



**CAMILA SOARES CARDOSO DA SILVA**

**ESTRATÉGIA DE SELEÇÃO DE LINHAGENS DE ARROZ DE  
TERRAS ALTAS PARA QUALIDADE DOS GRÃOS**

**LAVRAS - MG  
2019**

**CAMILA SOARES CARDOSO DA SILVA**

**ESTRATÉGIA DE SELEÇÃO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS  
PARA QUALIDADE DOS GRÃOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/ Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Camila Soares Cardoso da.

Estratégia de seleção de linhagens de arroz de terras altas para  
qualidade dos grãos / Camila Soares Cardoso da Silva. - 2019.

67 p.

Orientador(a): Flávia Barbosa Silva Botelho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. *Oryza sativa* L. 2. Qualidade dos grãos de arroz. 3.  
Melhoramento genético. I. Botelho, Flávia Barbosa Silva. II. Título.

**CAMILA SOARES CARDOSO DA SILVA**

**ESTRATÉGIA DE SELEÇÃO DE LINHAGENS DE ARROZ DE TERRAS ALTAS  
PARA QUALIDADE DOS GRÃOS**

**SELECTION STRATEGY OF UPLAND RICE LINES FOR GRAIN QUALITY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 12 de julho de 2019

Dr. Adriano Teodoro Bruzi  
Dra. Priscila Zaczuk Bassinello

UFLA  
EMBRAPA

Profa. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2019**

*Deus, minha fortaleza*

*A minha mãe Leliane, minha irmã Ana Flávia, meu namorado Leandro, família,  
amigos, professores e colegas que me acompanharam em minha jornada de aprendizado.*

***Dedico***

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me abençoado sempre durante esta caminhada, me dando forças para seguir em frente e por permitir mais essa vitória.

A minha mãe Leliane e minha irmã Ana Flávia que sempre me incentivaram, apoiaram e me deram força para encarar todas as dificuldades ao longo da vida acadêmica. Sem vocês seria impossível chegar até aqui. Por todo amor e carinho, sou eternamente grata.

Ao meu namorado Leandro por todo o seu amor, companheirismo, apoio, incentivo, ajuda, paciência e compreensão ao longo dessa jornada, você é fundamental no meu dia a dia.

A minha família pelo apoio e confiança, principalmente minha avó Ivanilda pela preocupação e orações.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia pela oportunidade da realização do Mestrado e a Marli por sempre estar disposta a me ajudar.

A minha orientadora Prof. Dra. Flávia Barbosa Silva Botelho, a qual é um exemplo de profissional para mim. Agradeço pelos conselhos, oportunidades oferecidas, conhecimentos transmitidos, confiança na realização deste trabalho e, sobretudo, amizade cultivada.

A Pesquisadora da Embrapa Arroz e Feijão, Dra. Priscila Zaczuk Bassinello que me recebeu de portas abertas para realização de parte do meu projeto de dissertação na Embrapa, por todos os conhecimentos transmitidos, toda atenção disponibilizada e ajuda prestada.

Ao Pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Dr. Adriano Castro pelas contribuições.

Ao Prof. Dr. Márcio Balestre e seu orientado Cristian pelo apoio nas análises estatísticas.

Aos demais Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia da Universidade Federal de Lavras pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas da equipe do Melhor Arroz e Laboratório de Grãos e Subprodutos da Embrapa Arroz e Feijão que me ajudaram na condução dos meus experimentos, por todos os ensinamentos adquiridos, oportunidades de crescimento pessoal e profissional, atenção e amizade, especialmente Cinthia, Laís, Amanda, Isabela, Neto, Douglas, Olívia, Dayse, Juliana e Suely.

Aos funcionários da EPAMIG, em especial Janir, pela ajuda e disposição na condução dos experimentos.

As minhas amigas da República Poucas & Boas pela amizade verdadeira, apoio e por tantos momentos divertidos que passamos juntas.

A todos os meus amigos, presentes ou distantes, pela amizade, confiança e torcida.

Aos membros da banca examinadora pelas contribuições para este trabalho.

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

Á todos aqueles que contribuíram de alguma forma, para a minha formação e essa conquista.

**OBRIGADA!**

## RESUMO

A avaliação conjunta de todas as características relacionadas à qualidade dos grãos em um programa de melhoramento genético de plantas é de fundamental importância para a melhor seleção das linhagens. Contudo, este é um processo difícil devido à complexidade natural destes caracteres e ao número de componentes a serem trabalhados. Neste sentido, objetivou-se avaliar os caracteres da qualidade industrial, física, química e culinária dos grãos de arroz de terras altas, identificando um número menor de fatores que represente a quantidade de caracteres avaliados para, posteriormente serem verificadas a existência de um caráter principal de qualidade dos grãos. Esse caráter poderá ser utilizado na seleção indireta de outras características de importância e auxiliar na seleção de genótipos com qualidade desejável nos grãos em etapas iniciais dos programas de melhoramento. Foram avaliados 24 genótipos e três cultivares testemunhas pertencentes ao ensaio de VCU (Valor de Cultivo e Uso) do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da UFLA em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e EPAMIG. Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Lavras-MG, Lambari-MG e Registro-SP, nas safras 2016/17 e 2017/18. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições e parcelas constituídas por cinco linhas de quatro metros. Foram avaliadas as seguintes características: renda, rendimento dos grãos, gessamento, dimensão do grão, teor de amilose aparente, temperatura de gelatinização, teste de cocção, análise de textura instrumental (Pegajosidade e Dureza), índice de absorção de água e coeficiente de expansão de volume. Com os valores mensurados, foram obtidas a análise conjunta e análise de componentes principais para todos os caracteres. Posteriormente, fizeram-se correlações fenotípicas e análises de trilha dos caracteres que mais se destacaram na ACP. Concluiu-se que os caracteres de qualidade industrial, física, química e culinária dos grãos foram diferenciados em seis grupos distintos o qual o melhorista deverá concentrar a seleção. DG, IAA e GES atuam de maneira independente, devendo o melhorista realizar a seleção direta visando obter ganhos genéticos para tais caracteres. TA e TG estão altamente associadas, podendo utilizar um desses caracteres visando à seleção indireta no outro.

**Palavras-chave:** *Oryza sativa* L. Qualidade dos grãos de arroz. Melhoramento genético. ACP. Correlação fenotípica.



## ABSTRACT

The joint evaluation of all characteristics related to grain quality in a breeding program has fundamental importance for the best selection of lines. However, this is a difficult process due to the natural complexity of these characters and the number of components to be worked on. In this sense, the aim in this study was to evaluate the characteristics of the industrial, physical, chemical and culinary quality of upland rice grains, identifying a smaller number of factors that represent the number of characters evaluated to verify later the existence of a main character of grain quality. This character may be used in the indirect selection of other important traits and assist in the selection of genotypes with desirable quality in the grains in the initial stages of breeding programs. Twenty four genotypes and three control cultivars belonging to the VCU (Value for Cultivation and Use) assay of UFLA highland rice breeding program in partnership with Embrapa Rice and Beans and EPAMIG were evaluated. The experiments were conducted in Lavras-MG, Lambari-MG and Registro-SP in the crop year of 2016/17 and 2017/18. The experimental design used was the randomized block design with three replications and plots consisted of five rows, and each row had four meters. The following characteristics were evaluated: milling grains (MG), hulling grains (HG), chalkiness (CH), L/B ratio (LB), amylose content (AC), gelatinization temperature (GT), cooking time (CT), instrumental texture analysis (ITA), water absorption index (WAI), and volume expansion coefficient (VEC). With the measured values, were obtained the joint analysis and the principal component analysis for all the characters. Afterwards, phenotypic correlations and the path analysis of the characters that stood out most in the PCA was carried out. It was concluded that the characters of industrial, physical, chemical and culinary quality of the grains were differentiated into six distinct groups in which the breeder should concentrate the selection. LB, WAI and GC act independently, and the breeder should perform the direct selection in order to obtain genetic gains for such characters. AC and GT are highly associated, being able to use one of these characters for indirect selection in the other.

**Keywords:** *Oryza sativa* L. Grain quality rice. Breeding. PCA. Phenotypic correlation.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	11
2.1	Importância, produção e consumo do arroz .....	11
2.2	Qualidade industrial, física, química e culinária dos grãos de arroz .....	13
2.2.1	Qualidade industrial.....	14
2.2.2	Qualidade física .....	16
2.2.3	Qualidade química e culinária .....	18
2.3	Melhoramento genético visando qualidade dos grãos de arroz .....	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1	Locais.....	26
3.2	Genótipos.....	28
3.3	Condução dos experimentos .....	29
3.4	Características avaliadas .....	30
3.4.1	Renda (REN).....	31
3.4.2	Rendimento (RDT) .....	31
3.4.3	Gessamento (GES).....	31
3.4.4	Dimensão do grão (DG) .....	32
3.4.5	Teor de Amilose Aparente (TA).....	32
3.4.6	Temperatura de gelatinização (TG) .....	33
3.4.7	Teste de cocção.....	34
3.4.7.1	Tempo mínimo de cozimento (TMC).....	34
3.4.7.2	Índice de absorção de água (IAA).....	35
3.4.7.3	Coefficiente de expansão de volume (CEV).....	35
3.4.8	Análise de textura instrumental (dureza (DUR) e pegajosidade (PEG)) .....	36
3.5	Análise de dados .....	36
4	RESULTADOS.....	38
5	DISCUSSÃO .....	49
6	CONCLUSÕES .....	54
	REFERÊNCIAS .....	56
	ANEXO 1.....	64
	ANEXO 2.....	65

## 1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das espécies mais cultivadas no mundo. É um alimento energético, podendo ser também fonte de proteínas, minerais e vitaminas do complexo B, especialmente na forma de integral. Representa 20% da ingestão de calorias diárias que o ser humano necessita. Os países asiáticos consomem 50% do arroz produzido no mundo e além da Ásia, o arroz também faz parte da dieta dos países em desenvolvimento, sendo, portanto, um alimento básico de mais da metade da população mundial (FAO, 2018; LIMA et al., 2019).

A produção mundial estimada do grão na safra 2018/2019 foi de 491,14 milhões de toneladas, sendo o Brasil responsável pela produção de 12 milhões de toneladas (CONAB, 2018), classificando-se como o maior produtor de grãos de arroz fora do continente asiático.

Este cereal é comercializado preferencialmente na forma de grão e, garantir a alta qualidade deste produto resulta em um melhor valor final da saca do cereal no mercado, bem como, na sua aceitação pelo consumidor. Entretanto, não há uma definição concreta de qualidade dos grãos de arroz, pois as preferências quanto ao tipo de grão e aparência antes e após o cozimento variam de acordo com a região/país, em que cada um possui um mercado que exige padrões de qualidade que devem ser cumpridos (HUANG et al., 2013).

A qualidade dos grãos de arroz é influenciada em toda a cadeia produtiva da cultura, composta pelo produtor, indústria e o consumidor final (BERGMAN, 2019). Além da qualidade afetar no valor do produto no mercado, ela também afeta na adoção de novas cultivares e aceitação do produto final pelo consumidor.

No Brasil, a preferência do grão em relação à qualidade industrial é definida pela alta porcentagem de grãos inteiros após o beneficiamento associada ao curto tempo de maturação pós-colheita. Para qualidade física é desejável que o grão seja longo-fino, para isso, o resultado da razão comprimento e espessura dos grãos deve ser maior que 2,75 mm, e que os grãos sejam translúcidos e por fim, para a qualidade culinária é desejável que os grãos cozidos sejam secos e soltos, possua bom rendimento de panela, cozimento rápido e mantenham a maciez após o resfriamento e reaquecimento (MILANI et al., 2017).

Contudo, os fatores que controlam a qualidade culinária estão relacionados às características físico-químicas do grão, como o teor de amilose aparente e a temperatura de gelatinização. Esclarecer o comportamento dessas características é importante para entender

como os grãos reagem durante o processo de cocção, já que o amido está diretamente relacionado com a textura e dureza do grão e a temperatura de gelatinização mede a resistência do grão na cocção (BERGMAN, 2019).

A avaliação conjunta de todas as características relacionadas à qualidade dos grãos em um programa de melhoramento genético de plantas é de fundamental importância para a melhor seleção das linhagens. Porém, o melhoramento visando obtenção de genótipos com alta qualidade de grãos é um processo difícil devido à complexidade natural destes caracteres, a interação genótipo e ambiente e ao número de componentes a serem trabalhados, incluindo as propriedades relacionadas à aparência dos grãos e de qualidade culinária (GOLAM; PODHAN, 2013).

Desta forma, quando há um número grande de genótipos em um programa de melhoramento genético, a realização destas diversas análises mencionadas referentes aos caracteres de qualidade de grãos, torna-se onerosa, demanda muita mão-de-obra especializada e torna-se inviável de realizar em laboratórios. Assim, reduzir o número de características a serem avaliadas por meio do estudo da existência de correlações genéticas entre elas permitiria a seleção de genótipos de forma mais eficiente e, também, em estágios iniciais de um programa de melhoramento.

Logo, utilizar-se de ferramentas estatísticas que possam contribuir na tomada de decisão do pesquisador, como o emprego da análise de componentes principais e a análise de trilha, permitindo estudar os efeitos diretos e indiretos que atuam sobre os caracteres, auxilia, sobremaneira, na constatação do comportamento e associação entre as características (HAIR JUNIOR et al., 2009; JOHNSON; WICHERN, 2007; LI et al., 2013).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar os caracteres da qualidade industrial, física, química e culinária dos grãos de arroz de terras altas, visando identificar um número menor de fatores que represente os caracteres de qualidade dos grãos. Posteriormente, associar aqueles caracteres que se destacarem de modo a auxiliar na seleção indireta de genótipos principalmente os que se encontram em etapas iniciais dos programas de melhoramento.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Importância, produção e consumo do arroz**

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um cereal de grande importância na alimentação mundial, é essencial para a segurança alimentar e nutricional de mais da metade da população mundial.

No Brasil, o arroz juntamente com o feijão, é a principal fonte de energia e proteína para a população. A produção mundial de arroz beneficiado na safra 2018/19 foi de 491,14 milhões de toneladas, a China e a Índia destacam-se como maiores produtores de arroz mundiais, sendo o primeiro e o segundo lugar em produção respectivamente, representando 50% da produção mundial desse grão (FANG, et al., 2014; SILVA; PAIM; SILVA, 2018). Já o Brasil na safra 2018/19 foi o maior produtor do MERCOSUL, o nono produtor de arroz no ranking mundial e maior produtor fora do continente asiático, com produção de 7,48 milhões de toneladas equivalente a 1,5% da produção mundial (CONAB, 2019a).

O cultivo do arroz no Brasil acontece em ambientes de várzea e terras altas. Em várzeas o arroz é cultivado em sistemas irrigados ou em terrenos onde a cultura é irrigada por alagamento contínuo ou controlado. O arroz de terras altas ou sequeiro depende da precipitação pluvial ou irrigação suplementar para a disponibilidade de água para a cultura (COLTRO et al., 2017).

Em número de estados, o arroz de terras altas é o mais representativo, porém, quanto ao volume produzido, o arroz inundado é principal. Entre os estados, que se destacaram como maiores produtores na safra 2018/19 tem-se o Rio Grande do Sul com 70,2% da produção, seguida de Santa Catarina com 10,3% produção, Tocantins 5,8%, Mato Grosso 4,7% e Maranhão com 1,6% da produção nacional (CONAB, 2019b). Desses grãos produzidos na safra 2018/19, 11.200 mil toneladas foram utilizadas para o abastecimento do consumo interno e 900 mil toneladas foram destinados à exportação, sendo os principais destinos os países pertencentes a nações africanas e latino-americanas (CONAB, 2019c).

Diferentemente de outros cereais como o milho e trigo que são utilizados mais como produtos processados, o arroz é consumido preferencialmente na forma de grão. Contudo, a preferência quanto ao tipo de grão e aparência antes e após o cozimento variam de acordo com a região/país, em que cada um possui um mercado que exige padrões de qualidade que devem ser cumpridos fazendo com que não haja uma definição concreta de qualidade dos grãos de arroz (HUANG et al., 2013).

No continente africano, os países que possuem o hábito de consumir arroz em sua alimentação, tendem a consumir grãos da espécie *Oryza glaberrina*, conhecido como arroz nativo da África, cujos grãos possuem a casca avermelhada, tamanho pequeno comparado a da espécie *Oryza sativa*, e com tendência a quebra. Posteriormente, aquele arroz foi substituído pelo arroz da espécie *Oryza sativa*, trazido pelos comércios árabes. Contudo, o consumo de arroz quebrado permaneceu o mesmo após a troca de espécies no cultivo, devido a facilidade de manejo da espécie e o perfil do consumidor não ter se alterado (CARNEY;

MARIN, 2013). Já os países latino-americanos e alguns países asiáticos como Tailândia, Afeganistão, Paquistão e Índia consomem o arroz da espécie *Oryza sativa* e preferem grãos longos, finos e translúcidos, e após a cocção devem apresentar o grão solto (GOLAM; PRODHAN, 2013). No Japão, são escolhidos os grãos curtos e largos, estes possuem baixos teores de amilose e proteína, com isso ficam mais pegajosos após a cocção (CALINGACION et al., 2014; ZHOU et al., 2002).

No Brasil, as três principais formas de consumo de arroz beneficiado são 88,8% arroz do tipo polido; 9,4% arroz parboilizado polido e 1,5% arroz integral (FERREIRA; FIGUEIREDO; LUZ, 2018). No entanto há um crescimento do consumo de outras variedades, como o arroz vermelho, preto, aromático e os grãos de baixo teor de amilose. Embora o arroz branco polido seja o mais consumido e importante comercialmente, as outras variedades de arroz vêm ganhando espaço do mercado, especialmente porque os consumidores vêm adquirindo uma alimentação mais saudável e procurando alimentos que sejam mais ricos em nutrientes (VILLANOVA et al., 2017).

## **2.2 Qualidade industrial, física, química e culinária dos grãos de arroz**

A qualidade dos grãos de arroz depende da interação mútua da cadeia produtiva da cultura, sendo composta pelo melhorista, orizicultor, indústria e o consumidor final (BERGMAN, 2019).

Esta qualidade reflete diretamente no valor deste cereal no mercado e na aceitação deste produto pelo consumidor. Apesar disso, não há uma definição concreta de qualidade em função da cultura de algumas regiões. As preferências em relação ao tipo de grão, aroma e aparência antes e após o cozimento variam de acordo com a região/país, a qual cada uma possui um mercado que exige padrões de qualidade que devem ser cumpridos. (FITZGERALD; MCCOUGHT; HALL, 2009; HUANG et al., 2013). Além dessas características mencionadas acima que estão ligadas ao consumo, e os grãos cozidos, também são consideradas características relacionadas à aparência dos grãos crus, tornando assim, os caracteres referentes à qualidade dos grãos de arroz muito complexas.

O consumidor brasileiro procura em relação à qualidade industrial, física e culinária um produto que possua alta porcentagem de grãos inteiros no beneficiamento, grão longo – fino mais conhecido como tipo “agulhinha”, translúcidos e por fim, após o cozimento comportem-se com os grãos secos e soltos, possua bom rendimento de panela, cozinhem rápido e mantenham a maciez após o resfriamento (MILANI et al., 2017).

Desse modo, várias características de qualidade devem ser estimadas para a seleção de linhagens superiores, a fim de obter cultivares modernas que tenham aceitação em toda a cadeia produtiva do arroz, principalmente pelo consumidor, além disso desenvolver cultivares de arroz com alta qualidade gera altos retornos econômicos (SON et al., 2014).

Diante disso, os principais componentes ligados à qualidade dos grãos de arroz podem ser definidos como: industrial, física, química e culinária (CALINGACION et al., 2014).

### **2.2.1 Qualidade industrial**

A qualidade industrial é o conjunto de ações isoladas de colheita, secagem, industrialização e armazenamento que contribui para a alta porcentagem de grãos inteiros no final do beneficiamento (GOES et al., 2016). Com essas ações bem executadas, é possível alcançar altos valores no mercado, uma vez que os índices de quebra durante o processamento de grãos afetam no valor final do produto no mercado.

O preço do arroz depende da oferta dos grãos em cada safra, níveis de estoques públicos e privados e pela eficiência em todas as operações realizadas. Além disso, este preço também é definido por meio da política de garantia de preços mínimos, onde o governo é responsável por assegurar o atendimento das necessidades básicas da sociedade, estimulando os mecanismos de mercado. Para isso há um preço mínimo fixo para as safras dependendo da oferta e procura pelo produto (CONAB, 2019d; SARAIVA et al., 2014).

Segundo a legislação brasileira, o cálculo deste valor é definido pelo coeficiente de valorização. O preço final baseia-se na renda e no rendimento mínimo exigido pelo governo brasileiro, 68% para o rendimento de benefício, sendo que 40% de grãos inteiros e 28% de grãos quebrados e quimeras. Abaixo desses valores, considera-se que o produto está fora das exigências e automaticamente não é comercializado, então quanto maior a porcentagem de grãos inteiros que o produtor conseguir na safra, maior será o valor que conseguirá em cada saca vendida. Essas políticas agrícolas são mecanismos que buscam garantir uma receita mínima ao produtor, com a finalidade de assegurar o abastecimento inteiro de alimentos (ADAMI; MIRANDA, 2011; BRANDÃO; CONTREIRA; CAIRES, 2016)

A maioria dos consumidores de arroz prefere um produto uniforme, ou seja, com baixa quantidade de grãos quebrados e/ou danificados. O sucesso para o alto rendimento de grãos está relacionado à escolha correta da cultivar, adubação, métodos de colheita, pós - colheita e condições climáticas favoráveis após a floração. Por este motivo, é necessário que os produtores e cerealistas executem o manejo de forma adequada nas fases de crescimento e

desenvolvimento do arroz, para que no final do beneficiamento obtenham bons rendimentos de grãos inteiros (QIAN et al., 2016). Outras características do grão de arroz podem influenciar na percentagem de rendimento: as particularidades atribuídas à casca (glumas: pálea e lema) com a sua coloração e pubescência podem causar danos a esta fase, formato do grão, dureza, aparência do endosperma, secagem, o teor de umidade na época da colheita e o déficit hídrico na fase de enchimento de grãos podem provocar danos (MINGOTTE; HANASHIRO; FORNASIERI FILHO, 2012).

Valores de umidade inadequados podem depreciar a qualidade do grão, segundo Londero et al. (2015), o ideal é que a colheita seja efetuada com os grãos com umidade entre 20 e 24%. A colheita tardia ocasiona degrane natural, perdas por acamamento e redução no rendimento de grãos inteiros. Já a colheita antecipada eleva a ocorrência de grãos verdes, gessados e malformados, sendo estes os mais suscetíveis à quebra. A falta de água suficiente nas fases de emissão de panícula e enchimento de grãos aumenta a quantidade de grãos chochos e gessados, estes últimos são indesejados, pois também aumenta a quebra de grãos na fase do beneficiamento (CRUSCIOL et al., 2008; PANDEY et al., 2014).

O processo de beneficiamento do arroz consiste nas etapas pré-limpeza, descascamento, polimento e classificação dos grãos em inteiros e quebrados (FRANCO et al., 2013; LORENZETT; NEUHAUS; SCHWAB, 2012).

- a) A pré-limpeza é realizada por meio de uma peneira, onde há a separação de impurezas provenientes da colheita dos grãos, como pedras, palha, talo da planta e torrão de terra.
- b) A secagem dos grãos pode ser feita de maneira natural ou artificial, até que os grãos estejam com a umidade adequada de 12 % a 13%. A secagem natural faz com que os grãos sejam secos por meio da ação do sol e vento e a secagem artificial consiste no aquecimento do ar e movimentação das sementes com o uso de secadores.
- c) A armazenagem dos grãos pode ser feita de duas formas: a granel ou com o uso de sacarias. Pode ser feito em condições ambientais sem alteração do ar e com fluxo de ar. Preferível que a umidade do grão esteja a 13%.
- d) O descascamento é a etapa da retirada das glumelas por dois metálicos roletes revestidos de borracha girando em direções opostas e com velocidades diferentes.
- e) O brunimento é a etapa seguinte, com os grãos já descascados estes são lixados por rolos de pedras de esmeril e pode ou não ocorrer o polimento destes grãos, transformando o arroz em estado integral para o polido.



- f) A última etapa consiste na classificação dos grãos, separando os grãos inteiros que possuem valor comercial. Para isso, colocam-se os grãos em “trieurs” onde ocorre a separação de grãos inteiros e quebrados.

Posteriormente, os grãos para serem comercializados devem seguir padrões nacionais de classificação, de acordo com a Instrução Normativa nº6/2009 (BRASIL, 2009). Nesta instrução há normas de identidade da espécie, requisitos de qualidade em conformidade com o beneficiamento, embalagem e apresentação do arroz. Por meio destes padrões contribui-se para a valorização ou desvalorização do preço final do produto.

Deste modo, o arroz é classificado em dois grupos: arroz em casca e arroz beneficiado. O arroz em casca é subdividido em natural e parboilizado e, o beneficiado é subdividido em arroz polido, integral, parboilizado integral e polido. Todos estes tipos são comercializados de acordo com classes, tipos, limpeza, uniformidade e pureza.

As classes estão divididas em quatro categorias: longo-fino, longo, médio e curto e são baseadas através das dimensões dos grãos após o descascamento e polimento. Além da classe, todos os grãos destinados à comercialização devem ser agrupados em tipos, tipo 1 a 5 ou fora de tipo e desclassificado. A seleção é definida de acordo com o percentual de defeitos e quimeras, quantidade de impurezas, grãos mofados e ardidos. O tipo 1 é considerado o melhor, possui 90% de grãos inteiros e sem a presença de gessamento, já o tipo 5 dispõe de alta percentagem de grãos mofados e ardidos, impurezas e mais de 50% de grãos quebrados.

### **2.2.2 Qualidade física**

A qualidade física dos grãos de arroz integra características referentes à aparência do grão, como a relação entre comprimento e espessura do grão (C/E), volume, cor, formato, densidade e a incidência de gessamento nos grãos (BHATTACHARYA, 2011). Dentre essas características citadas, o programa de melhoramento genético da UFLA em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Epamig objetivam trabalhar com as características dimensão do grão e gessamento, devido a sua importância para o produtor, indústria e o consumidor.

O tamanho dos grãos de arroz é a razão entre comprimento e espessura dos grãos já beneficiados, esta característica é controlada por vários genes em diferentes vias de sinalização (WANG et al., 2018). Atualmente, diversos genes e *loci* de características quantitativas (*quantitative trait loci*) relativos à dimensão dos grãos já foram identificados (DUAN et al., 2017; HUANG et al., 2013; ZUO; LI, 2014). Além disso, esta característica

também é influenciada pelo ambiente como o manejo realizado na lavoura e do grau de maturação na colheita.

Os dados da dimensão do grão podem ser coletados manualmente usando paquímetros ou utilizando o auxílio da análise de imagem para acelerar o processo de medição. Usando estes métodos os grãos podem ser agrupados e classificados conforme os padrões definidos pelo MAPA (BRASIL, 2009). Os grãos de arroz após o beneficiamento são classificados como longo-fino ( $C \geq 6$  mm;  $E \leq 1,85$  mm;  $C/L > 2,75$ ), longo ( $C \geq 6$ mm), médio ( $C < 6$ mm e  $\geq 5$ mm) e curto ( $C < 5$ mm).

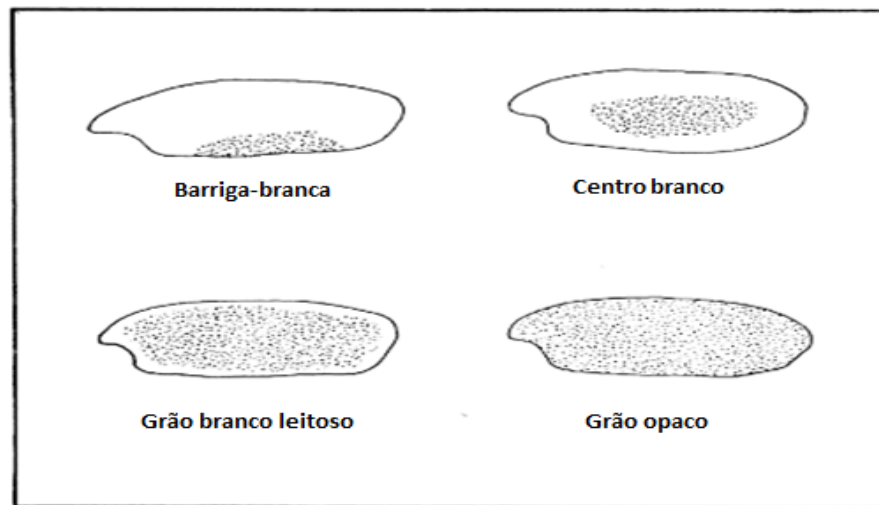
No Brasil, o valor desejável dessa dimensão C/L é que seja maior que 2,75 mm e para que isto aconteça, é necessário no mínimo que o comprimento seja maior que 6 mm e a espessura seja menor que 1,85mm, característica dos grãos longos finos, também conhecidos comercialmente como grão tipo agulhinha (ELIAS; OLIVEIRA; VANIER, 2012).

Em muitos grãos, a translucidez é interrompida por áreas opacas no endosperma denominadas gessamento. O gessamento de grãos é uma característica complexa controlada por poligenes e muito afetada pelas condições ambientais (SCREENIVASLU et al., 2015; ZHAO et al., 2016). Londero et al. (2015) relataram que a transparência final e a área gessada são fatores determinados pelos fotoassimilados acumulados durante todo o período de desenvolvimento da planta, principalmente na fase de enchimento de grãos. Além dos efeitos genéticos, vários outros fatores ambientais influenciam diretamente na formação dos grãos gessados, como o cultivo em altas temperaturas, principalmente na fase de enchimento de grãos, colheita dos grãos imaturos, déficit hídrico na fase reprodutiva, pragas e doenças.

Há quatro classificações para gessamento de acordo com a posição em que se encontra a parte opaca no grão (IRRI, 1975) (FIGURA 1).

- a) Centro branco: possui área gessada no centro do grão.
- b) Barriga branca: possui área gessada do lado ventral, a qual pode ser muito pequena ou muito grande, podendo cobrir 75% ou mais da área do grão.
- c) Grão branco leitoso: área de gessamento ocupa todo o grão menos nas partes periféricas.
- d) Grão opaco: são grãos imaturos que se formaram pela interrupção na fase de enchimento de grãos, ou foram formados tarde demais.

Figura 1- Classificação dos grãos gessados.



Fonte: Ikehashi e Khush, 1979

Este fenômeno é causado por espaços aéreos entre os grânulos de amido, ou por uma acomodação mais frouxa entre os grânulos de amido e proteína. Esses espaços difratam e difundem a luz, tornando o aspecto visual do grão opaco. O gessamento não é apenas uma característica indesejável visualmente, mas sim porque causa um aumento na incidência de porcentagem de grãos quebrados, como resultado, deprecia o valor final do produto; modifica os atributos do amido e influencia na qualidade culinária (ZHOU et al., 2015). Isto acontece, pois, os espaços de ar nos grãos gessados possibilitam o fácil quebraimento no momento do beneficiamento. Por isso, os grãos translúcidos são os mais procurados pela indústria arroseira e pelos consumidores. (FITZGERALD, 2017).

Segundo Xi et al. (2016) além das áreas opacas existentes no endosperma dos grãos gessados, os amidos deste tipo de grão são compostos por menores quantidades de amilose e maior quantidade de amilopectina de cadeia ramificada mais curta, em comparação com os amidos de grãos translúcidos. Estudos realizados por Qiao et al. (2011) e Xi et al. (2014) comprovaram que há diferença no teor de proteína de um grão com centro branco, de um com barriga branca e do translúcido, comprovando que há diferença na qualidade culinária e nutricional de um grão gessado em relação a um grão translúcido.

### 2.2.3 Qualidade química e culinária

As qualidades química e culinária são influenciadas pelo manejo no campo, ambiente, processos pós-colheita e, sobretudo por fatores genéticos, pois cada cultivar contém diferentes proporções de amilose, amilopectina, proteínas e lipídeos, os quais afetam a estrutura do grão

e o seu desempenho na cocção (KAMINSKI et al., 2013; SIMONELLI; ABBIATI; CORMEGNA, 2016).

Os nutrientes encontrados nos grãos não estão distribuídos uniformemente, encontram-se nas camadas externas, maiores concentrações de proteínas, lipídeos, fibras, minerais e vitaminas e o endosperma constitui-se em sua maioria por amido e em menor quantidade a proteína (HOSENEY, 2013). Outros fatores que também podem influenciar na composição química, comportamento culinário e no valor nutricional final dos grãos são os diferentes processos de beneficiamento e o grau de polimento. Contudo, a escolha de cada processo depende da preferência do consumidor final (STORCK; SILVA; COMARELLA, 2009; VANIER et al., 2015).

O consumidor brasileiro tem preferência por um produto que apresenta bom rendimento de panela, cozimento rápido, grãos secos, intensidade no aroma, grãos soltos após o cozimento e que permaneçam macios após o resfriamento e reaquecimento. Todos esses aspectos dependem do genótipo, ambiente e interação genótipo x ambiente. Mesmo que um produto apresente alto desempenho na indústria de beneficiamento este será descartado caso não possua adequada qualidade culinária (CASTRO; FERREIRA; MORAIS, 2003).

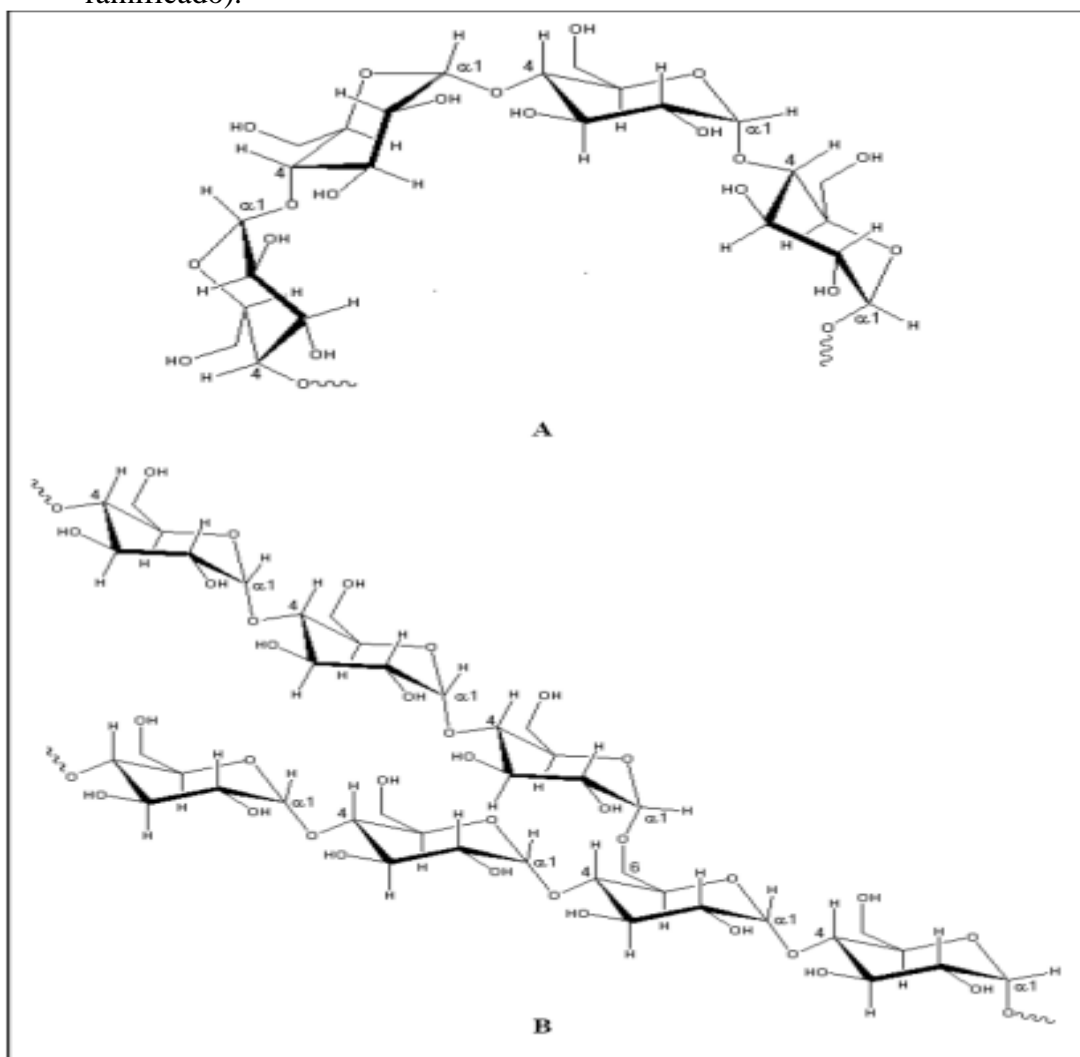
Os fatores que controlam o comportamento culinário estão relacionados às características físico-químicas do amido como, teor de amilose aparente (JULIANO, 1985) e temperatura de gelatinização (LITTLE; HILDER; DAWSON, 1958). O teor de amilose é considerado uma das características mais importantes para avaliar o comportamento de cozimento de arroz, pois este afeta diretamente na textura e dureza do grão (ASCHERI et al., 2012). O amido é um carboidrato de reserva encontrado em diversas espécies vegetais, principalmente em grãos de cereais, tubérculos, leguminosas e frutas. Este carboidrato é um homopolissacarídeo composto por cadeias de amilose e amilopectina e também pode conter lipídeos, proteínas, enzimas, ácidos orgânicos e cloratos em menor quantidade.

A estrutura do amido influencia na sua própria digestibilidade. O amido compreende dois tipos de moléculas: amilose e amilopectina. A amilose é uma estrutura polimérica de glicose unida por ligações glicosídicas em  $\alpha$ -(1,4), formando uma cadeia linear. Já a amilopectina é um polímero de glicose muito ramificado e é formada por cadeias de resíduos de  $\alpha$ -Dglicopiranosose unidas a  $\alpha$ -(1,4) e  $\alpha$  (1,6) (FIGURA 2) (DENARDIN; SILVA, 2009; VAMADEVAN; BERTOFT; SEETHARAMAN, 2013).

A proporção de amilose no grão pode afetar suas propriedades físico-químicas, uma vez que com maior conteúdo de amilose e mais amilopectina de cadeia longa, o grão tende a ter propriedade de dureza após o cozimento, enquanto que arroz com baixo conteúdo de

amilose e amilopectina de cadeia curta tende a ter textura macia após cozimento. As características como: maciez, brilho, cor, índices de absorção de água, expansão no volume na panela e textura são dependentes da razão amilose/amilopectina, sobre este último, outro fator que afeta além da amilose são as consistências dos géis (FITZGERALD; MCCOUCH; HALL, 2009). De acordo com Pérez e Bertoft (2010) a amilose tem alta tendência para produzir géis duros e é menos estável. Ao contrário, a amilopectina dispersa em água, é mais estável e produz géis mais moles.

Figura 2 - A) Estrutura da amilose (polímero linear) e B) Estrutura de amilopectina (polímero ramificado).



Fonte: Denardin e Silva, 2009.

Portanto, ter a quantidade certa de amilose e amilopectina no grão é fundamental, sendo a amilose responsável pelo êxito no processo de cocção e a amilopectina influencia na temperatura de gelatinização (MINGOTTE; HANASHIRO; FORNASIERI FILHO, 2012). Por esse motivo, a amilose é usada em fases iniciais dos programas de melhoramento para

seleção ou descarte de materiais. De acordo com a quantidade de amilose presente nos grãos, estes podem ser classificados em: (JULIANO, 2003):

- Arroz ceroso: teor de amilose: 0 a 4%
- Arroz com muito baixo teor de amilose: teor de amilose: 5 a 12%
- Arroz com baixo teor de amilose: teor de amilose: 12 a 20%
- Arroz com conteúdo intermediário de amilose: teor de amilose: 20 a 25%
- Arroz com alto teor de amilose: teor de amilose: 25% a 33%

Os grãos que possuem o teor de amilose de 0 a 20%, quando cozidos terão o comportamento de grãos pegajosos e aquosos, porque estes tipos de grãos produzem amido de baixa qualidade, com menor densidade dos grânulos de amilose e maior desuniformidade no agrupamento e formato dos grânulos. Os grãos que possuem a quantidade de amilose de 20% a 25% serão macios, menos pegajosos, mesmo após o resfriamento, sendo os preferidos pelo consumidor brasileiro e aqueles grãos que possuem a quantidade de amilose maior que 25% a 33% serão grãos secos, soltos e mais firmes, porém após o resfriamento podem ficar duros. O arroz com alta porcentagem de amilose produz amido de qualidade superior, com formato uniforme e alta aglomeração dos grânulos de amido (ZAVAREZE; DIAS, 2011).

O cozimento do arroz pode ocasionar a solubilização dos grânulos de amido, resultando em aumento de volume, fragmentação dos grãos e desenvolvimento das texturas diferenciadas no arroz cozido. Segundo Zhou et al. (2002) as diferenças na textura do arroz estão relacionadas com a fina estrutura da amilopectina. A textura juntamente com a aparência do arroz após o cozimento define se uma cultivar será ou não aceita pelo consumidor final (BASSINELLO; ROCHA; COBUCCI, 2004).

A quantidade do teor de amilose influencia no comportamento dos grãos durante o cozimento. Neste processo, verifica-se uma expansão do volume dos grãos como consequência da absorção da água, nas temperaturas 50 °C a 68 °C as ligações por pontes de hidrogênios entre as moléculas de amilose e amilopectina enfraquecem tornando a estrutura de amido mais susceptível para absorver água, ocorrendo então a gelatinização do amido. Ao terminar o cozimento, com a diminuição da temperatura ocorre uma compactação entre as cadeias de amilose e amilopectina, aumento da viscosidade e conseqüentemente aumento da rigidez dos grãos de arroz (ZAVAREZE et al., 2010; ZAVAREZE; DIAS, 2011).

Pagnan, Bassinello e Prudencio (2015) em estudo utilizando cultivares de arroz irrigado e de terras altas observaram que as diferenças de teores de amido na composição química dos grãos estão mais relacionadas à constituição genotípica do grão do que ao sistema de cultivo no qual ele foi implantado.

Nos amidos de arroz que possuem cadeias curtas de amilopectina, há uma correlação negativa com a temperatura de gelatinização, diferente da amilopectina de cadeia longa que se correlacionam de forma positiva (CHÁVEZ- MURILLO et al., 2012).

A temperatura de gelatinização (TG) do amido refere-se à temperatura de cozimento na qual a água é absorvida e grande parte dos grânulos de amido são gelatinizados e inchados irreversivelmente, com quebra de cristalinidade ao mesmo tempo (MINGOTTE; HANASHIRO; FORNASIERI FILHO, 2012). Os atributos do amido determinam o tempo de cozimento. Com isso, utiliza-se o teste de TG para medir a resistência do grão de arroz na cocção.

De acordo com Martínez e Cuevas (1989), a TG é estimada pelo grau de dispersão e clarificação dos grãos de arroz que foram submetidos a soluções alcalinas, nas quais as temperaturas podem variar de 63 °C a 80 °C e são classificadas da seguinte maneira:

- TG baixa: a temperatura de gelatinização do amido ocorre entre 63 °C e 68 °C.
- TG intermediária: a temperatura de gelatinização do amido ocorre entre 69 °C e 73 °C.
- TG alta: a temperatura de gelatinização do amido ocorre entre 74 °C e 80 °C.

Grãos de arroz que possuem TG baixa e intermediária necessitam de menor tempo de cozimento e quantidade de água, porém os grãos podem ser excessivamente macios, decompondo-se durante o cozimento. Os grãos de arroz que possuem TG alta requerem mais água e maior tempo de cozimento, com isso, sendo rejeitado no mercado pelos consumidores. Nos programas de melhoramento genético os enfoques na seleção são para materiais que apresentem TG intermediária (MINGOTTE; HANASHIRO; FORNASIERI FILHO, 2012).

Além dos testes descritos acima, existe o teste de cocção, no qual avalia-se o comportamento culinário das linhagens em estudo ou de cultivares já estabelecidas no mercado. Este teste consiste no cozimento do arroz (semelhante ao modo de preparo dos consumidores) e posteriormente, realiza-se um teste sensorial (BASSINELO; ROCHA; COBUCCI, 2004). Contudo, apesar da avaliação sensorial ser importante, ainda é pouco prática devido ao alto número de linhagens a serem avaliadas, além de ser cara, por demandar muitas pessoas treinadas e possuir um alto risco de erro proveniente da subjetividade da análise.

Sendo assim, as análises da qualidade de grãos baseiam-se nos resultados de um conjunto de testes diretos e indiretos que indica qual será o comportamento daquela linhagem que está sendo desenvolvida por um programa de melhoramento genético. No entanto, outro fator que também influencia na qualidade química dos grãos é o tempo de armazenamento

deste produto. Durante o armazenamento ocorrem várias alterações físico-químicas no grão que contribuem de forma positiva no comportamento culinário do arroz (KAMINSKY et al., 2013).

A partir de três a seis meses após a colheita, começam a ser percebidas alterações nas propriedades físico-químicas dos grãos. Independente das condições ambientais os grãos que ficaram armazenados por este período mencionado acima, passam a ter melhores rendimentos e após o cozimento melhoram o comportamento culinário. Os grãos costumam ficar mais soltos após o cozimento, isto se deve ao fato de o arroz envelhecido absorver maior quantidade de água e conseqüentemente ter maior expansão dos grãos e ser mais resistente a sua fragmentação. Todas as características mencionadas são as desejadas no mercado. Isto pode ser observado em arroz com casca, integral e polido, sendo as mudanças mais facilmente observadas em grãos polidos (CASTRO et al., 1999).

Mingotte, Hanashiro e Fornasieri Filho (2012) obtiveram alterações em cultivares que possuíam TG baixa a intermediária e foram submetidas a um período de dois meses de armazenamento. As mudanças encontradas foram resultantes da maturação pós-colheita e diminuiu a insolubilidade de proteína e do amido, o qual possibilitou redução no tempo de cozimento.

### **2.3 Melhoramento genético visando qualidade dos grãos de arroz**

Na década de 70, o arroz de terras altas era referência em qualidade no Brasil, inclusive seu preço era superior ao arroz de várzea. Na década de 80, houve a introdução de cultivares vindas dos Estados Unidos, as quais apresentavam como principal característica o grão longo-fino e passou-se a ter muita aceitação pelo consumidor final. Essas cultivares eram produzidas em várzeas. Com isso, o mercado de arroz de terras altas passou a sofrer uma desvalorização, já que este tipo de arroz não oferecia grão do tipo longo-fino e redução da área plantada (CASTRO; FERREIRA; MORAIS, 2003).

Dessa forma, começou-se a priorizar, nos programas de melhoramento genético, a qualidade dos grãos em detrimento da produtividade (BRESEGHELLO et al., 2011; CALINGACION et al., 2014; DHANWANY et al., 2013). Apesar da qualidade do grão apresentar um grande apelo, nem sempre é um dos fatores principais no desenvolvimento e lançamento de novas cultivares, isso porque os programas de melhoramento genético em geral, buscam outros importantes desafios como a produtividade, a qual é um dos principais



requisitos que o produtor procura e também porque há uma preocupação em relação à segurança alimentar diante do crescimento populacional.

Porém, o mercado consumidor representa um fator de impacto importante na cadeia produtiva do arroz, e as cultivares que possuem qualidade de grão superior recebe um valor diferenciado, diante disso, justifica o esforço dos melhoristas para este fim (STRECK et al., 2018). No entanto, alinhar boa qualidade dos grãos e produtividade em uma mesma linhagem ainda é um desafio para os melhoristas de arroz, já que ainda existe uma abundante variabilidade genética para caracteres de qualidade dos grãos. Outro desafio é a existência de uma variabilidade genética inexplorada em germoplasmas, que são interessantes para selecionar os genitores superiores, além de conseguir diferentes combinações em relação aos componentes de qualidade (NIRMALADEVI et al., 2015).

Para desenvolver novas cultivares, os melhoristas apresentam o desafio de encontrar variabilidade genética existente em germoplasmas melhorado de programas de melhoramento genético e/ ou em lavouras. As linhagens são submetidas a cruzamentos entre linhagens/cultivares e entre e dentro dos grupos. São realizadas avaliações em diferentes ambientes para características agronômicas, industriais, físicas, químicas e culinárias. Com isso, obtém-se informações que permitem identificar quais são as regiões de recomendação de cada cultivar ( FITZGERALD, 2017).

Outro desafio para os melhoristas se refere ao fato das características que compõe a qualidade dos grãos de arroz sofrerem forte influência do ambiente. Por exemplo, estresse ocasionado por alta temperatura aumenta a incidência de grãos gessados, alterando a composição de amido e proteína nos grãos, conseqüentemente aumentando a porcentagem de grãos quebrados após o beneficiamento. Tipos de solo, disponibilidade de água, umidade relativa, adubação, entre outros fatores ambientais, também podem impactar na expressão do genótipo para a qualidade dos grãos de arroz (BALINDONG et al., 2018; SCREENIVASLU et al., 2015).

Streack et al. (2018) avaliaram o progresso genético de cultivares mais comercializadas de arroz inundado no Brasil para as características de qualidades físicas e industriais dos grãos, no período de 1976 a 2006. Verificaram que houve ganhos genéticos de 0,20% para porcentagem de grãos inteiros após o beneficiamento, -1,38% para porcentagem de grãos gessados, -0,82% para grãos não translúcidos e as cultivares de ciclo médio e ciclo precoce se destacaram a uma resposta fenotípica mais favorável as principais características de qualidade física.

Outros relatos na literatura apontam que o arroz de terras altas vem se destacando em relação ao arroz irrigado no mercado de grãos, pois com os programas de melhoramento genético, houve desenvolvimento de cultivares modernas as quais possuem grãos longo fino, alto rendimento e boa qualidade culinária. Pagnan, Bassinello e Prudencio (2015) em seu estudo caracterizaram química, física e sensorialmente três genótipos de arroz polido de cultivo irrigado e cinco genótipos de terras altas e concluíram que as características relacionadas à qualidade do grão de arroz estão associadas às características químicas, intrínsecas aos grãos crus, do que ao sistema de cultivo. Um estudo semelhante feito por Simonelli, Abbiati e Cormegna (2016) concluiu que as diferenças nas propriedades físico-químicas podem ser utilizadas para diferenciar cultivares de arroz.

Características como teor de amilose, cocção, dimensão do grão e rendimento de grãos inteiros pode ser utilizados como fatores de seleção para melhorar as características relacionadas à qualidade dos grãos (NIRMALADEVI et al., 2015). Segundo Balindong et al. (2018) o teor de amilose não é a principal característica que controla as propriedades físico-química dos grãos, há também que se avaliar outros atributos como digestibilidade, a qual possui relação direta com a quantidade de proteína contida no grão, índice glicêmico e temperatura de gelatinização. Genótipos que possuem mesmo teor de amilose pode variar o índice glicêmico e essa variação não é explicada pela temperatura de gelatinização.

Nos últimos anos a qualidade dos grãos de arroz tem recebido bastante atenção, isto porque desenvolver variedades que tenha alta produtividade, estabilidade e boa qualidade dos grãos e ampla adaptabilidade é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento.

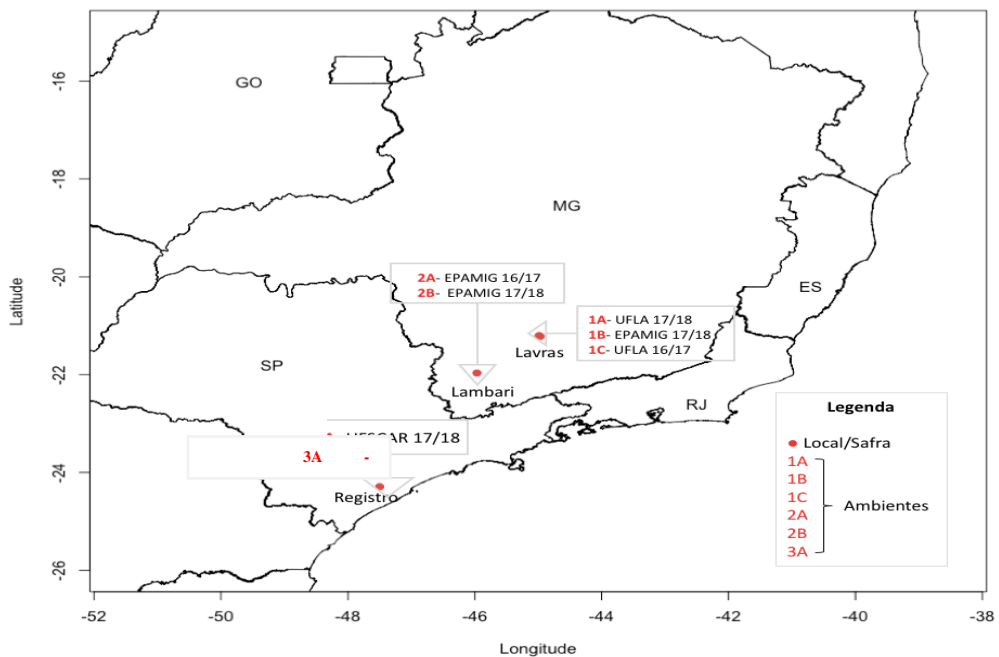
No entanto, muitas das ferramentas utilizadas atualmente, com o auxílio da genômica para identificação das vias metabólicas que levam a expressão de um fenótipo de alta qualidade nos grãos e ajudam na identificação de genes de interesse e modificação e padronização de metodologias, principalmente nas áreas sensoriais, possuem elevado custo em suas avaliações. Diante disso, há ainda a necessidade de compreender como funcionam as propriedades que definem as características de qualidade do grão de arroz e como se comportam, concentrando as avaliações em características principais, a fim de tornar mais eficiente à seleção de genótipos superiores e a diminuição de custos de futuras pesquisas (CONCEPCION et al., 2015).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Locais

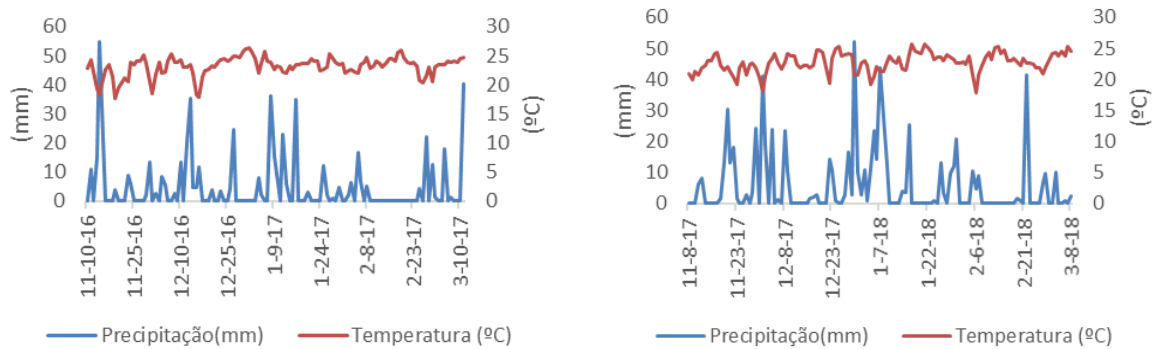
Os experimentos foram conduzidos em seis ambientes, sendo dois na safra 2016/17 e quatro na safra 2017/18 (FIGURA 3). Os locais de instalação foram: 1. Município de Lavras – MG, na unidade experimental situada no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Agropecuária da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e na Empresa de Pesquisa em Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG); 2. Município de Lambari – MG, fazenda experimental da EPAMIG; 3. Município de Registro, na área experimental da Universidade Estadual Paulista (UNESP). Os dados referentes à climatologia e propriedades químicas do solo dos ambientes experimentais encontram-se nas figuras 4,5 e 6 e Tabela 1.

Figura 3 - Mapa dos locais onde os experimentos foram conduzidos nas safras 2016/17 e 2017/18.



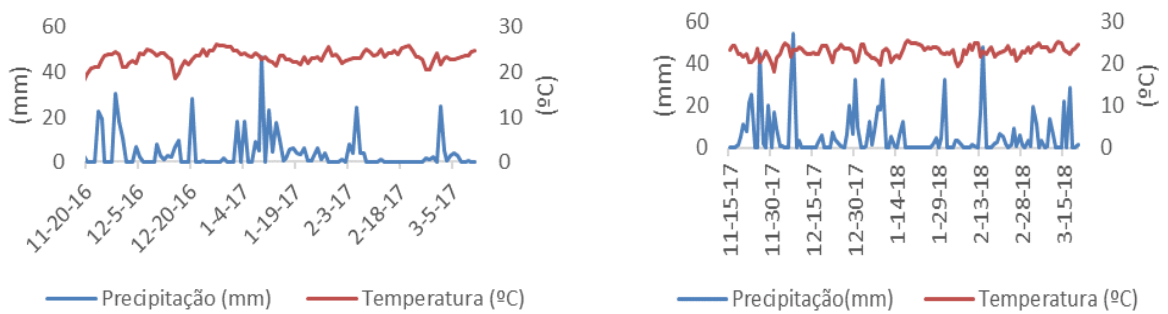
Fonte: Do autor (2019)

Figura 4 - Precipitações e temperaturas médias durante a realização dos experimentos. Semeadura em novembro de 2016 e 2017, Lavras, MG, 2016/2017 e 2017/2018.



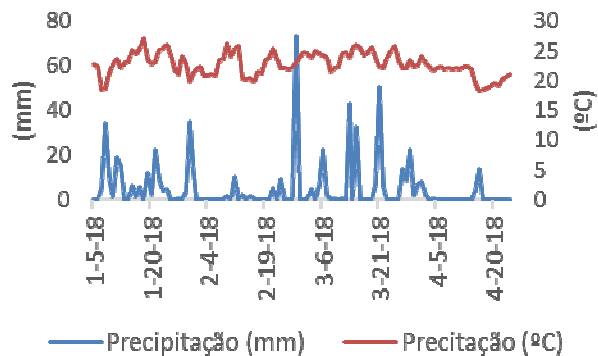
Fonte: Inmet (2019)

Figura 5 - Precipitações e temperaturas médias durante a realização dos experimentos. Semeadura em novembro de 2016 e 2017, Lambari, MG, 2016/2017 e 2017/2018.



Fonte: Inmet (2019)

Figura 6 - Precipitação e temperatura média durante a realização dos experimentos. Semeadura em janeiro de 2017, Registro, SP, 2017/2018.



Fonte: Inmet (2019)

Tabela 1- Composição química do solo dos locais de condução do experimento.

		Ambientes					
		2016/2017		2017/2018			
Propriedades químicas		Lavras	Lambari	Lavras	Lambari	Epamig	Registro
pH	H <sub>2</sub> O	5,8	5,7	5,9	6,1	6,2	5,0
Ca <sup>2+</sup>		3,01	2,42	4,81	2,84	4,93	34
Mg <sup>2+</sup>			0,82	1,19	0,96	0,90	15
Al <sup>3+</sup>	Cmolc/dm <sup>3</sup>	0,11	0,1	0,06	0,1	0,04	0
H <sup>+</sup> Al <sup>3+</sup>		3,82	4,88	3,24	4,34	1,98	33
SB		4,25	3,43	6,28	4,0	6,09	51,3
P - Rem		42,62	34,77	26,84	37,20	13,58	-
K		155,62	72,48	107,78	78,37	102	2,3
Zn <sup>2+</sup>		4,88	7,31	5,43	7,60	7,30	0,7
Mn <sup>2+</sup>	Mg/dm <sup>3</sup>	14,40	25,1	45,56	24,8	92,50	0,2
Cu <sup>2+</sup>		0,25	1,24	0,90	1,19	2,00	0,2
B		0,03	0,21	0,14	0,28	0,43	0,34
Fe <sup>2+</sup>		53,52	53,83	44,78	56,22	61,50	95
S		7,19	12,69	14,40	12,93	1,85	-
MO	Dag/Kg (%)	2,37	3,21	3,25	3,34	3,15	-
V		52,65	41,23	65,93	47,96	75,46	60,9

SB- soma de bases; MO – matéria orgânica; V – saturação por bases.

### 3.2 Genótipos

Foram avaliadas 16 linhagens na safra 2016/17 e 17 linhagens na safra 2017/18, todas estas linhagens são pertencentes ao experimento de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas do convênio entre a Universidade Federal de Lavras (UFLA), Embrapa Arroz e Feijão e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG); e também, uma multilinha e três testemunhas (BRS Esmeralda, BRS Caçula, BRSMG Caravera) (TABELA 2). Vale ressaltar, que alguns genótipos foram avaliados em mais de uma safra. A escolha das testemunhas foi devido a estas cultivares já serem estabelecidas no mercado e possuírem boa aceitação em relação à qualidade de grãos pelos consumidores e indústria (CASTRO et al., 2014; SOARES et al., 2013).

Tabela 2 - Linhagens do programa de melhoramento genético de arroz de terras altas da Universidade Federal de Lavras, em parceria com a Embrapa Arroz e Feijão e Epamig, avaliadas nas diferentes safras.

	<b>Safra 2016/17</b>		<b>Safra 2017/18</b>
1	CMG 2162	21	CMG F6 LAM 20-2
2	CMG 2168	22	CMG ERF 85-14
3	BRS Esmeralda	3	BRS Esmeralda
4	CMG 2170	24	CMG ERF 221-16
5	CMG 2119	5	CMG 2119
6	BRSMG Caçula	6	BRSMG Caçula
7	CMG 2185	25	CMG ERF 85-6
8	CMG 2187	8	CMG 2187
9	CMG 2188	9	CMG 2188
10	CMG 2085	10	CMG 2085
11	BRSMG Caravera	26	CMG ERF 85-15
12	CMG ERF 221-4	12	CMG ERF 221-4
13	CMG 1511	27	CMG F6 LAV 1-7
14	CMG ERF 221-7	14	CMG ERF 221-7
15	CMG 1896	15	CMG 1896
16	CMG ERF 221-9	16	CMG ERF 221-9
17	CMG ERF 221-19	17	CMG ERF 221-19
18	CMG ERF 221-29	18	CMG ERF 221-29
19	CMG 1509	19	CMG 1509
20	Multilinha	20	Multilinha

Fonte: Do autor (2019)

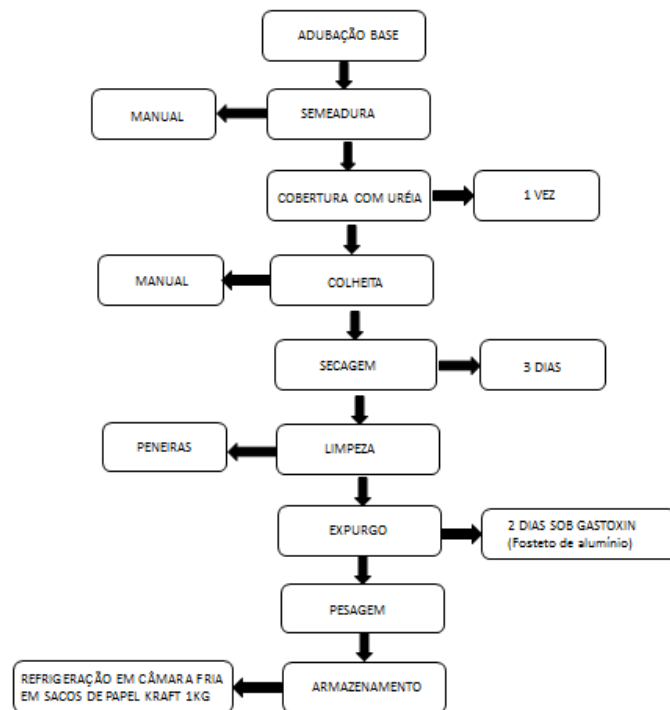
### 3.3 Condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em delineamento de blocos casualizados, com três repetições. As parcelas foram constituídas por cinco linhas de quatro metros, com espaçamento de 0,35 cm. As duas linhas externas de cada parcela foram desprezadas na colheita para evitar mistura varietal, sendo área útil 4,2 m<sup>2</sup>. A aplicação de fertilizantes na safra 2016/17 e 2017/18 foram realizadas de acordo com a análise de solo feita nos locais de plantio. Assim, foram aplicados 400 kg de 8-28-16, obtendo as doses de 32 kg de N, 112 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 64 kg de K<sub>2</sub>O nos sulcos, e também foi realizada uma adubação de cobertura, 25 dias após a semeadura onde foi aplicado 40 kg de nitrogênio. As técnicas de manejo foram uniformes para todos os ambientes, segundo Utumi (2008). Para o controle de doenças fúngicas, não foram utilizados fungicidas, pois o programa de melhoramento também realiza a seleção de genótipos quanto à resistência a doenças.

O início da colheita das plantas, conforme a maturação do ciclo ocorreu na safra 16/17 a partir de março de 2017 de forma manual, sendo que o mesmo ocorreu para a safra 17/18 a partir do março de 2018. A trilha das plantas foi feita manualmente para evitar danos

mecânicos aos grãos e a secagem dos grãos foi feita ao sol no Setor de Grandes culturas do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras seguindo (UTUMI, 2008). Os grãos recém-colhidos foram espalhados sobre lonas e constantemente revolvidos para facilitar a troca de umidade com o ambiente. A umidade foi monitorada pelo medidor de umidade Gac 2100 até atingirem 13% de umidade. A operação de limpeza dos grãos foi feita por meio de peneiras. Após esses processos as amostras de ambas as safras foram armazenadas em câmara fria a temperatura de 10 °C por 90 dias, antes de iniciar os processos de beneficiamento e as avaliações de laboratório (FIGURA 7).

Figura 7 - Fluxograma das etapas do processo de plantio até o armazenamento do arroz.



Fonte: Do autor (2019)

### 3.4 Características avaliadas

Foram coletadas amostras de 1 kg de arroz com casca de todas as parcelas e realizadas as avaliações dos seguintes caracteres: renda e rendimento dos grãos, gessamento, dimensão do grão, teor de amilose aparente, temperatura de gelatinização, teste de cocção, grau de polimento, análise de textura instrumental (dureza e pegajosidade), índice de absorção de água e coeficiente de expansão de volume, descritos a seguir.

### 3.4.1 Renda (REN)

Foram obtidas amostras de 100 g de arroz em casca de cada parcela e levado à máquina de classificação e beneficiamento (moinho de provas do modelo Sukuki MT 10, situado na subestação da EPAMIG, Lavras-MG) as amostras foram beneficiadas (descascadas e polidas) e por meio do *trieur* 01 houve a separação dos grãos inteiros e quebrados para a determinação da renda e rendimento dos grãos.

A renda foi determinada por meio do cálculo do percentual de massa de grãos inteiros e quebrados após o beneficiamento em relação à massa inicial dos grãos com casca (BRASIL, 2009).

$$Renda (\%) = \frac{\text{Rendimento de grãos beneficiados e brunidos (inteiros+quebrados)}}{\text{Massa de grãos em casca}} \times 100 \quad (1)$$

### 3.4.2 Rendimento (RDT)

Foi contabilizada a massa de grãos inteiros e quebrados de cada parcela, resultante do processo de beneficiamento dos grãos de arroz. O rendimento de grãos inteiros foi determinado por meio do cálculo de percentual de grãos inteiros, conforme a Equação 2 (Instrução Normativa n. 6, de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA).

$$Rendimento de grãos (\%) = \frac{\text{Massa de grãos beneficiados e polidos (inteiros)}}{\text{Massa de grãos em casca}} \times 100 \quad (2)$$

### 3.4.3 Gessamento (GES)

A porcentagem de grãos gessados foi obtida a partir de uma amostra de 100 g de grãos inteiros e polidos, seguindo-se as instruções e roteiros para a sua determinação da Instrução Normativa n.º.6 do MAPA para a Classificação de Grãos (BRASIL, 2009). Esta avaliação foi realizada de modo visual, na qual foram contabilizadas a quantidade de grãos gessados e a quantidade de grãos translúcidos.



### 3.4.4 Dimensão do grão (DG)

A dimensão do grão foi obtida a partir de análise de imagens. Foi feita uma subamostra de 100 grãos brunidos de cada parcela, e procedidas às análises. A captura das imagens dos grãos de arroz foi efetuada no equipamento Groundeye, desenvolvido pela Tbit Tecnologia e Sistemas, na qual os grãos foram dispostos em a bandeja de vidro do equipamento sem nenhuma posição definida e posteriormente as imagens foram capturadas por câmeras de alta resolução situadas no interior do equipamento. As configurações do Groundeye foram processadas para calibração da cor do fundo, luminosidade, e dimensões do grão.

Após este processo, foram realizadas as análises biométricas dos grãos, nas quais foram obtidos os valores de comprimento e espessura dos grãos. Os grãos foram classificados de acordo com os padrões definidos por Brasil (2012): longo-fino ( $C \geq 6$  mm;  $L \leq 2,17$  mm;  $C/L > 2,75$ ), longo ( $C \geq 6$ mm), médio ( $C < 6$  e  $\geq 5$ mm) e curto ( $C < 5$ mm).

### 3.4.5 Teor de Amilose Aparente (TA)

O teor de amilose aparente foi determinada pelo Sistema FIA (Análise por injeção de fluxo) da Foss Tecator (FIAS<sup>T</sup>ar 5000, Dinamarca), no Laboratório de Grãos e Subprodutos da Embrapa Arroz e Feijão. As amostras de arroz foram moídas em moinho de faca Perten Laboratory Mill 3100 e posteriormente foram injetadas após completa dispersão e gelatinização em solução alcalina. A absorbância do complexo formado com solução de iodo foi determinada em espectrofotômetro UV-Visível através de um detector digital “Dual-Wavelength (DDW)” a 720nm. O conteúdo de amilose das amostras foi calculado por meio de uma curva de calibração, preparada com cultivares padrão de arroz pré-selecionadas com teores de amilose já conhecidos e determinados previamente por cromatografia e permeação em Gel (SEC/GPC) (FITZGERALD; McCOUCH; HALL, 2009) pelo IRRI (*International Rice Research Institute*). Esta análise foi realizada em simplicata para cada repetição de campo. Após este processo as amostras foram analisadas e classificadas utilizando uma escala de notas adaptada por Juliano (2003), Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação do teor de amilose em arroz e características culinárias correspondentes.

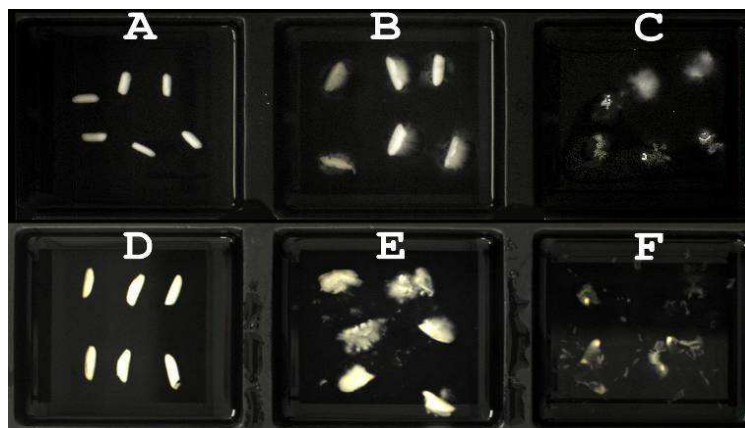
Classificação	Teor de Amilose Aparente (%)	Características Esperadas Após Cozimento
Alta Amilose	25 – 33	Grão seco, solto e duro
Amilose Intermediária	20 – 25	Grão seco, solto e macio
Baixa Amilose	12 – 20	Grão pegajoso e macio
Muito Baixa Amilose	5 – 12	Grão pegajoso e muito macio
Cerosos	0 – 4	Grão muito macio

Fonte: Adaptado de Juliano (2003).

### 3.4.6 Temperatura de gelatinização (TG)

A Temperatura de Gelatinização foi obtida por meio do teste de dispersão alcalina, o qual consiste na estimativa do grau de dispersão alcalina e clarificação dos grãos crus de arroz, quando em contato com solução alcalina. A metodologia foi desenvolvida por Martínéz e Cuevas (1989) e adaptada pela Embrapa Arroz e Feijão. Para a análise foram utilizados dez grãos (inteiros e polidos) de cada amostra, os quais foram distribuídos uniformemente em uma placa plástica de 4,8cm de diâmetro, contendo 10 mL da solução de hidróxido de potássio (KOH) 1,7%. Posteriormente as placas foram fechadas e incubadas em estufa da marca FISHER, modelo 255G, a 30 °C, por 23 horas. Após esse período, fez-se a avaliação visual dos grãos, e de acordo com a dissolução deste grão, este foi classificado em uma escala numérica de 1 a 7, descrita de acordo com a Tabela 4 para determinar o grau de dispersão alcalina (Figura 8). O valor médio de TG de cada amostra foi obtido multiplicando-se o número de grãos de arroz pelo valor do grau de dispersão correspondente, sendo posteriormente somados, divididos por dez. Utilizou-se as variedades padrões Colombia 1 (TG alta), Bluebonnet 50 (TG intermediária) e IR 8 (TG baixa) como referência. As análises foram feitas em duplicata por repetição de amostra.

Figura 8 - Análise de temperatura de gelatinização das amostras, realizada com seis grãos: TG alta (A e D); TG intermediária (B e E ); TG baixa (C e F) (Conforme metodologia original de Martínéz e Cuevas, 1989).



Fonte: Martínéz e Cuevas, 1989

Tabela 4 - Escala dos graus de dispersão e temperatura de gelatinização de arroz.

Grau de Dispersão	Características	Temperatura de Gelatinização
1, 2 e 3	Grãos não afetados pela solução alcalina	Alta (74 a 80°C)
4 e 5	Grãos desintegram parcialmente	Intermediária (69 a 73°C)
6 e 7	Grãos se dissolvem totalmente	Baixa (63 a 68°C)

Fonte: Adaptado de Martínéz e Cuevas (1989).

### 3.4.7 Teste de cocção

O teste de cocção foi realizado no Laboratório de Grandes Culturas, localizado no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Esta avaliação compreende vários testes visando entender sobre o comportamento do grão de arroz durante todo o processo de cozimento.

#### 3.4.7.1 Tempo mínimo de cozimento (TMC)

Para determinar o tempo mínimo de cozimento foi utilizada uma metodologia adaptada por Hummel (1966) e Ciacco e Chang (1986). Foram pesadas 5 g de grãos de arroz (inteiros, limpos e brunidos) de cada parcela, e colocados em 135 mL de água deionizada, em cada béquer, em uma placa aquecedora a 100°C. Após 15 minutos de cozimento, foram

retirados aproximadamente cinco grãos de arroz de cada béquer, estes foram colocados entre duas lâminas de vidro e pressionados, este procedimento foi repetido de um em um minuto, e dependendo do desempenho da linhagem, o intervalo de repetição foi reduzido, visando aferir com precisão o momento exato da completa gelatinização. Esse procedimento foi realizado até que o arroz apresentasse cozido, ou seja, a total gelatinização do amido, isto acontece quando ao pressionar os grãos não seja mais visto núcleos brancos.

### 3.4.7.2 Índice de absorção de água (IAA)

Para determinar o Índice de Absorção de Água de cada amostra, foram pesados 5 g de grãos de arroz (inteiros, limpos e brunidos) de cada parcela e submetidos ao cozimento durante o tempo mínimo de cada um, estabelecido no item 3.4.7.1. Em sequência, cada amostra foi drenada em um escorredor e colocada durante cinco minutos em papel absorvente para que toda água presente na superfície fosse eliminada e não alterasse futuros resultados.

Após este processo, os grãos cozidos de cada amostra foram pesados e o índice de absorção de água calculado por meio da equação adaptada por (1) (HUMMEL, 1966; DONNELLY, 1979):

$$\text{Índice de absorção de água} = \frac{\text{Peso amostra arroz cozido}}{\text{Peso amostra arroz cru}} \quad (3)$$

### 3.4.7.3 Coeficiente de expansão de volume (CEV)

Para determinar o Coeficiente de Expansão de Volume de cada amostra, foram pesadas duas amostras de 5 g de grãos de arroz (inteiros, limpos e brunidos) de cada parcela, uma com grãos de arroz cru e a outra cozida em seu tempo mínimo de cozimento conforme o item 3.4.7.1. Posteriormente foi medido em uma proveta graduada o volume de 50 mL de querosene e em seguida foram colocadas a amostra cru dentro da proveta, para que desta forma fosse possível visualizar o volume deslocado pelos grãos de arroz, e este procedimento foi repetido para os grãos de arroz cozido. O cálculo do coeficiente de expansão do volume foi realizado pela equação (2) da metodologia adaptada por (DONNELLY, 1979; CIACCO; CHANG, 1986).

$$\text{Coeficiente de expansão de volume} = \frac{\text{Volume deslocado pelo arroz cozido}}{\text{Volume deslocado pelo arroz cru}} \quad (4)$$

### 3.4.8 Análise de textura instrumental (dureza (DUR) e pegajosidade (PEG))

A análise de textura foi realizada em grãos de arroz cozidos com três leituras para cada repetição de campo. Cerca de 10 g de grãos de arroz (polidos e inteiros) e 17 g de água destilada foram colocados em placa de Petri e cozidos em uma panela elétrica (Cadence, capacidade 2 L) com 350 mL de água por 30 minutos. Posteriormente, foram retirados e distribuídos uniformemente dez grãos inteiros sobre a base do texturômetro para a avaliação das propriedades mecânicas, dureza e pegajosidade, no Texture Analyser Stale Microsystems (TA-XT Plus, Surrey, Inglaterra), com célula de carga de 50 kg, probe cilíndrica de 40 mm, velocidade pré-teste 0,5 mm.s<sup>-1</sup>, velocidade teste 0,5 mm.s<sup>-1</sup>, velocidade pós-teste 0,5 mm.s<sup>-1</sup>, distância de retorno 5 mm e *Trigger* 3gf (0,04903 N). Foi realizado o método de compressão uniaxial, utilizando-se 10 grãos intactos de arroz por leitura e em cada repetição (CARVALHO et al., 2015; SESMAT; MEULLENET, 2001).

### 3.5 Análise de dados

A análise conjunta, em virtude do desbalanceamento dos dados, devido ao dinamismo do programa de melhoramento de uma safra para outra, optou-se por utilizar uma abordagem via modelos mistos. O modelo estatístico proposto foi:

$$y = Xb + Zg + Wc + Vd + e$$

em que **b**, **g**, **c**, **d** e **e** correspondem aos vetores, respectivamente, de ambientes (efeito fixo), efeito dos genótipos (aleatório), efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatório), efeito de repetição dentro de ambientes (aleatório) e de erros (aleatórios).

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R CORE TEAM, 2019) pelo procedimento REML/BLUP, em que os componentes de variância e parâmetros genéticos foram estimados via REML (máxima verossimilhança restrita) e predição das médias ajustadas por meio do BLUP (melhor predição linear não viciada). A significância das variâncias associadas aos efeitos aleatórios foi verificada pelo teste da razão de verossimilhança “Likelihood Ratio Test” (BERNARDO, 2010).

Considerando a análise conjunta, a partir dos valores estimados dos componentes de variância, foram calculadas as seguintes estimativas:

- a) herdabilidade ( $h_a^2$ ) no sentido amplo para seleção na média das linhagens:

$$h_a^2 = 1 - \frac{PEV}{\sigma_g^2}$$

em que: *PEV*: variância do erro de predição;  $\sigma_g^2$ : variância genética;

A eficiência dos procedimentos de análise via modelos mistos foi avaliada pelo ganho genético com a seleção, calculada a partir da média dos BLUP's das progênes (GS) (RAMALHO et al., 2012).

As estimativas do coeficiente de variação e acurácia seletiva foram utilizadas como medida de precisão. O coeficiente de variação foi obtido por meio do seguinte modelo:

a) Coeficiente de variação experimental (CV):

$$CV = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\bar{x}}$$

em que:  $\sigma_e^2$ : variância residual;  $\bar{x}$ : média geral;

A acurácia foi estimada utilizando o seguinte modelo:

$$rgg = \sqrt{1 - \frac{PEV}{\sigma_g^2}} \times 100$$

em que: *rgg* é a acurácia seletiva expressa em percentagem; *PEV* é a variância do erro de predição;  $\sigma_g^2$  é a variância genética.

As estimativas das correlações genotípicas e fenotípicas entre os caracteres dois a dois foram obtidas pela expressão:

$$r_{XY} = \frac{COV_{XY}}{\sqrt{V_X \cdot V_Y}}$$

Em que:

$r_{XY}$  : correlação fenotípica entre os caracteres X e Y;

$COV_{XY}$ : covariância fenotípica entre os caracteres X e Y;

$V_X$  : variância fenotípica do caráter X;

$V_Y$  : variância fenotípica do caráter Y.

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi realizada com o auxílio do software R (R CORE TEAM, 201), com os procedimentos:

- a) Matriz de herdabilidade e co-herdabilidade;
- b) Decomposição espectral: fatoração de matriz quadradas;

$$h^2 = V\Delta V'$$

em que:  $V$  é auto vetor,  $\Delta$  é auto valor.

- c) Fez-se os componentes principais a partir da multiplicação de cada auto vetor com a raiz de cada auto valor correspondente.

$$CP = (V\Delta^{1/2})$$

Em que:  $V$  é auto vetor,  $\Delta$  é auto valor.

Baseado nos resultados da ACP foram realizadas análises de trilha para as características que apresentaram ganhos com a seleção distinta na ACP. Estas análises foram realizadas com auxílio do programa Genes (CRUZ, 2006). A interpretação dos efeitos dos coeficientes de trilha foi relacionada ao coeficiente de correlação fenotípica, conforme Dhurai, Reddy e Ravi (2016) e Prya et al. (2017): quando  $r$  e o efeito direto são iguais ou semelhantes, em magnitude e sinal, a correlação explica bem a associação entre as variáveis; se  $r$  é positivo, e o efeito direto desprezível ou negativo, a correlação é ocasionada pelos efeitos indiretos; se  $r$  for desprezível, e o efeito direto positivo e alto, são os efeitos indiretos que causam a falta de correlação; se  $r$  é negativo, e o efeito direto é positivo e alto, os efeitos indiretos devem ser e somente os diretos devem ser considerados.

#### 4 RESULTADOS

No presente trabalho, procedeu-se a análise conjunta dos caracteres de qualidade dos grãos de arroz a fim de não obter estimativas super ou subestimadas dos resultados. As estimativas dos componentes de variância, acurácia seletiva, coeficiente de variação experimental e coeficiente de herdabilidade no sentido amplo, estão apresentadas na Tabela 5.

Observa-se que a precisão experimental variou de acordo com os caracteres. As estimativas de acurácia variaram de 37,86% (IAA) até 98,03% (DG). O coeficiente de variação ambiental também variou com os caracteres e as estimativas variaram de 2,90% (REN) até 53,54% (DUR) (TABELA 5).

Para os caracteres GES, DG, TMC, TA, TG e DUR observou-se efeitos significativos entre os genótipos (Tabela 5), indicando a existência de variabilidade genética, sendo possível a princípio, sucesso com a seleção de linhagens superiores. Considerando o restante dos caracteres avaliados, não se detectou diferenças significativas. As magnitudes das variâncias genéticas variaram de 0,0398 a 54,41.

Foram encontrados efeitos significativos na interação genótipos x ambientes (GxE) ( $P < 0,05$ ) para todos os caracteres com exceção de PEG, DUR, IAA e CEV, ou seja, as linhagens apresentaram comportamentos não coincidentes nos diferentes ambientes (TABELA 5).

As estimativas de herdabilidade são utilizadas para distinguir diferenças de causa genética e não-genética entre os indivíduos, sendo importante para a estimação dos ganhos genéticos e para seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento genético. Quando a herdabilidade é alta, a seleção nas gerações iniciais é eficaz, por outro lado, caso o valor for baixo, a seleção deve ser realizada apenas nas gerações mais avançadas. Na Tabela 5, observa-se que essas estimativas variaram de 17,45% (CEV) até 96,09% (DG).



Tabela 5 - Estimativas das variâncias (REML/BLUP), herdabilidade em sentido amplo ( $h_a^2$ ) acurácia seletiva ( $rgg'$ ) e coeficiente de variação experimental ( $CV$ ) para Renda (REN), Rendimento de grãos inteiros (RDT), Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Tempo Mínimo de Cozimento (TMC), Teor de Amilose Aparente (TA), Temperatura de Gelatinização (TG), Dureza (DUR), Pegajosidade (PEG), Índice de Absorção de Água (IAA) e Coeficiente de Expansão de Volume (CEV) para o conjunto de ambientes.

	Variâncias										
	REN	RDT	GES	DG	TMC	TA	TG	DUR	PEG	IAA	CEV
$\sigma_g^2$	0,5239	7,0100	54,4100 **	0,0398 **	0,5048 **	0,3727 **	0,03752 **	33,8180 **	0,4140	3,6390	91,4700
$\sigma_{ga}^2$	1,9432 **	39,1800 **	48,8900 **	0,0041 **	0,5073 **	0,1258 *	0,0266 **	1,1750	0,0000	23,9350	433,1400
$\sigma_e^2$	4,0861	52,7600	40,3100	0,0054	2,6759	0,7076	0,0978	160,0510	5,7370	197,7530	4227,1000
rgg	62,04	57,34	87,34	98,03	75,76	87,34	81,70	93,88	66,79	37,86	41,77
$CV$ (%)	2,90	21,21	42,75	2,08	2,85	3,87	9,77	53,54	41,23	4,85	16,86
$h_a^2$ (%)	38,49	32,88	76,29	96,09	57,40	76,28	66,76	88,14	44,60	14,34	17,45

$\sigma_g^2$ : variância genética;  $\sigma_{ga}^2$ : variância da interação genótipos x ambientes;  $\sigma_e^2$ : variância do erro;  $h_a^2$ : herdabilidade no sentido amplo; \*\* Significativo a 99% de confiabilidade pelo teste de máxima verossimilhança (likelihood).

Para uma maior eficiência durante a seleção não basta apenas que o caráter apresente altas estimativas de herdabilidade, é importante também associar bons valores fenotípicos, para que se obtenha um elevado ganho. Assim é desejável associar sempre alta herdabilidade e alto ganho de seleção. O ganho esperado com a seleção é importante dentro de um programa de melhoramento, pois as estimativas possibilitam ao melhorista prever a resposta à seleção antes de realizá-la e também verificar a eficiência do programa.

Na Tabela 6, anexos 1 e 2 são apresentadas as estimativas do ganho de seleção (GS) considerando todos os caracteres mensurados. Para REN e RDT, os ganhos foram positivos, sendo de 72,64% e 48,58% respectivamente. Para GES, a estimativa foi negativa, fato este positivo, visto que esta característica é indesejável pelo consumidor no quesito visual e pela indústria. Ao contrário, DG obteve ganhos positivos de 2,89%, o que é negativo em um programa de melhoramento de arroz. Por fim, os caracteres referentes à qualidade química e culinária dos grãos, TMC, TA, TG, DUR, IAA e CEV apresentaram ganhos positivos. Em contrapartida, o caráter PEG obteve um decréscimo de -7,59%. Esses resultados obtidos, com exceção do CEV, são negativos, dado que cada genótipo contém diferentes proporções de amilose, amilopectina, proteínas e lipídeos, os quais afetam a estrutura do grão e a sua performance na cocção.

Tabela 6 - Estimativas do ganho de seleção (GS), para os caracteres: Renda (REN), Rendimento (RDT), Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Tempo Mínimo de Cozimento (TMC), Teor de Amilose Aparente (TA), Temperatura de Gelatinização (TG), Dureza (DUR), Pegajosidade (PEG), Índice de Absorção de Água (IAA) e Coeficiente de Expansão de Volume (CEV).

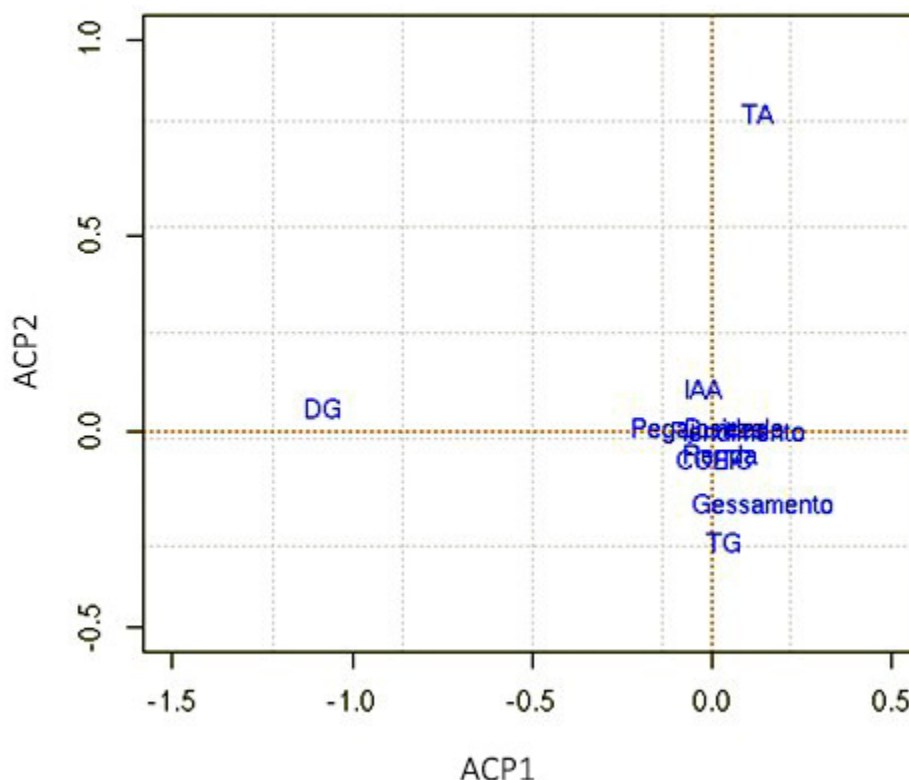
<b>Características</b>	<b>GS</b>
REN (%)	72,64
RDT (%)	48,58
GES (%)	- 0,63
DG (%)	2,89
TMC (min)	19,28
TA (%)	19,97
TG (notas)	3,42
DUR (N)	111,46
PEG (J/N)	-7,59
IAA (%)	279,59
CEV. (%)	341,60

Fonte: Do autor (2019).

Quando há um número grande de genótipos a serem avaliados, a mensuração destas diversas características visando à seleção de grãos de arroz que associem qualidade física,

química, industrial e culinária se torna inviável. Assim, conhecer o comportamento desses caracteres, visando reduzir seu número é extremamente desejável em um programa de melhoramento genético. Visando atingir o principal objetivo do presente trabalho, realizou-se uma análise de componentes principais (ACP) por meio da matriz de herdabilidade e co-herdabilidade (FIGURA 9), que permitem reduzir o número de variáveis observadas em um conjunto de variáveis não correlacionadas, fornecendo ao melhorista estimativas para entender a variabilidade e a estrutura de correlação dos dados observados com uma menor quantidade de variáveis não correlacionadas

Figura 9 - Biplot de dois componentes principais (ACP1 e ACP2) para a análise de componentes principais das características Renda (REN), Rendimento (RDT), Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Tempo Mínimo de Cozimento (TMC), Teor de Amilose Aparente (TA), Temperatura de Gelatinização (TG), Dureza (DUR), Pegajosidade (PEG), Índice de Absorção de Água (IAA) e Coeficiente de Expansão de Volume (CEV).



Fonte: Do autor (2019)

A partir do gráfico biplot de ACP, pôde-se observar que os caracteres TA, DG, IAA, GES e TG estão mais distantes da origem do gráfico, onde há o cruzamento da ACP1 e ACP2. Este fato significa que essas características apresentam ganhos com a seleção distintos e independentes das demais (REN, RDT, TMC, DUR, PEG, CEV), ou seja, a princípio, o melhorista deverá realizar a seleção desses caracteres individualmente. Observa-se, também,

que TA e DG são independentes, pois formam um ângulo de aproximadamente 90° entre eles, ou seja, os ganhos obtidos pela seleção desses caracteres são obtidos individualmente. Já TA e IAA possuem ganhos de seleção inversos com o GES e TG, pois formam um ângulo de aproximadamente 180° entre si. TA e IAA estão na mesma direção e com isso, apresentam comportamentos iguais, ou seja, quando há ganhos de seleção para TA, obtém-se ganhos de seleção para IAA e o mesmo comentário também é pertinente para TG e GES.

Vale salientar no presente estudo, que todos os caracteres que se destacaram no ACP, exceto IAA, possuem alta herdabilidade, favorecendo com que essas características possam ser utilizadas para seleção de genótipos com boa qualidade de grãos nos estágios iniciais dos programas de melhoramento genético da cultura do arroz.

A correlação entre os caracteres é útil no melhoramento genético de plantas, pois pelos coeficientes é possível obter respostas entre dois ou mais caracteres de forma direta ou indireta. Dessa forma, realizou-se a correlação fenotípica entre os caracteres que se destacaram na ACP, a fim de entender como essas variáveis se relacionam (TABELA 7).

Tabela 7 – Correlações fenotípicas entre os caracteres: gessamento (GES), dimensão do grão (DS), teor de amilose aparente (TA), temperatura de gelatinização (TG) e índice de absorção de água (IAA), obtidas por meio das médias BLUP.

	GES	DG	TA	TG	IAA
GES	1	-0,35	0,57*	0,44*	-0,44*
DG		1	-0,44*	-0,45*	0,24
TA			1	0,48*	-0,21
TG				1	-0,51*
IAA					1

Significativo a 5% de probabilidade pelo teste T.

Fonte: Do autor (2019).

Observa-se que GES correlaciona-se de maneira significativa e positiva com TA (0,57) e TG (0,44) e negativa com IAA (-0,44). Isto significa que, a princípio, se selecionar para GES, é possível obter ganhos para TA e TG por meio da seleção indireta. Esses resultados estão de acordo com o gráfico de ACP (Figura 9), em que ao selecionar para GES tem-se a diminuição das notas de TG e o aumento do teor de amilose, esses dois fatores são ganhos positivos no melhoramento de grãos de arroz. A correlação observada entre TA e TG foi positiva (0,48). Indicando que ao selecionar para melhores estimativas de TA estará também obtendo ganhos para TG. Por fim, o caráter DG correlaciona-se de forma negativa com TA (-0,44) e TG (-0,45).

Contudo, não se pode afirmar que o uso dessa estratégia seria a mais eficiente para seleção indireta, porque em geral, as magnitudes das correlações significativas foram médias, variando de -0,21% até 0,57%.

Nesse sentido, a análise de trilha permite verificar mais a fundo as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre as variáveis respostas principais. Assim, no presente estudo, foram realizadas cinco análises de trilhas utilizando as características que apresentaram ganhos com a seleção distintos no estudo dos componentes principais (TA, TG, GES, DG e IAA). Em cada análise foi utilizada uma dessas características mencionadas acima como variável principal e o restante como variável explicativa. Dessa forma, obteve-se o resultado do efeito de quatro caracteres sobre a característica principal e a relação de causa/efeito entre elas.

Os coeficientes de determinação dos modelos das análises de trilha ( $R^2$ ) variaram de 0,2692 a 0,4468 caracterizando que 26,92% a 44,68% da variação da variável principal estão sendo explicadas pelas variáveis utilizadas.

O resultado da análise de trilha de TA em razão das variáveis explicativas GES, DG, TG, IAA estão apresentados na Tabela 8. Observa-se o que o caráter GES teve maior influência direta em TA (0,4572) em comparação com TG que também obteve efeito direto sobre TA (0,2863) resultando em estimativa positiva do coeficiente de correlação fenotípica significativa 0,5685 para GES e 0,4809 para TG.

Tabela 8 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, estimados a partir das correlações fenotípicas, sobre o Teor de Amilose Aparente (TA) de grãos de arroz de terras altas.

<b>GES</b>		
Efeito Direto sobre	TA	0,4572
Efeito Indireto via	DG	0,6936
Efeito Indireto via	TG	0,1258
Efeito Indireto via	IAA	-0,0839
Correlação		0,5685*
<b>DG</b>		
Efeito Direto sobre	TA	-0,200
Efeito Indireto via	GES	-0,1580
Efeito Indireto via	TG	-0,1278
Efeito Indireto via	IAA	0,0453
Correlação		-0,4413
<b>TG</b>		
Efeito Direto sobre	TA	0,2863
Efeito Indireto via	GES	0,2009
Efeito Indireto via	DG	0,0896
Efeito Indireto via	IAA	-0,0960
Correlação		0,4809*
<b>IAA</b>		
Efeito Direto sobre	TA	0,1888
Efeito Indireto via	GES	-0,2033
Efeito Indireto via	DG	-0,0481
Efeito Indireto via	TG	-0,1456
Correlação		-0,2084
Coefficiente de determinação		0,4468
Efeito da variável residual		0,7437

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Legenda: Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Teor de amilose aparente (TAA), Temperatura de gelatinização (TG), Índice de absorção de água (IAA).

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 9 têm-se os resultados de IAA em razão das variáveis explicativas de GES, DG, TA e TG. Verifica-se que TG possui o maior efeito direto negativo sobre IAA (-0,4482) e em seguida, tem-se GES, que contém efeito direto negativo sobre IAA (-0,3707) e juntamente com os outros caracteres que também apresentam efeito indireto negativo contribuem para as estimativas negativas do coeficiente de correlação fenotípica -0,5087 para TG e -0,4448 para GES.

Tabela 9 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, estimados a partir das correlações fenotípicas, sobre o Índice de Absorção de Água (IAA) de grãos de arroz de terras altas.

<b>GES</b>		
Efeito Direto sobre	IAA	-0,3707
Efeito Indireto via	TA	-0,1263
Efeito Indireto via	DG	-0,003
Efeito Indireto via	TG	-0,1970
Correlação		-0,4448*
<b>DG</b>		
Efeito Direto sobre	IAA	0,0096
Efeito Indireto via	GES	0,1281
Efeito Indireto via	TA	-0,0980
Efeito Indireto via	TG	0,2001
Correlação		0,2399
<b>TA</b>		
Efeito Direto sobre	IAA	0,2222
Efeito Indireto via	GES	-0,2107
Efeito Indireto via	DG	-0,0042
Efeito Indireto via	TG	-0,2155
Correlação		-0,2084
<b>TG</b>		
Efeito Direto sobre	IAA	-0,4482
Efeito Indireto via	GES	-0,1629
Efeito Indireto via	DG	-0,0043
Efeito Indireto via	TA	-0,1068
Correlação		-0,5087*
Coefficiente de determinação		0,3489
Efeito da variável residual		0,8068

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Legenda: Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Teor de amilose aparente (TAA), Temperatura de gelatinização (TG), Índice de absorção de água (IAA).

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 10 têm-se os resultados de TG em razão da variável explicativa de GES, DG, IAA e TA. Observa-se que GES e TA possuem efeito direto positivo sobre TG, com 0,0303 e 0,2881, respectivamente. E juntamente com todos os outros caracteres apresentam efeito indireto positivo, contribuindo para estimativas positivas de correlação fenotípica de 0,4395 para GES e 0,4809 para TA.

Tabela 10 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, estimados a partir das correlações fenotípicas, sobre o Temperatura de gelatinização (TG) de grãos de arroz de terras altas.

<b>GES</b>		
Efeito Direto sobre	TG	0,0303
Efeito Indireto via	DG	0,0749
Efeito Indireto via	TA	0,1637
Efeito Indireto via	IAA	0,1704
Correlação		0,4395*
<b>DG</b>		
Efeito Direto sobre	TG	-0,2169
Efeito Indireto via	GES	-0,0104
Efeito Indireto via	TA	-0,0919
Efeito Indireto via	IAA	-0,0919
Correlação		-0,4465*
<b>IAA</b>		
Efeito Direto sobre	TG	-0,3831
Efeito Indireto via	GES	-0,0134
Efeito Indireto via	DG	-0,0520
Efeito Indireto via	TA	-0,0600
Correlação		-0,5087*
<b>TA</b>		
Efeito Direto sobre	TG	0,2881
Efeito Indireto via	GES	0,1722
Efeito Indireto via	DG	0,0957
Efeito Indireto via	IAA	0,0798
Correlação		0,4809*
Coefficiente de determinação		0,4436
Efeito da variável residual		0,7458

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Legenda: Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Teor de amilose aparente (TAA), Temperatura de gelatinização (TG), Índice de absorção de água (IAA).

Fonte: Do autor (2019).

A Tabela 11 apresenta os resultados de DG em razão da variável explicativa de GES, TA, IAA e TG. Observa-se que TA (-0,2651) e TG (-0,2849) causaram efeito direto negativo sobre DG e somando com os efeitos diretos negativos dos outros caracteres contribuiu para estimativas negativas de correlação fenotípica, sendo -0,4413 e -0,4465.



Tabela 11 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, estimados a partir das correlações fenotípicas, sobre a dimensão do grão (DG) de grãos de arroz de terras altas.

<b>GES</b>			
Efeito Direto sobre	DG		-0,0647
Efeito Indireto via	TA		-0,1507
Efeito Indireto via	TG		-0,1252
Efeito Indireto via	IAA		-0,0048
Correlação			-0,3456
<b>TA</b>			
Efeito Direto sobre	DG		-0,2651
Efeito Indireto via	GES		-0,0368
Efeito Indireto via	TG		-0,1370
Efeito Indireto via	IAA		-0,0022
Correlação			-0,4413*
<b>IAA</b>			
Efeito Direto sobre	DG		0,0108
Efeito Indireto via	GES		0,0288
Efeito Indireto via	TA		0,0552
Efeito Indireto via	TG		0,1449
Correlação			0,2399
<b>TG</b>			
Efeito Direto sobre	DG		-0,2849
Efeito Indireto via	GES		-0,2845
Efeito Indireto via	TA		-0,1275
Efeito Indireto via	IAA		-0,0055
Correlação			-0,4465*
Coeficiente de determinação			0,2692
Efeito da variável residual			0,8548

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Legenda: Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Teor de amilose aparente (TAA), Temperatura de gelatinização (TG), Índice de absorção de água (IAA).

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 12 observam-se os resultados de GES em razão da variável explicativa de DG, TA, TG e IAA. Nota-se que TA apresenta efeito direto positivo (0,4650) sobre GES e estimativa da correlação fenotípica de 0,5685. Já TG (0,3063) e IAA (-0,3203) causaram efeito negativo direto sobre GES resultando nas estimativas de correlação fenotípica de 0,4395 e -0,4448, respectivamente.

Analisando os resultados, verifica-se que é possível selecionar de modo indireto para GES via TA e TG, já que essas duas caracteres possuem efeito direto sobre GES. Na Figura 9, isso é explicado claramente, ao selecionar TA ou TG conseguem-se ganhos positivos para

GES, que é redução da porcentagem de grãos gessados e ao diminuir o índice absorção de água, tem-se aumento na incidência de grãos gessados, fato este indesejado pela cadeia produtiva da cultura.

Tabela 12 – Estimativas dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, estimados a partir das correlações fenotípicas, sobre o Gessamento (GES) de grãos de arroz de terras altas.

<b>DG</b>			
Efeito Direto sobre	GES		-0,0498
Efeito Indireto via	TA		-0,2052
Efeito Indireto via	TG		-0,1367
Efeito Indireto via	IAA		-0,0768
Correlação			-0,3456
<b>TA</b>			
Efeito Direto sobre	GES		0,4650
Efeito Indireto via	DG		0,0220
Efeito Indireto via	TG		0,0147
Efeito Indireto via	IAA		0,6676
Correlação			0,5685*
<b>TG</b>			
Efeito Direto sobre	GES		0,3063
Efeito Indireto via	DG		0,2226
Efeito Indireto via	TA		0,2236
Efeito Indireto via	TG		0,1629
Correlação			0,4395*
<b>IAA</b>			
Efeito Direto sobre	GES		-0,3203
Efeito Indireto via	DG		-0,0119
Efeito Indireto via	TA		-0,0969
Efeito Indireto via	TG		-0,1558
Correlação			-0,4448*
Coeficiente de determinação			0,4375
Efeito da variável residual			0,7499

\*Significativo a 5% de probabilidade.

Legenda: Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Teor de amilose aparente (TAA), Temperatura de gelatinização (TG), Índice de absorção de água (IAA).

Fonte: Do autor (2019).

## 5 DISCUSSÃO

Para uma seleção eficiente, é importante que os experimentos tenham alta precisão experimental (CARGNELUTTI FILHO et al., 2012). No presente trabalho, utilizou-se duas estimativas para medir a precisão, o coeficiente de variação (CV), classificado como baixo quando apresenta valores inferiores a 10%, médio quando de 10% a 20% , alto de 20% a 30%

e muito alto quando há valores acima de 30% (PIMENTEL GOMES, 2009) e a acurácia seletiva que se refere à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento genético e do estimado a partir das informações do experimento, ou seja, quanto maior a acurácia maior será a confiança na avaliação e no valor genético predito (RESENDE e DUARTE, 2007).

Observa-se que os coeficientes de variação experimental (CV) apresentaram, em média, boas estimativas (TABELA 4) (COSTA; SERAPHIN; ZIMMERMANN, 2002). Para RDT, o valor de CV (21,21%) é esperado, visto que esse caráter é influenciado pelo formato do grão, dureza, aparência do endosperma, regulação da máquina de beneficiamento e o grau de polimento, os quais podem provocar quebra dos grãos durante o beneficiamento (MINGOTTE; HANASHIRO; FORNASIERI FILHO, 2012). Já o GES, por se tratar de um caráter em que a avaliação foi realizada de modo visual, uma maior estimativa de CV comumente é observada (42,75%). Em trabalho conduzido por Rosário Neto et al. (2019) empregando a mesma metodologia, os autores encontraram valores semelhantes, considerando a característica gessamento de grãos. Para os caracteres pegajosidade e dureza foram realizadas as repetições de campo sem o uso de replicata, no entanto, as análises referentes à textura do grão são subjetivas, requerendo maior número de replicatas, fato que pode justificar, a princípio, as estimativas superiores do CV.

Em relação à acurácia seletiva, para todos os caracteres avaliados, exceto IAA e CEV, os valores de acurácia apresentaram de média a altas estimativas, permitindo inferir que os dados obtidos podem ser utilizados, com segurança pelos melhoristas, para a seleção de genótipos (RESENDE; DUARTE, 2007). Considerando IAA e CEV, as reduzidas estimativas da acurácia podem ser compreendidas pela baixa variabilidade genética encontrada para esses caracteres (TABELA 5).

Considerando as baixas estimativas de variância genética observadas para DG (0,0398), TG (0,03752), TA (0,3727), TMC (0,5048), podem indicar que os genes que controlam esses caracteres estejam em condições homozigóticas, fato esperado já que as linhagens eram provindas de um ensaio de VCU, o qual é um ensaio avançado do programa de melhoramento genético em que as linhagens se encontram em alto nível de locos em homozigose, associado ao fato de alguns materiais terem a mesma origem genética. Baixas estimativas de variância genética são comumente encontradas para TA, TG e DG (SUBBAIAH et al., 2011; GANGASHETTY, SALIMATH E HANAMARATTI, 2013; NIRMALADEVI et al., 2015; DEVI et al., 2016).

Os caracteres DUR (33,8180) E GES (54,4100) obtiveram maiores estimativas de variância genética, indicando a presença de variabilidade entre as linhagens que podem ser exploradas em programas de melhoramento genético no avanço das gerações. Destaque para DUR, em que a primeira avaliação para este caráter foi realizada na safra 2017/18, não sendo feita esta análise nos genótipos em outras safras anteriormente, fato que pode explicar a presença de maior variabilidade genética. Estes resultados também estão em conformidade com Streck et al. (2018) para GES. Entretanto, baixas estimativas de variância genética para GES também são relatadas para linhagens de arroz (Fernandes, 2015).

Neste trabalho os genótipos foram avaliados em diferentes ambientes e também anos agrícolas. Nestas condições presume-se que pode haver influências previsíveis e imprevisíveis de fatores ambientais (ALLARD; BRADSHAW, 1964). No entanto, essa interação GxE é constantemente relatada em outros trabalhos com a cultura do arroz (BARONA et al., 2019; INACIO et al., 2018; SMIDERLE et al., 2019; STREK et al., 2018; TOMÉ et al., 2019).

Foram encontrados efeitos significativos na interação genótipos x ambientes (GxE) ( $P < 0,05$ ) para todos os caracteres com exceção de PEG, DUR, IAA e CEV, ou seja, as linhagens apresentaram comportamentos não coincidentes nos diferentes ambientes. Essa interação não é favorável para os programas de melhoramento genético visando à qualidade dos grãos, pois prejudica a indicação de cultivares para diferentes regiões, uma vez que a interação GxE contribui para um aumento do desvio padrão fenotípico, além de reduzir a herdabilidade ao longo dos ambientes e a correlação entre o fenótipo e o genótipo, alterando o ranqueamento dos genótipos em diferentes ambientes. (RAMALHO et al., 2012).

Assim, a utilização de ferramentas que auxiliem o melhoramento, como a ACP, correlações e análises de trilhas, é importante no processo de seleção, pois permitem conhecer o comportamento dos caracteres de interesse, possibilitando o uso de uma seleção indireta mais eficiente, principalmente em genótipos em estágios iniciais, através da redução do número de caracteres a serem avaliados em programas de melhoramento genético, e com isto, possibilita ao melhorista avaliar um maior número de genótipos em mais ambientes e diminuir a interação GXE.

Nesse sentido, a ACP evidenciou que os caracteres DG, GES, TA, TG e IAA possuem ganhos separados das demais (Figura 9) e as correlações fenotípicas e as análises de trilhas auxiliaram na identificação entre os caracteres que apresentam maior efeito direto em sentido favorável à seleção (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2006).

Constata-se que DG atua de modo independente em relação aos outros caracteres. Foi observado também que esse caractere se correlaciona de forma negativa com TA e TG, esse

tipo de correlação é encontrada na literatura e indica que o ambiente e os genes que controlam tais caracteres podem favorecer um caráter em detrimento do outro (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2006; KUMAR, 2015).

As associações ente TA e TG podem ser explicadas pelo comportamento do amido nos grãos, já que proporção de amilose pode afetar nas propriedades físico-químicas, uma vez que, seu maior teor juntamente com a amilopectina de cadeia longa tende a causar grãos duros após o cozimento e o contrário tende a ter textura macia após o cozimento (MINGOTTE; HANASHIRO; FORNASIERI FILHO, 2012). O tamanho da cadeia da amilopectina influencia a TG e a amilopectina de cadeias curta correlaciona-se de modo negativo e o contrário de maneira positiva (CHÁVEZ-MURILLO et al., 2012).

Esta associação é desejável, uma vez que ambos são caracteres utilizados para seleção dos grãos no quesito qualidade culinária. A associação positiva significativa permite a seleção indireta reduzindo o número de caracteres avaliados nos programas de melhoramento. A busca do melhorista é sempre manter esse teor de amilose mais elevado e as temperaturas de gelatinização mais baixas (MARTINEZ; CUEVAS, 1989).

Ao obter ganhos para o caráter TA, conseqüentemente consegue-se o mesmo para IAA, o que é desejável, uma vez que, altos valores contribuem para maciez do grão após cocção, maior velocidade de absorção de água e conseqüentemente maior expansão na panela. Segundo Fitzgerald, Mccough e Hall (2009) IAA é dependente da razão amilose/amilopectina. E o mesmo ocorre para TG e GES, a seleção para TG resulta em uma redução da porcentagem de gessamento nos grãos. Todos esses fatos mencionados são desejados pela indústria e o consumidor final.

Do mesmo modo, observa-se na Tabela 7 que, a princípio, se selecionar para GES, é possível obter ganhos para TA e TG por meio da seleção indireta. Esses resultados estão de acordo com o gráfico de ACP (Figura 9), em que ao selecionar para GES tem-se a diminuição das notas de TG e o aumento do TA, esses dois fatores são ganhos positivos no melhoramento de grãos de arroz. Segundo Falconer e Mackay (1996) se um caráter correlacionar-se negativamente com alguns e positivamente com outros, deve-se tomar o cuidado de, ao selecionar esse, não provocar mudanças indesejáveis em outros. Mahubabu et al. (2017) usando quatro cultivares indianas de arroz obteve alta correlação positiva de GES com IAA, esses resultados controversas podem ser explicados pelo fato da correlação fenotípica conter na sua estimativa o componente ambiental.

A associação entre TA e GES (Figura 9), permite inferir que ao aumentar o teor de amilose ocorre à diminuição da incidência de gessamento nos grãos, fato desejável para os

dois caracteres por toda a cadeia produtiva do arroz. Existem diversos autores que relatam uma relação inversa entre o teor de amilose e gessamento, obtendo um conteúdo inferior de teor de amilose em grãos gessados, como consequência das altas temperaturas durante o enchimento do grão. O ambiente pode modificar o amido, atuando sobre as suas enzimas biossintéticas e alterando seus grânulos. A temperatura pode afetar a velocidade de acúmulo e propriedades do amido (ASHIDA; IIDA; YASUI, 2009; BECKLES; THISAKSAKUL, 2013; LIN et al., 2016; ZHOU et al., 2015).

Vale salientar no presente estudo, que todos os caracteres que se destacaram na análise dos componentes principais, com exceção do caractere IAA, os demais possuem alta herdabilidade, favorecendo que essas características possam ser utilizadas para seleção de genótipos com boa qualidade de grãos nos estágios iniciais dos programas de melhoramento genético da cultura do arroz.

A análise de trilha permite verificar as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre as variáveis respostas principais. Os coeficientes de determinação dos modelos das análises de trilha ( $R^2$ ) acompanham as magnitudes das correlações fenotípicas, fato que justifica as estimativas baixa a média observada nas análises. Fernandes (2015) em seu estudo com qualidade de grãos de linhagens de arroz encontrou valores de  $R^2$  semelhantes e classificou-o como intermediário, indicando que os caracteres de qualidade de grãos foram apropriados.

Considerando o resultado apresentado na Tabela 8, para a eficiência e precisão necessárias em um programa de melhoramento genético, o emprego do caráter TG para selecionar TA seria a melhor opção, visto que a metodologia utilizada para TG é mais precisa do que a utilizada em GES que é realizada de modo visual.

Já para selecionar o IAA por meio do caráter TG e GES (Tabela 9) não seria eficiente, pois teria que aumentar o número de grãos gessados e aumentar as notas de temperatura de gelatinização para obter menores valores de IAA, já que o consumidor deseja grãos que não precise de grandes quantidades de água para cozinhar. Com isso, as duas situações, são indesejáveis, visto que, a primeira afeta toda a cadeia produtiva do arroz, pois além de ser indesejada visualmente, deprecia o valor final da saca e modifica os atributos do amido. E a segunda, ao aumentar as notas de temperatura de gelatinização faz com que os grãos necessitem de mais água e maior tempo de cozimento, sendo rejeitado no mercado pelos consumidores (MINGOTTE; HANASHIRO; FORNASIERI FILHO, 2012). Diante disso, sugere-se que a análise de IAA seja implantada desde os estágios iniciais do programa de melhoramento de arroz, para que se realize a seleção direta sobre esse caráter.

É possível obter ganhos de seleção positivo (Tabela 10) para TG via GES e TA. A análise de componentes principais demonstra que ao selecionar TA ou GES há a diminuição das notas de TG, o que nesse caso é um ganho positivo direto.

Apesar disso, seria inviável utilizar TA para selecionar TG nos estágios iniciais do programa de melhoramento genético da UFLA, pois além dos ensaios iniciais obterem um número grande de materiais a serem avaliados, as análises de TA são onerosas, demandam mão de obra especializada, laboratório com equipamento específico e possuem um custo elevado. Contudo, é possível utilizar TG para selecionar TA como mencionado na Tabela 8. De acordo com os resultados, para obter notas intermediárias de TG, seria necessário obter também valores intermediários para GES, no entanto isto não pelo é desejável pelo mercado consumidor, como observado na Tabela 9.

Também a análise de trilha utilizando DG como variável principal (Tabela 11), evidenciou que este caráter não apresentou relação positiva com nenhum caráter, isto corrobora com os resultados encontrados na análise de componentes principais (Figura 9). Concluindo que este caráter atua de modo independente e, portanto, sugere-se a realização das avaliações deste caráter desde os estágios iniciais de programa de melhoramento genético de arroz. Essa sugestão é viável, uma vez que a análise dessa característica é feita por análise de imagem, não requer de mão de obra especializada, é executável com um número grande de materiais, rápida, fácil e possui alta precisão.

Por fim, na Tabela 12, verifica-se que é possível selecionar de modo indireto para GES via TA e TG, já que esses dois caracteres possuem efeito direto sobre GES. Na Figura 9, isso é explicado claramente, ao selecionar TA ou TG conseguem-se ganhos positivos para GES, que é redução da porcentagem de grãos gessados e ao diminuir o índice absorção de água, tem-se aumento na incidência de grãos gessados, fato indesejado como mencionado na Tabela 8. Utilizar TG para selecionar GES é mais viável, devido à metodologia utilizada ser mais fácil, custo baixo e não demanda laboratórios e mão-de-obra especializada.

## **6 CONCLUSÕES**

Os caracteres de qualidade industrial, física, química e culinária dos grãos foram diferenciados em seis grupos distintos, sendo estes DG, GES, TA, TG, IAA e os demais caracteres, o qual o melhorista deverá concentrar a seleção.

A dimensão dos grãos, índice de absorção de água e gessamento atuam de maneira independente, devendo o melhorista realizar a seleção direta visando obter ganhos genéticos para tais caracteres.

As características teor de amilose e temperatura de gelatinização estão altamente associadas, podendo utilizar um desses caracteres visando à seleção indireta no outro.

Os caracteres de qualidade dos grãos são fortemente influenciados pela interação genótipos x ambientes, com isto, recomenda-se realizar a adaptabilidade e estabilidade dos genótipos para cada caráter.



## REFERÊNCIAS

- ADAMI, A.C.O; MIRANDA, S.F.G. Transmissão de preços e cointegração no mercado brasileiro de arroz. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 49, n. 1, p. 55-80, 2011.
- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v.4, n.5, p.503-508, 1964.
- ASCHERI, D. P. R. et al. Correlation between grain nutritional content and pasting properties of pre-gelatinized red rice flour. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 1, p.16-24, 2012.
- ASHIDA, K., IIDA, S., YASUI. Morphological, physical, and chemical properties of grain and flour from chalky rice mutants. **Cereal Chemistry**, Saint Paul v. 86, n. 2, p. 225-231, 2009.
- BALINDONG, J.L. et al. Rice grain protein composition influences instrumental measures of rice cooking and eating quality. **Journal of cereal science**, London, v. 79, p. 35-42, 2018.
- BARONA, M.A. et al. Interacción genotipo ambiente en arroz para identificar mega-ambientes y ambientes ideales mediante el modelo de regresión por sitios y biplot. **Bioagro**, [s.l.], v. 31, n. 1, 2019.
- BASSINELLO, P.Z., ROCHA, M.S., COBUCCI, R.M.A. **Avaliação de diferentes métodos de cocção de arroz de terras altas para testes sensoriais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão. 2004.
- BHATTACHARYA, K. R. **Rice Quality**.1 ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011
- BECKLES, D.M., THITISAKSAKUL, M. How environmental stress affects starch composition and functionally in cereal endosperm. **Starch/Stärke**, Weinheim, v .65, p. 1-14, 2013.
- BERGMAN, C. J. Rice end-use quality analysis. In: \_\_\_\_ **Rice**. AACC International Press, 2019. p. 273-337.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in Plants**. Woodbury: Stemma Press, Ed. 2, 400p, 2010.
- BRANDÃO, J. B.; CONTREIRA, R. A.; CAIRES, L. M. Análise da comercialização do arroz: uma abordagem desde as agroindústrias gaúchas até a região Sudeste. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 01-15, 2016.
- BRASIL. Instrução normativa nº6, de 16 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 de fevereiro de 2009, seção 1, p. 3.
- BRESEGHELLO, F. et al. Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. **Crop Science**, Madison, v. 51, n.3, p. 914-923, 2011.

CALINGACION, M. et al. Diversity of global rice markets and the science required for consumer-targeted rice breeding. **PloS One**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. e85106, 2014.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Medidas de precisão experimental e número de repetições em ensaios de genótipos de arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 47, n. 3, 336-343. 2012

CARNEY, J.; MARIN, R. A. Aportes dos escravos na história do cultivo do arroz africano nas Américas. **Estudos sociedade e agricultura**, Rio de Janeiro, v. 12, p. 113-133, 2013.

CARVALHO, R.N. et al. Procedimento de determinação da dureza e pegajosidade de arroz polido cozido em texturômetro. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2015.

CASTRO, E. M. et al. **Qualidade de grãos em arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999.

CASTRO, E. M.; FERREIRA, C. M.; MORAIS, O. P. Qualidade de grãos e competitividade do arroz de terras altas. In: CONGRESSO DA CADEIA PRODUTIVA DE ARROZ/ 70 REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ – RENAPA, 1./ 7., 2002, Florianópolis. **Anais...** Documentos 153. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 220-233.

CASTRO, A.P. et al. **BRS Esmeralda: cultivar de arroz de terras altas com elevada produtividade e maior tolerância à seca**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão 2014.

CHÁVEZ-MURILLO, C. E. et al. Starch of diverse Mexican rice cultivars: physicochemical, structural, and nutritional features. **Starch-Stärke**, Weinheim, v. 64, n.9, p. 745-756, 2012.

CIACCO, C. F.; CHANG, Y. K. Como fazer massas. Campinas: Ícone, 1986.

COLTRO, L. et al. Environmental profile of rice production in Southern Brazil: A comparison between irrigated and subsurface drip irrigated cropping systems. **Journal of cleaner production**, Amsterdam, v. 153, p. 491-505, 2017.

CONCEPCION, J. C. T. et al. The need for new tools and investment to improve the accuracy of selecting for grain quality in rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 182, p. 60-67, 2015.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2017/18**: sétimo levantamento, v.5, n. 7. Acesso em maio, 2018

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2018/19**: sexto levantamento, v.6, n. 6. Acesso em março, 2019a.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Arroz-Análise Mensal – Fevereiro/Março 2019**. Acesso em: maio, 2019b.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2018/19**, v.6, n.8, 2019c.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Preços mínimos**. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/precos-minimos>. Acesso em: maio de 2019d.

COSTA, N. H. de A. D.; SERAPHIN, J. C.; ZIMMERMANN, F. J. P. Um método de classificação de coeficientes de variação para a cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 3, p. 243-249, 2002.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Grain quality of upland rice cultivars in response to cropping systems in the Brazilian tropical savanna. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 5, p. 468-473, 2008.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J., CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2006. 586p.

CRUZ, C.D. **Programa genes: biometria**. Viçosa: Ed. da UFV, 2006.

DENARDIN, C.C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, 2009.

DEVI, K.R. et al. Analysis of variability, correlation and path coefficient studies for yield and quality traits in rice (*Oryza sativa* L.). **Agricultural Research Communication Centre**, Haryana, v.37, n.1, p. 1-9, 2016.

DHANWANI, R. K. et al. Genetic variability analysis for various yield attributing and quality traits in rice (*Oriza sativa* L.). **The Bioscan**, Jharkhand, v. 8, n. 4, p. 1403-1407, 2013.

DHURAI, S. Y, REDDY, D.M., RAVI, S. Correlation and path analysis for yield and quality characters in rice (*Oryza sativa* L.). **Rice Genomics and Genetics**, British Columbia, v. 7, n. 4, 2016.

DONNELLY, B. J. Pasta products: raw material, tchnology, evaluation. **Macaroni Journal**, Minneapolis, v. 61, n.1, p. 6-18, 1979.

DUAN, Penggen et al. Natural variation in the promoter of GSE5 contributes to grain size diversity in rice. **Molecular plant**, [s.l.], v. 10, n. 5, p. 685-694, 2017.

ELIAS, M.; OLIVEIRA, M. D.; VANIER, N. **Qualidade do arroz da pós-colheita ao consumo**. Pelotas: UFPel, 2012.

FALCONER, D.S.; MACKAY, T.F.C. **Introducion to quantitative genetics**. 4.ed. New York: Longman, 1996.

FANG, Y. et al. Concentrations and health risks of lead, cadmium, arsenic, and mercury in rice and edible mushrooms in China. **Food chemistry**, Londres, v. 147, p. 147-151, 2014.

FAO - Food and Agriculture organizatoin of the United Nations. **Rice Market Monitor**, April 2018, Volume XXI, No 1, 2018. Disponível em:

<http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/>. Acesso em: 12 de maio de 2019.

FERNANDES, R.H. **Estimativa dos parâmetros genéticos para caracteres de qualidade de grão e características agronômicas de linhagens endogâmicas recombinantes de arroz (*Oryza sativa L.*)**. 2015. 83p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FERREIRA, C.M.; FIGUEIREDO, R.S.; LUZ, T.C.L.A. Arroz e feijão: intervenção multi-institucional em prol do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 96, 2018.

FITZGERALD, M. Rice: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. In: **Cereal Grains 2** ed. 2017. p. 291-315.

FITZGERALD, M. A., MCCOUCH, S. R., HALL, R. D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science**, Oxford, v.14, n.3, p. 133–139, 2009

FRANCO, D. F. et al. **Colheita, secagem, beneficiamento e tratamento de sementes de arroz irrigado**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2013.

GANGASHETTY P, SALIMATH P, HANAMARATTI N. Genetic variability studies in genetically diverse non-basmati local aromatic genotypes in rice (*Oryza sativa*.L). **Rice genomics and genetics**, British Columbia, v. 4, n. 2, p. 4-8, 2013

GOES, R.J. et al. Rice industrial quality under effect of sidedress nitrogen fertilization in no tillage. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 33, p. 219-227, 2016.

GOLAM, F.; PRODHAN, Z. H. Kernel elongation in rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 93, n. 3, p. 449-456, 2013.

HAIR JÚNIOR, J.F. et al. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. 539 p.

HOSENEY, R. C. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. **Journal of Chemical Information and Modeling**, Washington, v. 53, n. 9, p. 1689-1699, 2013.

HUANG, R. et al. Genetic bases of rice grain shape: so many genes, so little known. **Trends in plant science**, Oxford, v. 18, n. 4, p. 218-226, 2013

HUMMEL, C. Macaroni products, manufacture, processing and packing. 2. Ed. London: Food Trade Press. 1966. 287p.

IKEHASHI, H.; KHUSH, G. S. Methodology of assessing appearance of the rice grain, including chalkiness and whiteness. In: **Proc. of the workshop on chemical aspects of rice grain quality**. 1979. p. 223-229.

INACIO, H.B. et al. Phenotypic plasticity of upland rice lines cultivated in Minas Gerais State, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**. [s.l.], v. 12, n.5, 2018

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesConvencionais>>. Acesso em maio de 2019.

INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE. 1975. **Standard evaluation system for rice**. Los Baños, Philippines. 64p.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2007. 767 p.

JULIANO, B. O. **Rice chemistry and quality**. Philippines: Philippine Rice Research Institute, 2003. 480 p.

JULIANO, B. O. **Rice chemistry and technology**. 2. ed. Saint Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985.

KAMINSKI, T. A. et al. Composição química e alterações estruturais do arroz irrigado durante o armazenamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, 2013.

KUMAR, V. Variability and Correlation Studies for Physicochemical Characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.10, n.2, p. 917-922, 2015.

LI, Y. S.; et al. Correlation and path coefficient analysis for yield components of vegetable soybean in northeast China. **Legume Research**, Haryana, v. 36, n. 4, p. 284-288, 2013.

LIMA, J. M. E. et al. Relação qualidade de moagem e qualidade fisiológica de sementes de arroz durante o armazenamento. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 1, p. 31-40, 2019.

LIN, Z. et al. Chalky part differs in chemical composition from translucent part of japonica rice grains as revealed by a notched-belly mutant with white-belly. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.96, n.11,3937-3943, 2016.

LITTLE, R. R.; HILDER, G. B.; DAWSON, E. H. Differential effect of dilute alkali on 25 varieties of milled white rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 35, p. 111-126, 1958.

LONDERO, G. P. et al. Qualidade industrial de grãos de arroz decorrente da supressão da irrigação e umidade de colheita. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 587-601, 2015.

LORENZETT, D.B., NEUHAUS, M., SCHWAB, N.T. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Gestão Industrial**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 219-232, 2012.

MADHUBABU, P. et al. Evaluation of Grain Yield, Quality and Nutrients Content in Four Rice (*Oryza sativa* L.) Genotypes. **Current Journal of Applied Science and Technology**, [s.l.], v.22, n.1, p. 1-12, 2017.

MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad auditorial sobre el mismo tema. 3. ed. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 73p, 1989.

MILANI, P. et al. Social marketing of a fortified staple food at scale: generating demand for fortified rice in Brazil. **Journal of Food Products Marketing**, Binghamton, v. 23, n. 8, p. 955-978, 2017.

MINGOTTE, F. L. C.; HANASHIRO, R. K.; FORNASIERI FILHO, D. Características físico-químicas do grão de cultivares de arroz em função da adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 2605-2618, 2012.

NIRMALADEVI, G. et al. Genetic variability, heritability and correlation coefficients of grain quality characters in rice (*Oryza sativa* L.). **SABRAO J Breed Genet**, [s.l.], v. 47, n. 4, p. 424-433, 2015.

PAGNAN, M. F.; BASSINELLO, P. Z.; PRUDENCIO, S. H. Características sensoriais, físicas e químicas e aceitação de arroz irrigado ou de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 50, n. 10, p. 979-988, 2015.

PANDEY, A. et al. Rice quality under water stress. **Indian Journal of Advances in Plant Research**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 23-26, 2014.

PÉREZ, S.; BERFORT, E. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch-Stärke**, Weinheim, v. 62, n. 8, p. 389-420, 2010.

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

PRIYA, C. H. S. et al. Inter-relationship and path analysis for yield and quality characters in rice (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Environmental Science and Technology**, [s.l.], v. 6, p. 381-90, 2017.

QIAN Q. et al. Breeding high-yield superior quality hybrid super rice by rational design. **National Science Review**, [s.l.], v. 3, n. 3, p. 283-294, 2016.

QIAO, J.F. et al. Occurrence of perfect and imperfect grains of six japonica rice cultivars as affected by nitrogen fertilization. **Plant Soil**, [s.l.], 349, 191e202, 2011.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 522 p

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.37, p.182-194, 2007.

ROSÁRIO NETO, A. et al. Selection Strategies for Grain Quality in Upland Rice Lines. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v.11, n.3. 2019.

- SARAIVA, M. B. et al. Políticas agrícolas de garantia de preço mínimo: impactos sobre os preços do arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Nexos Econômicos**, Salvador, v. 8, n.2, p. 61-74, 2014.
- SCREENIVASULU, N. et al. Designing climate - resilient rice with ideal grain quality suited for high-temperatures stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 66, p. 1737 -1748, 2015.
- SESMAT, A., MEULLENETM J.F., Prediction of rice sensory texture attributes from a single compression test, multivariate regression, and stepwise model optimization method. **Journal of Food Science**, Champaign, v.66, n.1, p. 124-131, 2001.
- SILVA, I. J. S., PAIM, A. P. S., SILVA, M. J. Composition and estimate of daily mineral intake from samples of Brazilian rice. **Microchemical Journal**, New York, v. 137, p. 131-138, 2018.
- SIMONELLI, C.; ABBIATI, A.; CORMEGNA, M. Physicochemical Characterization of some Italian rice varieties. **The Journal of Food Science and Nutrition**, Rome, v. 45, n. 1, p. 9-23, 2016.
- SMIDERLE, E.C. et al. Index selection for multiple traits in upland rice progenies. **Revista de Ciências Agrárias**. Lisboa, v. 42, n.1, p.4-12, 2019.
- SOARES, A. A. et al. BRSMG Caçula: very early upland rice cultivar for Minas Gerais. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s.l.], v. 13, n. 3, p. 208-211, 2013.
- SON, J. S. et al. Understanding the effect of culture on food representations using word associations: the case of “rice” and “good rice” **Food quality and Preference**, Barking, v. 31, p. 38-48, 2014.
- STORCK, C. R.; SILVA, L.; COMARELLA, C. G. Influência do processamento na composição nutricional de grãos de arroz. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 16, n.3, p. 259-264, 2009.
- STREK, E.A. et al. Adaptability and stability of flood-irrigated rice cultivars released to the subtropical region of Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.53, n.10, p.453-463, 2018.
- SUBBAIAH, O.V. et al. Variability and genetic parameters for grain yield and its components and kernel quality attributes in CMS based rice hybrids (*Oryza sativa* L.) **International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology**, [s.l.], v.2 p. 603-609, 2011.
- TOMÉ, L.M. et al. Grain Yield in Indirect Selection for Multiple Characters in Upland Rice. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v.11, n.2, p.516-523, 2019.
- UTUMI, M. M. **Sistemas de produção de arroz de terras altas**. Porto Velho:Editora Técnica, 2008.

VAMADEVAN, V.; BERTOFT, E.; SEETHARAMAN, K. On the importance of organization of glucan chains on thermal properties of starch. **Carbohydrate polymers**, Barking, v. 92, n. 2, p. 1653-1659, 2013.

VANIER, N. L. et al. Thiamine content and technological quality properties of parboiled rice treated with sodium bisulfite: Benefits and food safety risk. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 41, p. 98– 103, 2015

VILLANOVA, F. A. et al. Improvement of the quality of parboiled rice by using anti-browning agents during parboiling process. **Food chemistry**, London, v. 235, p. 51-57, 2017.

WANG, T. et al. Grain length and Awn 1 negatively regulates grain size in rice. **Journal of Integrative Plant Biology**, [s.l.: s.n.], p.1-12, 2018.

Xi, M. et al. Endosperm structure of white-belly and white-core rice grains shown by scanning electron microscopy. **Plant Production Science**. v. 17, n. 4, p. 285-290, 2014.

XI, M. et al. Comparison of physicochemical characteristics between white-belly and white-core rice grains. **Journal of cereal science**, London, v. 69, p. 392-397, 2016.

ZAVAREZE, E. R. et al. Teor de amido resistente e perfil de textura de amidos de arroz com diferentes níveis de amilose modificados hidrotermicamente. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 13, p. 96-101, 2010.

ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 83, n. 2, p. 317–328, 2011.

ZHAO, X. et al. Identification of stable QTLs causing chalk in rice grains in nine environments. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 129, p. 141-153, 2016.

ZHOU, Z. et al. Composition and functional properties of rice. **International journal of food science & technology**, Oxford, v. 37, n. 8, p. 849-868, 2002.

ZHOU, L. et al. Factors affecting head rice yield and chalkiness in indica rice. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 172, p. 1-10, 2015.

ZUO, J.; Li, J. Molecular genetic dissection of quantitative trait loci regulating rice grain size. **Annual Review of Genetics**, Palo Alto, v. 48, p. 99-118, 2014.



## ANEXO 1

Tabela 12 – Médias BLUP's dos caracteres Renda (REN), Rendimento de grãos inteiros (RDT), Gessamento (GES), Dimensão do grão (DG), Tempo Mínimo de Cozimento (TMC), Teor de Amilose Aparente (TA), Temperatura de Gelatinização (TG), Dureza (DUR), Pegajosidade (PEG), Índice de Absorção de Água (IAA) e Coeficiente de Expansão de Volume (CEV).

GENÓTIPOS	REN	RENDT	GES	DG	TMC	TA	TG	DUR	PEG	IAA	CEV
1	67,35587	51,15234	-1,86455	3,230184	17,97481	19,81016	3,464929	0	0	271,5536	271,011
2	71,67765	28,16997	24,3086	3,173992	22,94877	19,75845	3,596712	0	0	263,5885	376,8455
3	67,20322	30,52473	15,25276	3,753414	21,77557	20,62446	2,789946	108,2646	-4,19809	297,1404	298,3642
4	70,89188	38,03582	6,587199	3,13847	23,80023	20,93702	3,859389	0	0	286,0723	420,1744
5	72,76464	47,2513	-0,18015	2,980535	22,62693	21,41218	2,536012	109,335	-3,78327	288,5091	283,4951
6	69,14517	34,79032	5,032292	3,345018	22,06559	21,81131	3,527467	131,766	-5,24487	295,1492	294,9003
7	69,36167	33,64101	4,951377	3,709581	20,60488	22,1979	4,350295	0	0	281,7296	410,1614
8	69,24847	36,72275	38,86205	3,700718	20,36384	23,32981	3,317554	96,48108	-6,81749	288,8597	290,6908
9	68,90552	34,79349	39,47528	3,69962	19,33753	23,08171	3,412126	107,9578	-5,92199	280,3771	278,8818
10	69,39308	28,37055	25,98426	3,594228	23,98254	23,72677	3,292667	135,419	-4,77363	298,4647	300,4508
11	68,01758	31,26491	8,22302	3,301867	21,48992	20,97919	4,038468	0	0	278,3031	377,208
12	68,76504	30,07331	0,841898	3,701815	22,80468	21,44736	3,570132	138,4222	-6,26017	287,1435	282,3098
13	69,0515	24,53593	4,67874	3,0699	21,7378	22,54764	4,265667	0	0	274,6637	321,336
14	68,97989	29,88323	8,609457	4,013602	20,24128	20,24119	2,837443	113,9965	-5,6731	293,9683	302,0877
15	72,16139	30,3505	15,9682	3,170461	19,90542	23,14063	3,471855	107,7508	-6,64181	288,8065	282,7875
16	67,98	33,41545	11,88001	3,919187	22,9787	20,72396	3,114341	118,7322	-6,44538	284,7924	291,6491
17	69,44266	34,56382	2,579378	3,712794	23,03576	20,63974	2,558392	128,0936	-5,19241	289,0656	284,8111
18	70,91358	33,1541	0,02426	4,155223	20,65395	20,60063	2,701495	118,5152	-4,16392	297,2506	301,4332
19	73,9316	52,80962	-0,50136	3,011689	21,66921	22,81702	3,986496	0	0	279,2322	340,501
20	67,71556	32,88483	14,23072	3,583249	21,57912	21,70454	3,212374	130,6856	-6,51371	288,42	285,9688
21	70,92764	43,10323	57,36635	2,768709	19,90765	23,96349	3,606887	118,7336	-5,04845	293,9707	412,6142
22	69,59746	31,7931	45,22097	2,830074	23,85116	21,22478	3,603046	128,0095	-7,09444	290,1993	398,0415
23	69,34299	35,24158	3,304593	3,780153	21,97286	22,02188	2,908995	126,8291	-5,83659	290,6437	337,9759
24	68,15161	30,95038	23,15192	3,743024	21,13379	20,09681	2,502582	127,096	-4,07974	293,8966	387,1949
25	68,94972	23,63206	12,19146	3,763284	22,61442	21,52106	2,80453	140,4562	-6,76744	292,0413	402,0909
26	70,97391	35,62967	2,415906	4,192251	20,07335	21,16011	2,229254	113,6968	-5,31441	305,8699	405,3285
27	71,08958	38,82312	8,044254	3,155199	22,76421	23,25813	3,424167	133,3046	-9,67603	295,9267	391,5677

## ANEXO 2

Figura 10 - Valores genotípicos (Blup's) e erros associados dos genótipos para renda, rendimento de grãos inteiros, gessamento, dimensão do grão, tempo mínimo de cozimento, teor de amilose aparente, temperatura de gelatinização, dureza, pegajosidade, índice de absorção de água e coeficiente de expansão de volume (Continua).

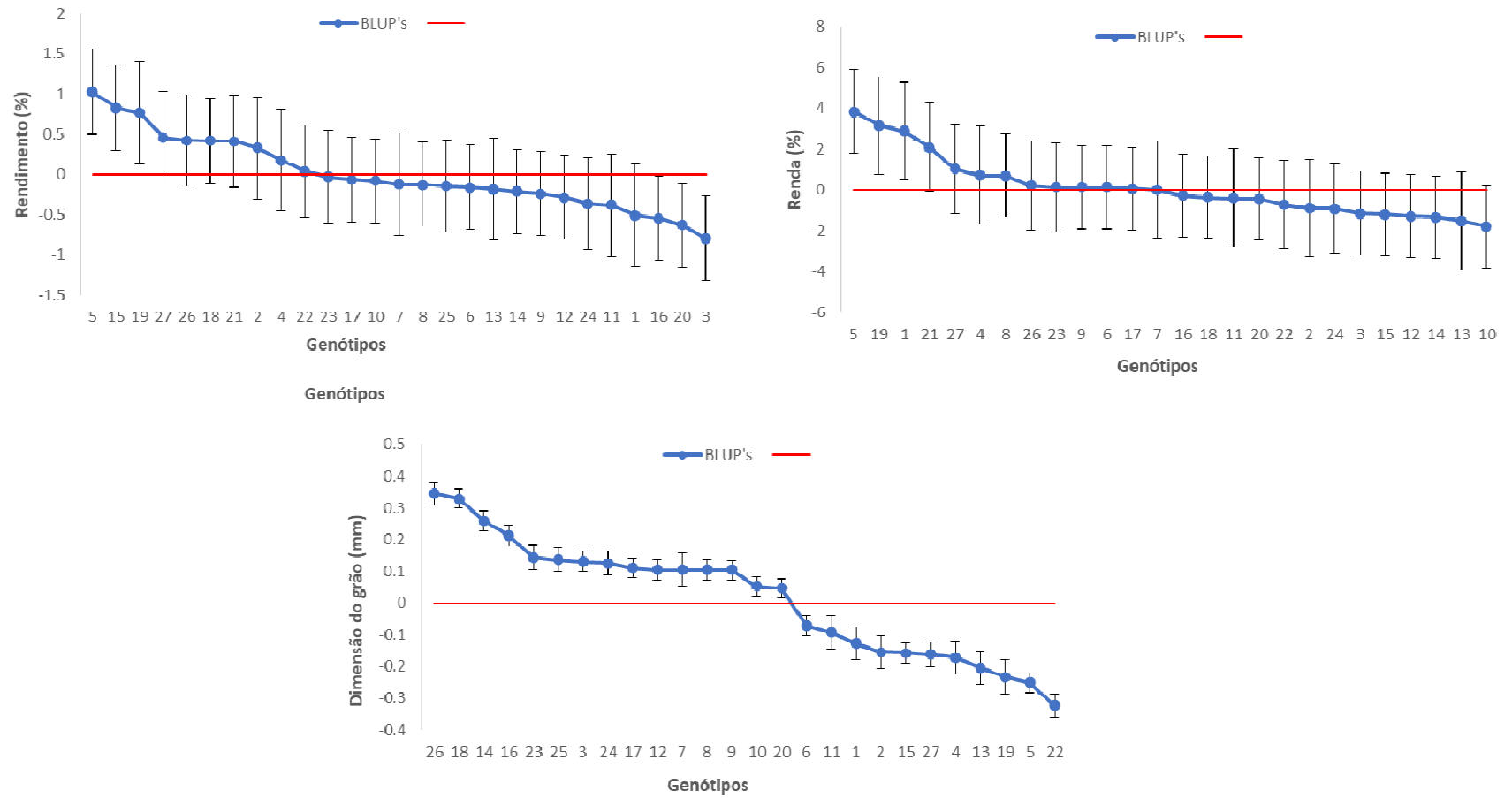


Figura 10 - Valores genotípicos (Blup's) e erros associados dos genótipos para renda, rendimento de grãos inteiros, gessamento, dimensão do grão, tempo mínimo de cozimento, teor de amilose aparente, temperatura de gelatinização, dureza, pegajosidade, índice de absorção de água e coeficiente de expansão de volume (Continua).

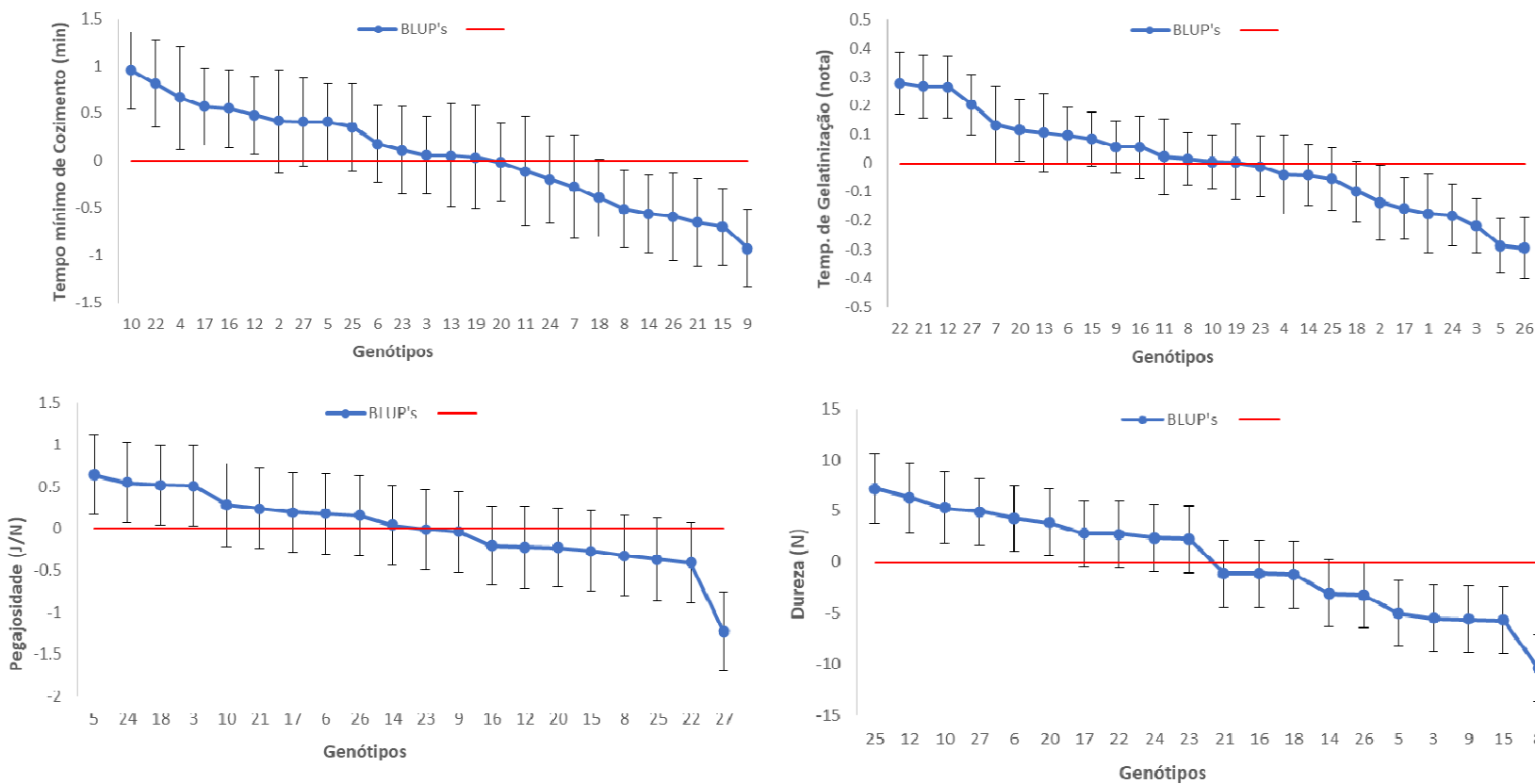
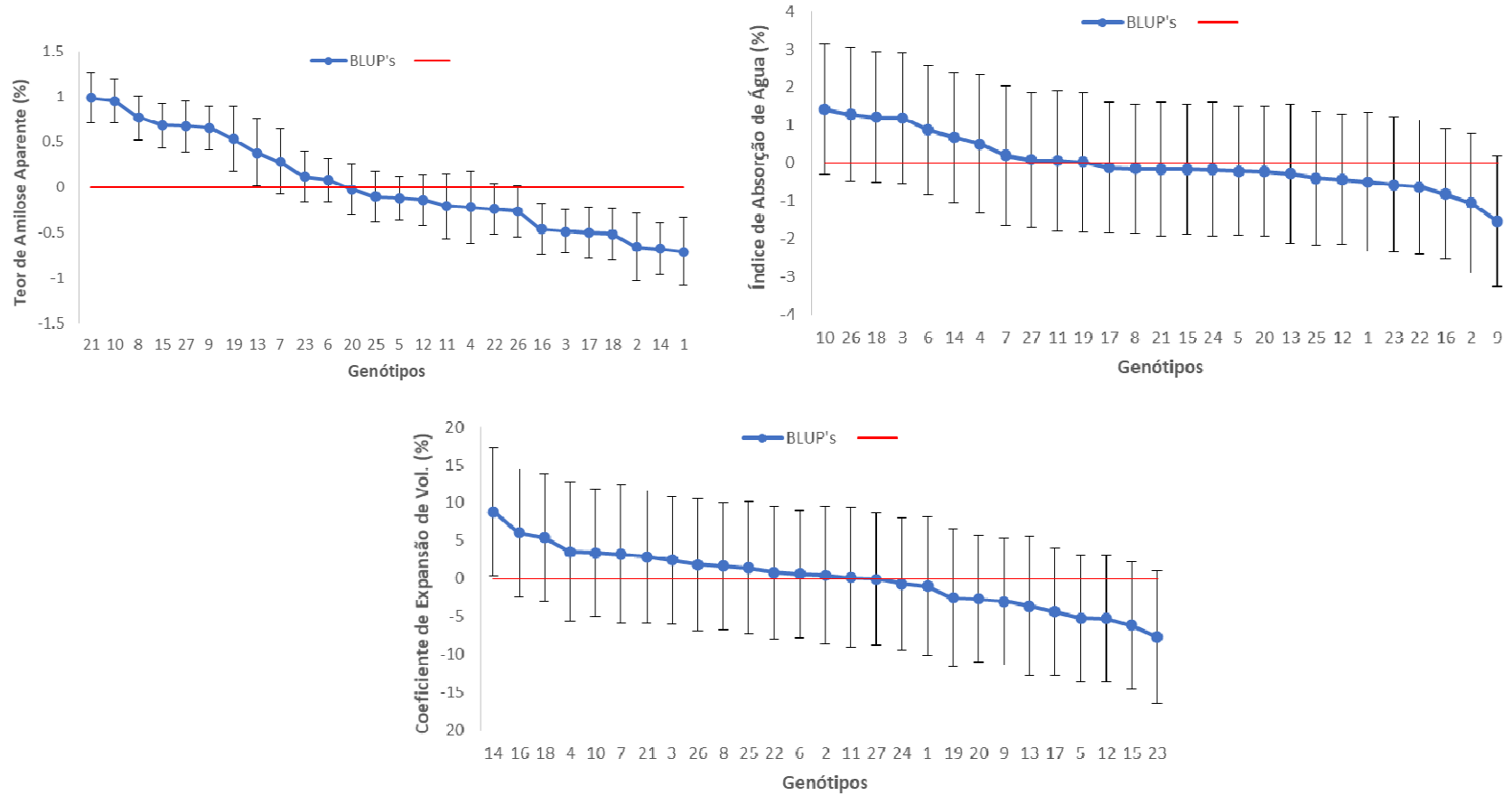


Figura 10 - Valores genotípicos (Blup's) e erros associados dos genótipos para renda, rendimento de grãos inteiros, gessamento, dimensão do grão, tempo mínimo de cozimento, teor de amilose aparente, temperatura de gelatinização, dureza, pegajosidade, índice de absorção de água e coeficiente de expansão de volume (Conclusão).



Fonte: Do autor (2019)