO, P. Z. Importância na nutrição humana. In: **A Cultura do Arroz no Brasil**. p. 17–34, 2015.

NELSON, G. C. et al. Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 9, p. 3274–3279, 2014.

NICOTRA, A. B. et al. Plant phenotypic plasticity in a changing climate. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 12, p. 684–692, 2010.

NUGRAHA, Y.; VERGARA, G. V.; MACKILL, D. J.; BAGI, A. Response of Sub1 Introgression Lines of Rice to Various Flooding Conditions Respon Galur Padi Introgresi SUB1 terhadap Berbagai Kondisi Banjir. **Indones. J. Agric. Sci.**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 15–26, 2013.

OLIVOTO, T.; LÚCIO, A. D. metan: an R package for multi-environment trial analysis. **Methods Ecol Evol.** 11:783-789, 2020.

PERATA, P.; ALPI, A. Plant responses to anaerobiosis. **Plant Science**, v. 93, n. 1–2, p. 1–17, 1993.

PINHEIRO, B. S. Características morfofisiológicas da planta relacionadas à produtividade. In: DOS SANTOS, Alberto Baêta; STONE, Luís Fernando; VIEIRA, Noris Regina de Almeida (org.). **A Cultura do Arroz no Brasil**. 2. ed. Santo Antônio de Goiás, GO. p. 231–284, 2006.

PINHEIRO, B. S.; STONE, L. F.; Da SILVA, S. C. Minimização do risco por deficiência hídrica em arroz de sequeiro na região dos cerrados. **Circular Técnica**, v. 36, p. 40, 2000.

PINHEIRO, M. Characterization of genotypes and estimates of genetic parameters of productive traits for forage sorghum. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 4, p. 701–706, 2010.

PINTO, L.F.S. et al. Caracterização de solos de várzea. In: GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A. (Eds). **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.11-36, 1999.

RANNO, S. K.; SILVA, L. S.; GATIBONI, L. C.; RHODEN, A. C. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 21–28, 2007.

RCoreTeam. **R: A language and environment for statistical computing** (R version 3.6.1). Retrieved July 15, 2020, from <https://www.r-project.org/>.

SAHA, S.; ROY, A. Whole grain rice fortification as a solution to micronutrient deficiency: Technologies and need for more viable alternatives. **Food Chemistry**, v. 326, p 1-14, 2020.

SANGOI, L.; SCHWEITZER, C.; Da SILVA, F. P. R.; SCHMITT, A.; VARGAS, V. P.; TREZZI CASA, R.; ARRUDA, C. S. Perfilamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 6, p. 609–616, 2011.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, C. Manejo de água e de

fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 565–573, 1999.

SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. **Análise química de plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 56p. 1974.

SASIDHARAN, R. et al. Community recommendations on terminology and procedures used in flooding and low oxygen stress research. **New Phytologist**, v. 214, n. 4, p. 1403–1407, 2017.

SCHMIDT, F.; FORTES, M. A.; WESZ, J.; BUSS, G. L.; De SOUSA, R. O. Impacto do manejo da água na toxidez por ferro no arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1226–1235, 2013.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K.W. "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". **Nature Methods** 9, 671-675, 2012.

SOARES, P. C.; SOARES, A. A.; REIS, M. S.; CORNÉLIO, V. M. A.; CONDÉ, A. B. T. C.; TORGA, P. P. Adaptabilidade e aceitabilidade das cultivares de arroz recomendadas para Minas Gerais, por produtores, industriais e consumidores. **Informe Agropecuário**, v. 39, p. 35–46, 2018.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. **XXIX Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado**, 179 p, 2018.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. de O.; VAHL, L. C. Solos alagados: reações de redox. In: MEURER, E. J. (Org.). **Fundamentos de química do solo**. 3 ed. Porto Alegre: Evangraf, p. 185-211, 2006.

STEFFENS, B.; SAUTER, M. Epidermal cell death in rice is confined to cells with a distinct molecular identity and is mediated by ethylene and H₂O₂ through an autoamplified signal pathway. **Plant Cell**, v. 21, n. 1, p. 184–196, 2009.

STEFFENS, B.; WANG, J.; SAUTER, M. Interactions between ethylene, gibberellin and abscisic acid regulate emergence and growth rate of adventitious roots in deepwater rice. **Planta**, v. 223, n. 3, p. 604–612, 2006.

SUHRE, E.; CORDEIRO, A. C. C.; MEDEIROS, R. D. Avaliação de linhagens de arroz em diferentes sistemas de cultivo em várzea de Roraima. **Revista Agro@ambiente**, v. 2, n. 2, p. 1–9, 2008.

SUZUKI, A. Metabolism and physiology of sulfur. In: Food and Agriculture Policy Research Center. **Science of the rice plant - Physiology**. v.2. Tokyo, 1995.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TERRA, T. G. R.; LEAL, T. C. A. B.; BORÉM, A.; RANGEL, P. H. N. Tolerância de linhagens de arroz de terras altas à seca. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 43, n. 2, p. 201–208, 2013.

VAHL, L.C. Fertilidade de solos de várzea. In: GOMES, A.S. & PAULETTO, E.A., eds. **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas, Embrapa/CPACT, p. 119-162, 1999.

VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: Bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v. 94, n. 6, p. 1103–1116, 2006.

VELOSO, C. A. C.; BOTELHO, S. M.; LOPES, A. M.; CARVALHO, E. J. M.. **Nutrição mineral e adubação da cultura do arroz de sequeiro**. Belém, PA : Embrapa Amazônia Oriental, 29 p. 2009.

VIDAL, M. S.; CARVALHO, J. M. F. C.; MENESES, C. H. S. G. Déficit hídrico: aspectos morfofisiológicos. **Campina Grande: Embrapa Algodão**, 19 p. 2005.

VOESENEK, L. A. C. J.; BAILEY-SERRES, J. Flood adaptive traits and processes: An overview. **New Phytologist**, v. 206, n. 1, p. 57–73, 2015.

VOESENEK, L. A. C. J.; SASIDHARAN, R. Ethylene - and oxygen signalling - drive plant survival during flooding. **Plant Biology**, v. 15, n. 3, p. 426–435, 2013.

WAHL, S.; RYSER, P.; EDWARDS, P. J. Phenotypic plasticity of grass root anatomy in response to light intensity and nutrient supply. **Annals of Botany**, v. 88, n. 6, p. 1071–1078, 2001.

APÊNDICE

Apêndice 1. Análise química de solos nas camadas de 0 – 20 cm.

| Ambiente | pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H + Al | SB | t | T |
|----------|------------------|--------------------|----|------------------|-----------------------|------------------|--------|------|------|-------|
| | H ₂ O | mg/dm ³ | | | cmolc/dm ³ | | | | | |
| TA | 5,21 | 7,3 | 72 | 2,69 | 0,59 | 0,0 | 3,9 | 3,46 | 3,46 | 7,36 |
| VU | 5,21 | 5,5 | 23 | 1,09 | 0,27 | 0,2 | 2,6 | 1,42 | 4,02 | 35,30 |
| VI | 5,51 | 9,1 | 31 | 1,09 | 0,29 | 0,2 | 2,4 | 1,46 | 1,66 | 3,86 |

| Ambiente | V | m | MO | P-rem | S | B | Cu | Mn | Fe | Zn |
|----------|------|------|--------|-------|--------------------|------|--------------------|------|-------|------|
| | % | % | dag/kg | mg/L | mg/dm ³ | | mg/dm ³ | | | |
| TA | 47,0 | 0,0 | 2,56 | 27,7 | 7,3 | 0,35 | 1,73 | 16,3 | 77,7 | 3,18 |
| VU | 35,3 | 12,3 | 1,28 | 28,8 | 4,9 | 0,14 | 1,32 | 14,8 | 150,1 | 1,71 |
| VI | 37,8 | 12,0 | 1,15 | 32,5 | 5,7 | 0,04 | 1,41 | 11,6 | 236,8 | 1,34 |

TA: Terras Altas; VU: Várzea Úmida; VI: Várzea Irrigada por Inundação Contínua.

Apêndice 2. Resumo da Anova dos dados de peso de 100 grãos (P100), produtividade (Prod), altura de plantas (AP), dias para floração (DF), número de perfilhos (NP), matéria seca (MS), área foliar (AF) e área foliar específica (AFE) das quatro cultivares de arroz, cultivados em diferentes sistemas de cultivo.

| FV | GL | P100 | Prod | AP | DF | NP | MS | AF | AFE |
|--------------|----|-------|-------------------------|-------------------|--------|--------------------|-------|-----------|---------|
| Bloco | 2 | 0,00 | 1124649,5 | 67,8 | 0,0 | 2,9 | 0,0 | 88691,0 | 677,5 |
| Cultivar (C) | 3 | 0,07 | 1333770,3 ^{ns} | 86,8* | 100,9 | 3,4 ^{ns} | 0,5 | 249962,0 | 2643,5 |
| Ambiente (A) | 2 | 0,07 | 1888668,5 ^{ns} | 1170,1* | 1329,3 | 97,5* | 1,5 | 1025231,0 | 809,0 |
| CxA | 6 | 0,03* | 344731,2 ^{ns} | 2,1 ^{ns} | 223,9* | 18,4 ^{ns} | 1,0* | 601182,0* | 5685,0* |
| Resíduo | 22 | 0,01 | 688340,9 | 13,4 | 0,0 | 15,0 | 0,8 | 771568,5 | 6453,0 |
| CV (%) | | 3,09 | 30,26 | 3,78 | 0,00 | 30,90 | 23,70 | 30,81 | 12,29 |

* significativo em nível de 5% de probabilidade, ns: não significativo.

Apêndice 3. Resumo da Anova das variáveis nutricionais nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn) e boro (B) das quatro cultivares de arroz, cultivados em diferentes sistemas de cultivo.

| FV | GL | N | P | K | Ca | Mg | S | Cu | Fe | Zn | Mn | B |
|--------------|----|-------|-------|-------------------|------|-------------------|-------|-------|----------|--------------------|-----------|-------|
| Bloco | 2 | 15,3 | 0,3 | 1,1 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 12043,0 | 6,0 | 84807,5 | 2,4 |
| Cultivar (C) | 3 | 17,9 | 2,0 | 20,5* | 0,9 | 0,8* | 0,1 | 23,0 | 49240,5 | 134,8* | 193115,5 | 21,7 |
| Ambiente (A) | 2 | 271,3 | 15,7 | 22,1* | 3,1 | 3,3* | 2,7 | 248,2 | 505707,5 | 324,3* | 3788555,5 | 69,9 |
| CxA | 6 | 93,8* | 1,2* | 2,1 ^{ns} | 1,7* | 0,3 ^{ns} | 0,4* | 57,4* | 74667,0* | 22,8 ^{ns} | 714465,0* | 68,0* |
| Resíduo | 22 | 118,7 | 1,3 | 13,8 | 2,4 | 0,4 | 0,4 | 13,8 | 37000,5 | 131,6 | 405245,0 | 59,7 |
| CV (%) | | 14,33 | 13,51 | 6,50 | 9,57 | 12,86 | 11,62 | 18,79 | 26,53 | 21,39 | 25,58 | 25,72 |

* significativo em nível de 5% de probabilidade, ns: não significativo.