

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



Dissertação

**Parâmetros genéticos e correlações para caracteres de qualidade de grãos em
arroz irrigado**

Paulo Henrique Karling Facchinello

Pelotas, 2017

Paulo Henrique Karling Facchinello

**Parâmetros genéticos e correlações para caracteres de qualidade de grãos em
arroz irrigado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de conhecimento: Fitomelhoramento).

Orientador: Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior

Co-orientador: Dr. Luciano Carlos da Maia

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

F137p Facchinello, Paulo Henrique Karling

Parâmetros genéticos e correlações para caracteres de qualidade de grãos em arroz irrigado / Paulo Henrique Karling Facchinello ; Ariano Martins de Magalhães Júnior, orientador ; Luciano Carlos da Maia, coorientador. — Pelotas, 2017.

82 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Oryza sativa L.. 2. Rendimento de engenho. 3. Modelos mistos. 4. Interação genótipos x ambientes. 5. Seleção indireta. I. Magalhães Júnior, Ariano Martins de, orient. II. Maia, Luciano Carlos da, coorient. III. Título.

CDD : 633.18

Paulo Henrique Karling Facchinello

Parâmetros genéticos e correlações para caracteres de qualidade de grãos em arroz irrigado

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 03/03/2017

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior: _____
(Embrapa Clima Temperado)

Prof. Ph. D. Antônio Costa de Oliveira: _____
(Departamento de Fitotecnia/FAEM/UFPEL)

Prof^a. Dr^a. Beatriz Helena Gomes Rocha: _____
(Instituto de Biologia /UFPEL)

Prof. Dr. Maicon Nardino: _____
(UFSM /Campus Frederico Wesphalen)

À minha família, pai Paulo, mãe Marilete,
meus irmãos Luís Paulo e Roberto e noiva Renata,
pelos ensinamentos, apoio, credibilidade,
companheirismo, paciência e amor incondicional.

Agradecimentos

A Deus por iluminar meu caminho, meus pensamentos e ações em todos os dias da minha vida, me fortalecendo em todos os momentos difíceis.

Ao Pesquisador Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior pela oportunidade, confiança, paciência, orientação, amizade e incentivo.

Aos Prof. Dr. Luciano Carlos da Maia pelos ensinamentos transmitidos.

Aos Profs. Drs. Antônio, Beatriz e Maicon pela disponibilidade de avaliação da dissertação.

Aos Doutorandos e amigos Eduardo e Gabriel pelo companheirismo, disponibilidade, colaborações, ensinamentos, conselhos e amizade, me desculpem pelos gols perdidos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelos conhecimentos transmitidos.

As estagiárias, Tuíse e Janaína, pela ajuda e paciência, onde sem vocês o trabalho se tornaria muito mais difícil.

Aos funcionários da Embrapa, em especial a toda equipe do MelhorArroz por todo auxílio na condução dos experimentos, além da amizade, incentivo e apoio.

A todos os meus amigos, colegas e familiares, que sempre me apoiaram.

A Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de participar do PPG em Agronomia, para a obtenção do grau de Mestre.

A Embrapa Clima Temperado pela disponibilidade dos campos experimentais, laboratórios e toda infraestrutura para condução das minhas pesquisas.

A CAPES/EMBRAPA pela concessão da bolsa de estudos.

A todos aqueles que, de alguma forma, acreditaram no meu potencial e colaboraram para que eu realizasse o mestrado.

Resumo

FACCHINELLO, Paulo Henrique Karling. **Parâmetros genéticos e correlações para caracteres de qualidade de grãos em arroz irrigado**. 2017. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

A busca incessante por maior produtividade e qualidade dos alimentos é uma das maiores preocupações mundiais. O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das bases na alimentação e segundo cereal mais produzido no mundo, sendo considerada uma das principais culturas com potencial para combater a fome. Desta forma, os programas de melhoramento desse cereal têm intensificado a busca por genótipos superiores, prioritariamente para produtividade, contudo, atualmente também estão focando neste mesmo nível de prioridade os atributos de qualidade de grãos. Sendo estes atributos decisivos na adoção de uma linhagem melhorada como uma cultivar comercial, pois reflete diretamente no seu valor de mercado e aceitação do consumidor. Neste sentido, o presente trabalho teve por objetivo determinar a adaptabilidade e estabilidade, bem como, estudar as correlações genéticas, dos caracteres de qualidade de grão de cultivares e linhagens elites de arroz irrigado para facilitar as inferências requisitadas pelos melhoristas. Dois ensaios experimentais foram conduzidos em diferentes ambientes, nas safras agrícolas de 2014/15 e 2015/16. O primeiro experimento teve como objetivos avaliar a adaptabilidade e estabilidade de linhagens elites de arroz irrigado em oito ambientes distintos, pelos métodos de MHVG, PRVG e MHPRVG. As linhagens AB11502, AB10501, AB13008, AB13002 e AB13003 apresentaram bom desempenho agrônomo, além de adaptabilidade e estabilidade para os caracteres de qualidade de grãos, perante os métodos propostos. O segundo experimento teve o objetivo de evidenciar as correlações genéticas e as associações diretas e indiretas de caracteres agrônômicos e atributos de qualidade de grãos, relacionados ao rendimento de grãos inteiros em arroz irrigado pela análise de trilha. A área gessada total, juntamente com a brancura total são os fatores que mais influenciaram no percentual de grãos inteiros, tanto via correlações genotípicas, quanto via efeitos diretos pela análise de trilha, demonstrando assim, potencial para utilização como critérios de seleção indireta para rendimento de grãos inteiros. Cabe ressaltar que ainda há poucos trabalhos na área de genética quantitativa para o caráter de qualidade dos grãos, de maneira que o progresso genético da mesma está apenas no começo. Neste sentido, novas pesquisas devem ser realizadas, visando utilizar cada vez mais, tais ferramentas no processo de seleção.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; rendimento de engenho; grãos inteiros; grãos vítreos; grãos gessados; modelos mistos; interação genótipos x ambientes; seleção indireta.

Abstract

FACCHINELLO, Paulo Henrique Karling. **Genetic parameters and correlations for grain quality traits in irrigated rice**. 2017. 82 p. Dissertation (Master's Degree) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

Nowadays, the incessant quest for greater productivity and food quality is one of the world's biggest concerns. Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the bases in human nutrition, being the second most produced cereal in the world, considered one of the main crops with potential to fight hunger. In this way, they are highly important among breeding programs. These factors that intensify the search for superior genotypes, mainly for productivity, however, the attributes of grain quality are also classified at this same level of priority. These attributes are decisive in the adoption of an improved lineage as a commercial cultivar, as it directly reflects its market value and consumer acceptance. In this sense, the objective of the present work was to determine the adaptability and stability, as well as to study the genetic correlations of grain quality traits of cultivars and elite breeding lines of irrigated rice to facilitate the inferences requested by breeders. Two experimental trials were conducted in different environments, in the agricultural crops of 2014/15 and 2015/16. The first experiment had as objectives to evaluate the adaptability and stability for elite breeding lines of irrigated rice in eight different environments, by the methods of MHVG, PRVG and MHPRVG. The lines AB11502, AB10501, AB13008, AB13002 and AB13003 showed good agronomic performance, besides adaptability and stability for grain quality characters, in relation to the proposed methods. The second experiment had the objective of evidencing the genetic correlations and the direct and indirect associations of agronomic traits and grain quality attributes, related to the yield of whole grains in rice irrigated by path analysis. The total chalky area together with the total whiteness were the factors that influenced the percentage of whole grains, both via genotypic correlations and via direct effects through path analysis, thus showing potential for use as indirect selection criteria for yield whole grain. It should be emphasized that there are still few studies in quantitative genetics for the grain quality traits, so that the genetic progress is only at the beginning. In this sense, new research must be carried out, aiming to use these tools more and more in the selection process.

Keywords: *Oryza sativa* L.; whole grains; vitreous grains; chalky grains; mixed models; genotype environment interaction; indirect selection.

Lista de Figuras

Artigo III	61
Figura 1 Diagrama causal ilustrando os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas comprimento da cariopse (CC), largura da cariopse (LC), somatório do percentual de grãos gessados e com barriga branca (BB+G), área gessada total (AG), defeitos de coloração (DC), brancura total (BRT), brancura vítrea (BRV), massa de mil grãos (MMG), dias até a floração (DAF), massa de panícula (MP) e comprimento de panícula (CP), sobre a variável resposta percentual de grãos inteiros (GI), excluindo o efeito do erro residual (ε).....	67

Lista de Tabelas

Artigo I		15
Tabela 1	Composição do grão de arroz (em 100g), do tipo integral, polido e parboilizado	36
Tabela 2	Limites máximos de tolerância de defeitos (%), estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, para enquadramento do arroz beneficiado polido* em tipo comercial.....	37
Artigo II		38
Tabela 1	Características geográficas dos ambientes, safra, local, latitude, longitude e altitude, onde foram avaliados os 14 genótipos de arroz irrigado nos ensaios de valor de cultivo e uso, no estado do Rio Grande do Sul.....	43
Tabela 2	Lista de 14 genótipos avaliados em cada safra nos diferentes ambientes do ensaio valor de cultivo e uso, suas respectivas classificações, totalizando 21 genótipos diferentes.....	43
Tabela 3	Estimativas dos componentes da variância (REML individual) em genótipos de arroz irrigado, cultivados em oito ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, para as variáveis: TOT - percentual total de grãos polidos; GI - percentual de grãos inteiros; GQ - percentual de grãos quebrados; G+BB - somatório do percentual de grãos gessados e com barriga branca; CC - comprimento médio de grãos; LC - largura média de grãos; DC - somatório do percentual de defeitos de coloração de grãos; AG - área gessada total de grãos.....	48
Tabela 4	Estabilidade de valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG μ) e simultaneamente adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG μ) dos 21 genótipos de arroz irrigado preditos pela análise BLUP, para as variáveis de INT - percentual de grãos inteiros, QUEB - percentual de grãos quebrados e TOT - percentual total de grãos polidos, com suas respectivas classificações (r^o - ranking); cultivados em oito ambientes no estado do Rio Grande do Sul.....	52
Tabela 5	Estabilidade de valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG μ) e simultaneamente adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG μ) dos 21 genótipos de arroz irrigado preditos pela análise BLUP, G+BB - somatório do percentual de grãos gessados e com barriga branca, DC - somatório percentual de defeitos de coloração de grãos e AG - área gessada total de grãos, com suas respectivas classificações (r^o - ranking); cultivados em oito ambientes no estado do Rio Grande do Sul...	54

Artigo III		61
Tabela 1	Resumo da análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos dos caracteres agronômicos avaliados em 23 genótipos de arroz irrigado em dois locais do Rio Grande do Sul.....	70
Tabela 2	Correlações genotípicas entre caracteres agronômicos avaliados em 23 genótipos de arroz irrigado em dois locais do Rio Grande do Sul.....	71
Tabela 3	Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, estimados a partir das correlações fenotípicas, sobre percentual de grãos inteiros em 23 genótipos de arroz irrigado.....	74

Sumário

1	Introdução.....	12
2	Artigo I: Arroz Irrigado: Qualidade de grão longo fino no Brasil.....	15
	RESUMO.....	16
	ABSTRACT	17
	INTRODUÇÃO	17
	Padrão de consumo e qualidade de arroz no Brasil.....	19
	Grãos vítreos e gessados.....	21
	Rendimento de engenho, grãos inteiros e quebrados	23
	Qualidade de grãos nos programas de melhoramento genético	26
	Interação genótipo x ambiente na qualidade de grãos	27
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS.....	29
3	Artigo II: Adaptabilidade e estabilidade de linhagens elites de arroz irrigado para qualidade de grãos	38
	RESUMO.....	39
	INTRODUÇÃO	40
	MATERIAL E MÉTODOS.....	42
	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
	CONCLUSÃO.....	55
	ABSTRACT	55
	REFERÊNCIAS.....	56
4	Artigo III: Correlações genéticas e estimativas de análise de trilha para componentes da qualidade de grãos em arroz irrigado.....	61
	RESUMO.....	62
	ABSTRACT	63
	INTRODUÇÃO	63

MATERIAL E MÉTODOS	65
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
CONCLUSÃO.....	76
REFERÊNCIAS	76
5 Considerações Finais	80
Referências	81

1 Introdução

O aumento da produção, bem como a melhor qualidade dos alimentos, têm sido motivos de grandes preocupações e discussões em âmbito mundial, decorrente do aumento populacional. Tal fato intensifica os esforços no desenvolvimento de métodos e tecnologias, com o intuito de superar e combater as dificuldades para a melhoria destas características. Estes esforços são principalmente direcionados para as culturas componentes da base alimentar da população mundial, e que apresentam um elevado potencial para o melhoramento destes atributos.

O arroz (*Oryza sativa* L.) apresenta um importante papel estratégico em níveis econômicos e sociais, além de ser fundamental na nutrição humana, sendo responsável por suprir 20% das calorias consumidas na alimentação de pessoas mundialmente (SOSBAI, 2016). Possui um excelente balanço nutricional, apresentando 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem, além de ser uma cultura adaptada a condições distintas de ambientes, desta forma, é considerada a espécie de maior potencial para combater a fome no mundo (GOMES; MAGALHÃES Jr., 2004).

Segundo a FAO (2014), o arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo, com área cultivada de aproximadamente 163,2 milhões de hectares, com produtividade média de 4,53 Mg ha⁻¹. O continente asiático responde por mais de 90% da produção total do cereal, guiados principalmente pela China, Índia e Indonésia.

O Brasil aparece como o nono produtor mundial de arroz, sendo o maior produtor fora do continente asiático, com uma produção anual de 11 a 13 milhões de toneladas de arroz entre as safras de 2009/10 e 2015/16 (SOSBAI, 2016). Dentre toda esta produção de arroz brasileira, apenas o estado do Rio Grande do Sul é responsável por aproximadamente 70%, seguido por Santa Catarina com produção de 9,8% na última safra agrícola (CONAB, 2016). Nestes dois estados sulinos o cultivo do arroz é realizado sob sistema irrigado, sendo que este sistema contempla uma maior produtividade em relação ao cultivo de sequeiro.

Toda esta ênfase demonstrada para a cultura do arroz aponta a fundamental importância da mesma perante os programas de melhoramento genético, no qual buscam incessantemente o desenvolvimento de genótipos superiores.

A produtividade é o principal atributo buscado nos programas de melhoramento de arroz, contudo, os principais incrementos significativos no potencial de produtividade foram obtidos através da substituição das cultivares tradicionais pelas cultivares modernas de porte baixo (semi-anãs de alta capacidade de emissão de afilhos, colmos robustos e curtos, e folhas eretas) (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2003). No entanto, a qualidade de grãos em arroz reflete diretamente no seu valor de mercado e na aceitação pelo consumidor, onde segundo Walter (2008) uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados, sendo na grande maioria consumida na forma de grão (*"in natura"*). Os atributos de qualidade de grãos em arroz se tornaram prioridade nos programas de melhoramento, ao mesmo nível que a produtividade, sendo decisiva na adoção de uma linhagem melhorada como uma nova cultivar comercial (RANGEL et al., 2000).

Os atributos de qualidade de grãos em arroz irrigado são caracteres quantitativos, de forma complexa, necessitando de parâmetros confiáveis para guiar o melhorista, com o intuito de elevar a eficiência de seleção para estes caracteres. Assim, é importante conhecer as fontes de variância (efeitos genéticos, ambientais e interação genótipo x ambiente), as magnitudes das mesmas, bem como utilizar ferramentas adequadas nas estimativas destes parâmetros.

Os programas de melhoramento priorizam uma seleção de genótipos superiores para diversos ambientes. As diferentes respostas dos genótipos, decorrente da variação de ambiente para ambiente, ocorre por um fenômeno natural denominado de interação de genótipos com os ambientes (G x E) (EBERHART e RUSSEL, 1966). Contudo, uma análise da G x E mal sucedida, pode acarretar em problemas e dificuldades aos pesquisadores, reduzindo significativamente a acurácia de seleção para ambientes distintos. Desta forma, a presença desta interação contribui para um aumento do desvio no padrão fenotípico, além de redução da herdabilidade ao longo dos ambientes, resultando diretamente em menores ganhos genéticos potenciais (MATHERSON e RAYMOND, 1986).

A existência da G x E pode significar que o melhor genótipo em um ambiente, pode não ser o melhor, em outro ambiente (FALCONER, 1981). Neste contexto, suas variâncias permitem a identificação da resposta de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos frente a diferentes ambientes. Sendo que, a adaptabilidade é a capacidade de um genótipo de responder de maneira favorável

às mudanças ambientais, enquanto a estabilidade é a capacidade de um genótipo obter um desempenho com alta previsibilidade em condições ambientais distintas (MARIOTTI et al., 1976).

Outros parâmetros importantes para utilização como critérios de seleção pelos melhoristas, são as estimativas das correlações genéticas e fenotípicas existentes entre os caracteres de qualidade de grãos em arroz. O estudo destas correlações possibilita o uso da seleção indireta, sendo recomendada para caráter de difícil mensuração, baixa herdabilidade, bem como para realização de seleção precoce (CARVALHO et al., 2004; NARDINO et al., 2016).

Segundo Falconer (1981), a seleção indireta corresponde a uma seleção aplicada a um caráter secundário, com o intuito de melhorar outro caráter desejado, através de uma resposta correlacionada entre os dois. Neste sentido, o método de análise de trilha ("Path analysis") (Wright, 1923) é uma ferramenta muito importante no estudo das correlações, pois, propõe o desdobramento da correlação linear estimada em efeitos diretos e indiretos de diversos caracteres em relação a um caráter principal.

Tem-se necessidade em evidenciar a realidade e desenvolver pesquisas de efetivo impacto na geração de informações técnico-científicas no melhoramento da qualidade de grão na cultura do arroz irrigado, para o sul do Brasil. Neste sentido, este trabalho tem por objetivo determinar a adaptabilidade, a estabilidade, bem como, estudar as correlações genéticas dos caracteres de qualidade de grão de cultivares e linhagens elites de arroz irrigado para facilitar as inferências requisitadas pelos melhoristas.

2 Artigo I: Arroz Irrigado: Qualidade de grão longo fino no Brasil

(Segundo Normas da Revista Ciência Rural)

Arroz Irrigado: Qualidade de grão longo fino no Brasil

Irrigated Rice: Quality of long grain in Brazil

-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-

RESUMO

As exigências em qualidade de grãos em arroz se tornam cada vez maiores, tanto pelas indústrias, pois estes atributos refletem diretamente o valor de mercado, quanto pelo consumidor, devido a sua aceitação do produto, principalmente pelo fato de ser majoritariamente consumido na forma de grão *in natura*. O presente trabalho objetivou dissertar sobre os atributos relacionados à qualidade de grão, os fatores que compõem as mesmas e o melhoramento destas através da genética. São observadas grandes variações na qualidade de grão do arroz, devido a fatores relacionados ao genótipo, as condições do ambiente de cultivo, além do processamento e beneficiamento, afetando diretamente essas características. O arroz apresenta uma enorme demanda de grãos com um padrão já estabelecido e desejado pelo consumidor, podendo variar este padrão em algumas determinadas regiões. Desta maneira, sua qualidade vem sendo melhorada através das pesquisas genéticas, obtendo-se genótipos superiores com características agronômicas de qualidade de grãos de maior interesse para diferentes nichos de mercado.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L., rendimento de engenho, grãos vítreos, grãos gessados, interação genótipos x ambientes.

ABSTRACT

The demands on grain quality in rice become increasingly greater, both by the industry, because these attributes directly reflect the market value, as well as the consumer, due to its acceptance of the product, mainly because it is mostly consumed in the form of grain *in natura*. The present work aimed to discuss the attributes related to grain quality, the factors that compose them and the improvement of these through genetics. Large variations in rice grain quality are observed, due to factors related to genotype, conditions of the growing environment, besides processing, directly affecting these characteristics. Rice has an enormous demand for grains with a pattern already established and desired by the consumer, and this pattern can be varied in certain regions. In this way, its quality has been improved through genetic research, obtaining superior genotypes with agronomic characteristics of grain quality of greater interest for different market niches.

Key words: *Oryza sativa* L., whole grains, vitreous grain, chalky grain, interaction genotype x environmental.

INTRODUÇÃO

Atualmente a busca incessante por maior produtividade e qualidade dos alimentos é uma das maiores preocupações mundiais. O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma das bases na alimentação mundial, sendo o segundo cereal mais produzido no mundo, com produção correspondente a 740,95 milhões de toneladas (FAO, 2014). A produção brasileira apresentou cerca de 10600 mil toneladas, em 2,3 milhões de hectares com uma produtividade média de 5,2 toneladas por hectare, onde apenas o estado do Rio Grande do Sul responde por aproximadamente 70% de toda a produção do país (CONAB, 2016). Todos estes fatos

demonstram a elevada importância que a cultura do arroz tem dentro dos programas de melhoramento genético.

Estes programas buscam alta produtividade, tolerância a estresses (bióticos e abióticos), adequadas características agronômicas (estruturais como boa arquitetura, alto perfilhamento, folha bandeira ereta e bom vigor inicial), entre outras. No entanto, atualmente, a busca pela qualidade do grão de arroz é de extrema importância, pois reflete diretamente no seu valor de mercado e aceitação do consumidor, onde segundo Walter (2008) uma pequena quantidade de arroz é consumida como ingrediente em produtos processados, sendo na grande maioria consumida na forma de grão.

Neste contexto, a preferência do consumidor brasileiro de arroz é por um produto uniforme, com baixo conteúdo de grãos quebrados e/ou danificados, além de grãos vítreos. Desta forma, um adequado beneficiamento, com bons rendimentos de grãos inteiros, é intensamente buscado tanto por produtores, como por cerealistas (Castro et al., 1999). Para os melhoristas, o índice de quebra durante o processamento dos grãos e outras particularidades ligadas à qualidade de grãos, afetam diretamente o valor do produto no mercado sendo um fator de fundamental importância na aceitação das novas cultivares. Logo, a agregação de valor ao cereal é dependente de atributos desejados como: elevado rendimento de grãos inteiros, com baixo índice de grãos quebrados e/ou danificados, sem defeitos de coloração, além de baixo índice de grãos gessados ou com centro branco.

A contribuição do melhoramento genético de plantas, para o caráter de qualidade de grão em arroz irrigado, começou a ganhar evidências após o desenvolvimento de cultivares de grão longo fino (agulhinha) e com estrutura de planta denominada moderno filipino. Estas apresentam alta capacidade de emitir afilhos, colmos robustos e curtos, e folhas eretas. Como exemplo, tem-se as cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410, sendo as primeiras desenvolvidas com estas características, proporcionando um acréscimo significativo nas

produtividades das lavouras orizícolas brasileiras a partir do final da década de 70 (Magalhães Júnior. et al., 2003).

Contudo, a composição dos grãos e de suas frações, estão sujeitas a diferenças genéticas, variações ambientais, de manejo, de processamento, de beneficiamento e de armazenamento, que podem conferir diferenças nas características nutricionais e culinárias.

Nesse sentido, vários programas de melhoramento genético de arroz têm desenvolvido trabalhos de pesquisa, a fim de disponibilizar cultivares e tecnologias em consonância com a demanda dos diversos segmentos da cadeia produtiva do cereal, dentre eles, a qualidade dos grãos após o beneficiamento. Desta forma, o presente trabalho de revisão objetivou examinar as variáveis correspondentes à qualidade de grão do arroz, os fatores que compõem as mesmas e o melhoramento destas através da genética.

Padrão de consumo e qualidade de arroz no Brasil

Devido à grande variabilidade genética dentro do gênero *Oryza*, junto com a diversidade de tipos de preparos culinários variando de região para região, o padrão de tipo de arroz a ser consumido também pode divergir. Alguns estudiosos na área de caracterização de consumo classificam as variáveis que influenciam o processo de decisão do consumidor em três grandes categorias, sendo estas: diferenças individuais (fatores culturais e fatores pessoais); influências ambientais (fatores sociais) e influências subjetivas (fatores psicológicos) (Mowen e Minor, 1998).

Segundo Barata (1992) os fatores culturais exercem uma grande influência sobre o comportamento do consumidor. São os valores básicos, desejos, percepções e comportamentos da família e outras instituições, que o indivíduo aprende ao longo da vida, passando de geração para geração. A cultura do arroz varia entre grupos ou sociedades, onde apresentam características próprias e as influências culturais sobre o comportamento de compra e consumo, variando muito de país para país.

As cultivares de arroz irrigado cultivadas no Brasil, pertencem principalmente ao grupo indica, consituídas essencialmente por alto teor de amilose (cadeia linear de amido) e pela baixa composição de amilopectina (cadeia ramificada de amido), tornando-se solto após o cozimento. O teor de amilose está associado com as propriedades texturais como maciez, coesão, cor brilho e com volume de absorção de água e expansão (Mingotte et al., 2012). A maioria destas cultivares também apresentam temperatura de gelatinização do amido baixa ou intermediária, na qual referem-se à temperatura de cozimento onde a água é absorvida e 90% dos grânulos de amido são gelatinizados e inchados irreversivelmente, com simultânea quebra de cristalinidade (Guimarães, 1989). Essa característica implica diretamente em menor tempo e água, conseqüentemente, menos energia para o cozimento (Mingotte et al., 2012).

Desta forma, no Brasil, seu padrão corresponde principalmente a um grão denominado agulhinha, ou seja, longo e fino (comprimento ≥ 6 mm, espessura $\leq 1,9$ mm e relação comprimento/largura entre 2,75mm e 3,00 mm). Além da aparência do produto “*in natura*”, a preferência é por um arroz com qualidade de cocção proporcionando bom rendimento de panela, com cozimento rápido, apresentando grãos secos e soltos após o cozimento e permanecendo macio mesmo após o resfriamento (Castro et al., 1999; Usberti Filho et al., 1986; Guimarães 1989).

Castro et al. (1999) também relatam que as formas de preparo e consumo são razoavelmente homogêneas nas diferentes regiões, sendo preferencialmente o arroz beneficiado polido. Por outro lado a oferta de tipos especiais de arroz no mercado varejista está ganhando espaço, porém ainda aparece em pequena escala. Além do arroz beneficiado polido, aparece em menor escala o arroz integral e o arroz parboilizado, estes por sua vez, variam quanto sua composição do grão, conseqüentemente, alterando seus valores nutricionais (Tabela 1).

Todo arroz destinado à comercialização como grão para consumo humano, deve ser classificado em tipos, sendo expressos numericamente e definidos pelo seu percentual de ocorrência de defeitos, além de percentual de grãos quebrados e quirera, respeitando os Limites Máximos de Tolerância de Defeitos/Tipo, % em Peso, sendo variáveis estes limites para cada classe de beneficiamento - arroz beneficiado polido (Tabela 2), arroz integral, arroz parboilizado, entre outros (MAPA, 1988). Os defeitos são divididos em graves (matérias estranhas, impurezas, grãos mofados e ardidos) ou gerais (manchados, picados e gessados), contudo, um arroz com o mínimo possível de defeitos apresenta um produto final com melhor preço e qualidade.

Grãos vítreos e gessados

A transparência ou translucidez dos grãos de arroz são determinadas de acordo com o arranjo das moléculas de amido e proteínas de maneira compacta e sem espaços de ar. Desta forma, a luz incidida atravessa o grão sem ser difratada, resultando em uma visualização vítrea do grão (Kim et al., 2000). Já grãos considerados gessados são aqueles que apresentam uma parte opaca do endosperma do arroz (Londero et al., 2015). Contudo, Shen (2000) relatou que vários estudos mostraram que a ocorrência de grãos gessados é decorrente de um distúrbio no momento deste arranjo das moléculas de amido e proteínas, de maneira que se organizam de uma forma não compacta, tendo o espaço entre moléculas preenchido com ar. Esses espaços difratam e difundem a luz, tornando o aspecto visual do grão opaco. Além disto, este efeito de espaços de ar nos grãos gessados possibilita ser facilmente quebrado no beneficiamento (Liu et al., 2009).

Londero et al. (2015) em suas pesquisas demonstraram que a transparência final e a área gessada são fatores determinados principalmente pelos fotoassimilados acumulados durante todo o desenvolvimento. No entanto, há uma dependência de efeitos genéticos no acúmulo dos fotoassimilados na fase de enchimento dos grãos (Shi et al., 2002). Esta questão

genética pode ser demonstrada quando se compara os resultados de duas cultivares. Londero et al. (2015), também relataram, através de comparação de duas safras, que a cultivar Puitá INTA CL apresentou médias superiores de grãos vítreos em relação a cultivar INOV CL (híbrido), além deste último ter apresentado maiores médias de grãos opacos (diferença de 79% na safra 2011/12 e de 44% na safra 2012/13) e gessados (média 11 vezes maior em 2011/12 e 6 vezes na safra seguinte) que a cultivar convencional nas duas safras.

Estes dados corroboram com outros trabalhos, dentre eles: Villareal et al. (1990) que utilizaram nove cultivares de arroz, em ambientes de sequeiro e irrigado, também encontraram diferenças significativas tanto entre genótipos, quanto para os ambientes, para diversas variáveis de qualidade de grão, entre elas a transparência; Marchezan et al. (1992) apresentaram resultados de diferenças significativas entre cultivares quanto a produção de grãos gessados, utilizando três cultivares de arroz, IAC-4440, PESAGRO-104 e CNA-3771, esta última apresentando índice de grãos gessados acima do tolerado em programas de melhoramento de arroz, indicando grande suscetibilidade deste genótipo.

Além dos efeitos genéticos, vários outros efeitos de ambiente influenciam diretamente na formação de grãos gessados. Podendo-se ressaltar, o desenvolvimento sob condições adversas de clima e de cultivo, colheita dos grãos imaturos, ataques de percevejos associados com inoculação de fungos, doenças, como a bruzone e mancha parda, além de incidência de altas temperaturas após a floração, deficiências nutricionais e hídricas (Marchezan et al., 1992; Sofiatti et al., 2006).

Patindol e Wang (2003), estudaram as estruturas moleculares dos amidos de grãos gessados e grãos translúcidos, onde ressaltaram que os amidos de grãos gessados eram compostos por menores quantidades de amilose (ou seja, mais presença de amilopectina) e amilopectina de cadeia ramificada mais curta (menos amilopectina de cadeia ramificada longa) em comparação com os amidos de grãos translúcidos. Esses autores, também

demonstraram que as diferenças nas características estruturais do amido correlacionaram-se significativamente com a variação observada na translucência dos grãos, padrões de difração de raios X do amido, propriedades térmicas e características de colagem. Desta forma, os autores inferem que os resultados apontam que fatores genéticos e ambientais causadores de grãos gessados, estimulam uma fase da síntese de amido que podem favorecer ligeiramente a ramificação da cadeia de glucano sobre o alongamento da cadeia da amilopectina.

A qualidade do grão é, influenciada negativamente por anomalias na morfologia e coloração, ocorrendo com frequência em arroz, por fatores ambientais, como as altas temperaturas durante o período de maturação (Yoshioka et al., 2007). Neste contexto, mesmo que a transparência final e a área gessada sejam determinadas principalmente pelos fotoassimilados acumuladas durante todo o período de desenvolvimento, estas são dependentes de efeitos genéticos atuantes no período de enchimento de grão para que estes fotoassimilados sejam acumulados.

Rendimento de engenho, grãos inteiros e quebrados

Segundo Fornasieri Filho e Fornasieri (2006), a legislação brasileira preconiza uma renda base de 68% para o rendimento de benefício, sendo 40% de grãos inteiros e 28% de grãos quebrados e quirera, valores abaixo desses estão fora das exigências para comercialização do produto. Entretanto, estas exigências estão correlacionadas com as características genéticas de cada cultivar e ambientais como: condições climáticas, práticas culturais e manejo durante todo o desenvolvimento, maturação e colheita do grão, assim como tipos de processamento e manejo pós colheita (Bhattacharya, 1980).

Uma dessas características ambientais é relatada por Marchezan (1991), em que as colheitas realizadas com elevado teor de umidade, possibilitam, no momento do beneficiamento, alta porcentagem de grãos mal formados, gessados e imaturos,

consequentemente, colheitas realizadas tardiamente levam a maiores percentuais de grãos quebrados no beneficiamento.

Mingotte et al.(2012) citam que outro fator que influencia na qualidade industrial dos grãos de arroz é o manejo da adubação nitrogenada, porém ocorrendo controvérsias sobre o grau de influência na mesma. Silva et al. (2013) relataram que a adubação nitrogenada tem influência significativa no rendimento de engenho, com aumento no rendimento de grãos inteiros e redução de grãos quebrados. A qualidade de grãos de arroz, expressos no rendimento de grãos inteiros das amostras avaliadas, variaram de 54,5 a 63,3%, relacionando-se diretamente com as doses de N aplicadas em cobertura, influenciando quadraticamente e positivamente o rendimento de grãos inteiros e negativamente a percentagem de grãos quebrados da cultivar IRGA 422 CL. Estas informações vão ao encontro com o exposto por Barbosa Filho e Fonseca (1994), que atribuíram tal resultado à obtenção de grãos mais translúcidos, os quais apresentam maior resistência à quebra nos processos de beneficiamento, principalmente ao polimento.

Contudo, os programas de melhoramento buscam genótipos adaptados e estáveis em diversos ambientes, e que apresentem respostas favoráveis quando submetidos aos tratos culturais para melhoria do ambiente, como por exemplo, maiores índices de adubação mencionados anteriormente.

De maneira geral, alguns trabalhos têm demonstrado a ocorrência de genótipos superiores, com rendimentos de elevada discrepância para o caráter de rendimento de grãos inteiros. Um exemplo, os estudos realizados por Rangel et al. (2000), que verificaram que a cultivar Diamante foi destaque no que se refere a rendimento de grãos inteiros, obtendo elevado percentual (59,8%) e diferenças significativas quando comparada com o rendimento das demais cultivares avaliadas. Sendo, portanto, eleita para ocupar cerca de 90% da área de

arroz irrigado do Nordeste, além da sua alta produtividade e excelente qualidade industrial e culinária dos grãos.

Dentre estes fatores genéticos, surgem pesquisas relacionando diversos genótipos, destacando a comparação de cultivares convencionais e híbridos. Londero et al. (2015) verificaram que a cultivar convencional Puitá INTA CL apresentou médias superiores de grãos inteiros em relação ao cultivar híbrido INOV CL em duas safras consecutivas, com médias de grãos inteiros em diferentes umidades de colheita que variaram de 11,5% e 2,5%, nas safras 2011/12 e 2012/13 respectivamente. Esses resultados corroboraram com o trabalho de Blanche et al. (2009), onde avaliaram o efeito genotípico e ambiental de 15 cultivares convencionais e híbridas, e aferiram que o rendimento de grãos inteiros nas cultivares convencionais é superior em relação ao das cultivares híbridas.

Tal influência pode estar ligada ao maior número de afilhos de cada cultivar, uma vez que cultivares híbridos geralmente possuem maiores índices de perfilhamento, logo, os afilhos apresentam maior variabilidade de maturação e desuniformidade das características de qualidade como grãos inteiros e grãos gessados. Outros estudos remetem ao tempo necessário na realização do enchimento, sendo maior em híbridos (Yang e Zhang, 2010; Wang e Cheng, 2004; Dong et al., 2008).

Outros efeitos genéticos se destacam em relação aos caracteres de qualidade de grãos, Marschalek e Vieira, citados por Raimondi (2013), avaliaram linhagens com espiguetas agrupadas do tipo 1, 2 e 3, evidenciando que na presença do agrupamento dos grãos pode se observar redução da qualidade dos mesmos, tanto para menor rendimento de grãos inteiros e elevada incidência de grãos quebrados, além de mancha de grãos, grãos tortos, altos valores de gesso (centro branco). Segundo Ikeda et al. (2010), a ocorrência de panículas com muitos grãos ocasiona a redução da qualidade dos mesmos pela desordem na formação dos grãos e há um declínio na fertilidade, podendo destacar a causa à efeitos pleiotrópicos. Corroborando

com os estudos de Taguchi-Shiobara et al. (2011), que aferiram que panículas de arroz com muitos grãos também estavam associadas a baixa qualidade.

Qualidade de grãos nos programas de melhoramento genético

Rangel et al. (2000) destacaram que o ganho anual médio para o caráter de produtividade em arroz, tem diminuído, sendo considerados muito pequenos quando comparados com progressos genéticos de outras culturas. Atribuindo esta situação, que se repete em diversos programas de melhoramento genético de arroz irrigado do Brasil após a década de 80, momento pelo qual ocorreu a substituição das cultivares tradicionais de porte alto pelas modernas de porte baixo e altos rendimentos (moderno filipino) (Rangel et al., 1992).

Dois fatores foram destacados pelos pesquisadores, de maior relevância, para a diminuição dos ganhos genéticos em produtividade. Primeiro devido ao estreitamento da base genética no uso das cultivares modernas (semi-anão), outro decorrente da priorização pelos programas de melhoramento para o caráter de qualidade de grãos. Até em torno dos anos 80, a qualidade de grãos era uma característica denominada varietal com baixa prioridade nos programas de melhoramento, onde os esforços estavam concentrados em melhorar a produtividade e o nível de resistência a pragas, doenças e outros estresses (Breseghello, 1995; Rangel et al., 1996). Desta forma, com o aumento da exigência do mercado consumidor por produtos de melhor qualidade, essa variável se tornou prioritária ao mesmo nível que a produtividade, sendo decisiva no registro de uma linhagem melhorada como uma cultivar comercial (Rangel et al., 2000).

Esses avanços podem ser destacados por lançamentos para sistema irrigado como: BR IRGA 409 (1979), IRGA 417 destaque mundial pelos grãos do tipo “premium” (Champagne et al., 2010), BRS Pampa conhecida pela sua excelência em qualidade de grãos no estado do Rio Grande do Sul (Magalhães Júnior et al., 2012), BRS Pampeira uma cultivar de ciclo

médio tendendo a ciclo longo com alto potencial tanto de rendimento, quanto para qualidade de grãos (Magalhães Júnior et al., 2017). Já para o sistema de sequeiro: BRS Sertaneja de elevado rendimento de grãos inteiros e estabilidade (Breseghello et al., 2006); BRS Monarca de excelente qualidade de grãos, segundo Breseghello et al. (2007) atende aos maiores padrões de exigência do mercado; BRSMG Relâmpago, sendo uma cultivar precoce e de grãos com boa qualidade culinária (Soares et al., 2010). Entre diversos outros lançamentos de cultivares, além de trabalhos que demonstram o potencial de linhagens dos programas de melhoramento.

Interação genótipo x ambiente na qualidade de grãos

O valor fenotípico de um genótipo é resultado da variância genética e variância ambiental, no entanto, quando se submete este mesmo genótipo frente a diversos ambientes seu valor fenotípico é alterado, diferenciando-se de um ambiente para o outro, estas alterações são denominadas de interação genótipos x ambientes ($G \times E$) (Cruz et al., 2014). Estas $G \times E$ indicam que o melhor genótipo em um ambiente, pode não ser o melhor em outro (Falconer, 1981).

Os atributos de qualidade de grãos em arroz também são alterados significativamente pela $G \times E$. Tais interações devem ser amplamente estudadas pelos programas de melhoramento, através de dados provenientes de experimentos de “Valor de Cultivo e Uso” (VCU) em multilocais, analisados sob modelos que ajustem adequadamente (com elevada acurácia) as variâncias genotípicas livres dos efeitos de ambiente (blocos, locais, anos dentre outros) (Borges et al., 2010).

Desta forma, diversos trabalhos de adaptabilidade e estabilidade têm demonstrado a grande importância e também as dificuldades da $G \times E$, sendo muitas vezes uma barreira para a seleção de genótipos com elevada estabilidade e produtividade frente a ambientes distintos, exigindo eficiência na análise e que as comparações das metodologias sejam realizadas para

se escolher a mais apropriada (Regitano Neto et al., 2013). Há diferentes metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. Estas têm sido utilizadas para análise de diversos ensaios de programas de melhoramento de arroz, entretanto a maioria delas avaliando apenas produtividade de grãos (Ramos et al., 2009; Balestre et al., 2010; Bueno et al., 2012), sendo poucos trabalhos descrevendo a $G \times E$ para atributos de qualidade de grãos.

Blanche et al. (2009) relataram $G \times E$ significativa e de grande magnitude para a variável de rendimento de grãos inteiros, através de um estudo de estabilidade, utilizando 15 genótipos em 10 ambientes na Louisiana (2005 à 2007), onde duas cultivares híbridas (XP723 e CLXL730) apresentaram os melhores rendimentos de grãos inteiros ao longo dos ambientes. Desta forma, os autores também citam que a $G \times E$ é um componente fundamental no desenvolvimento e na seleção de novas cultivares.

Outros estudos também demonstraram interação significativa em atributos de qualidade de grãos, como Jing et al. (2010) que avaliaram o rendimento de grãos e o desempenho de qualidade de cinco genótipos de arroz derivados de diferentes germoplasmas cultivados em 8 ambientes distintos da Ásia, e analisaram a variação no rendimento e qualidade de grãos causada pela $G \times E$. Kulsum et al. (2013) também realizaram estudos para identificar a adaptabilidade e estabilidade em híbridos de arroz, de alto potencial produtivo e com alto teor de proteína e amilose. Ambos os autores relataram $G \times E$ significativa para os atributos de qualidade de grãos referentes a teor de proteína e amilose.

Cabe ressaltar, que é de fundamental importância não apenas considerar os efeitos genéticos e ambientais individualmente, mas também a $G \times E$, com o intuito de desenvolver genótipos com elevada estabilidade frente a ambientes distintos e adaptabilidade a ambientes favoráveis, tanto para produtividade, quanto simultaneamente na seleção para todos os atributos de qualidade de grãos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as variáveis apresentadas, que geram grandes divergências para o caráter de qualidade de grãos em arroz, tanto devido ao genótipo quanto a variâncias ambientais e de processamento, assim como a G x E, estão ganhando ênfase nos programas de melhoramento, assim como por parte dos produtores e das indústrias, deixando de ser um caráter secundário. Levando a um redirecionamento de diversos programas de melhoramento, onde atualmente, passaram a considerar a qualidade dos grãos como um dos principais objetivos da pesquisa, assim como caráter de produtividade. Ressalta-se que o consumo de arroz é, principalmente, na forma de grão, seja ele, branco polido, parboilizado ou integral, sendo a aparência e composição dos grãos são fatores de fundamental importância.

Inúmeras pesquisas estão sendo desenvolvidas visando resolver os problemas dentro da cadeia produtiva de arroz, porém cabe salientar que ainda há poucos trabalhos na área de genética quantitativa para o caráter de qualidade dos grãos, de maneira que o progresso genético da mesma está apenas no começo. Por ser um dos principais alimentos para a população a produção de arroz deve ser continuada e sua pesquisa incentivada.

REFERÊNCIAS

- BALESTRE, M. et al. Stability and adaptability of upland rice genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v.10, p. 357-363, 2010.
- BARATA, T. S. Caracterização Do Consumo De Arroz No Brasil. **Comercialização, Mercados e Preços Agrícolas**. Porto Alegre: 1992, 20 p.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FONSECA, J.R. Importância da adubação na qualidade do arroz. In: SÁ, M.E.; BUZETTI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. Cap.13, p.217-231.
- BHATTACHARYA, K. R. Breakage of rice during milling: a review. **Tropical Science**, London, v. 22, n. 2, p. 225-276, 1980.

BLANCHE, S. B. et al. Genotype x environment interactions of hybrid and varietal rice cultivars for grain yield and milling quality. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 6, p. 2011-2018, 2009. doi: 10.2135/cropsci2009.04.0175

BORGES, V. et al. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 833-841, 2010.

BRESEGHELLO, F. Ganhos para produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no Nordeste do Brasil. **Dissertação de Mestrado**. Goiânia : UFG, 1995. 93p.

BRESEGHELLO, F. et al. BRS Monarca: Cultivar de Arroz de Terras Altas com Excelência em Qualidade de Grãos. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2007, 4p. (**Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 148**). Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/216445>>. Acesso em: 19 de fev. 2017.

BRESEGHELLO, F. et al. BRS Sertaneja: Cultivar Precoce de Arroz de Terras Altas. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2006, 4p. (**Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado Técnico, 133**). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/214893>>. Acesso em: 19 de fev. 2017.

BUENO, L. G. et al. Adaptabilidade e estabilidade de acessos de uma coleção nuclear de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.2, p.216-226, 2012.

CASTRO, E. D. M. de. et al. Qualidade de grãos em arroz. **Revista Embrapa Arroz e Feijão**, v.34, p. 1–30. 1999.

CHAMPAGNE, E. T. et al. Important sensory properties differentiating premium rice varieties. **Rice**, v.3, p.270-281, 2010. doi: 10.1007/s12284-010-9057-4.

CONAB. (2016). Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos: **Décimo Segundo Levantamento – Setembro/2016**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 01 de dezembro de 2016.

- CRUZ, C. D. et al. **Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: UFV, 2014. 668p.
- DONG, M. H. et al. Difference in hormonal content and activities of key enzymes in the grains at different positions on a rice panicle during grain filling and their correlations with rice qualities. **Scientia Agricultura Sinica**, Beijing, v. 41, n. 2, p. 370-380, 2008.
- FALCONER, D. S. **Introdução à Genética Quantitativa**. Viçosa: UFV, 1981, 279p.
- FAO, 2014. **FAO Rice Market Monitor**, December 2014, Volume XVII - Issue No. 4. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/>. Acesso em: 01 de jan. 2017.
- FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J. L. **Manual da cultura do arroz**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 589 p.
- GUIMARÃES, E. P. Qualidade de grão em arroz. In: **Reunião da Comissão Técnica de Arroz da Região II**, Campinas, 1989. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 14 p, 1989.
- IKEDA, M. et al. Analysis of rice panicle traits and detection of QTLs using na image analysing method. **Breeding Science**, v. 60, p. 55-64, 2010.
- JING, Q. et al. Adaptation and performance of rice genotypes in tropical and subtropical environments. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**. v. 57, p. 149–157, 2010. doi:10.1016/j.njas.2010.04.002
- KIM, S. S. et al. Physicochemical characteristics of chalky kernels and their effects on sensory quality of cooked rice. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v.77, n. 3 p. 373-379, 2000.
- KULSUM, M. U. et al. Genotype-environment interaction and stability analysis in hybrid rice: an application of additive main effects and multiplicative interaction. **Bangladesh Journal of Botany**. v. 42, n.1, p. 73-81, 2013.
- 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.

LIU, Q. H. et al. Effects of Chalkiness on Cooking, Eating and Nutritional Qualities of Rice in Two indica Varieties. **Rice Science**, v. 16, n.2, p.161–164, 2009. doi: 10.1016/S1672-6308(08)60074-8

MAGALHÃES JÚNIOR., A. M. de; FAGUNDES, P. R.; FRANCO, D. F. Melhoramento genético, biotecnologia e cultivares de arroz irrigado. In: MAGALHÃES JÚNIOR. de, A. M.; GOMES, A. Da S. **Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognóstico climático**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. et al. BRS Pampeira: new irrigated rice cultivar with high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.78-83, 2017. doi: 10.1590/1984-70332017v17n1c13.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. et al. **BRS Pampa: Cultivar de arroz irrigado de alta produtividade e excelência na qualidade de grãos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 8p. (Embrapa Clima Temperado. **Comunicado técnico, 282**). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79589/1/Comunicado-282.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2017.

MARCHEZAN, E. Grãos inteiros em arroz. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 44, n. 398, p. 3-8, 1991.

MARCHEZAN, E.; DARÍO, G. J. A.; TORRES S. Ocorrência de grãos gessados em três cultivares de arroz. **Scientia Agrícola**, v.49, p.87-91, 1992. doi: 10.1590/S0103-90161992000400012.

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**, v. 33, n. 1, p. 2605-2618, 2012. doi:10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2605

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Norma de identidade, qualidade, embalagem e apresentação do arroz. **Portaria N° 269 de 17 de novembro de 1.988.** Brasília, 1988. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio>. Acesso em: 01 de dezembro, 2016.

MOWEN, J. C. e MINOR, M. S.; **Consumer Behavior**. 5 ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1998

PATINDOL, J., WANG, Y. J. Fine structures and physicochemical properties of starches from chalky and translucent rice kernels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.51, n.9, p. 2777–2784, 2003. doi: 10.1021/jf026101t

RAIMONDI, J. V. Estudo genético da característica espiguetas agrupadas em arroz (*Oryza sativa* L.). **Tese de Doutorado em Ciências**. UFSC. Florianópolis, SC, 2013

RAMOS, L. M.; SANCHES, A.; COTES, J. M. Testes multiambientais na seleção de genótipos de arroz utilizando o modelo de regressão nos sítios ou locais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.52-57, 2009

RANGEL, P. H. N. et al. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.8, p.1595–1604, 2000.

RANGEL, P. H. N.; GUIMARÃES, E. P.; NEVES, P. de C. F. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.5, p.349-357, 1996.

RANGEL, P. H. N.; ZIMMERMANN, F. J. P.; NEVES, P. de C. F. El CNPAF investiga: decrece en Brasil el rendimiento del arroz de riego? **Arroz en Las Américas**, Cali, v.13, n.1, p.2-4, 1992.

REGITANO NETO, A. et al. Comportamento de genótipos de arroz de terras altas no estado de São Paulo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3 p. 512-519, 2013.

SHEN, B. Observation on the starch grain development in endosperm of early indica rice during chalkiness formation with scanning electronic microscope. **Chinese Journal of Rice Science**, Beijing, v. 14, n. 4, p. 225-228, 2000.

SHI, C. H. et al. Genetic analysis of transparency and chalkiness area at different filling stages of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v.76, p.1-9, 2002.doi: 10.1016/S0378-4290(02)00011-4.

SILVA, L. P. da. et al. Adubação nitrogenada sobre rendimento industrial e composição dos grãos de arroz irrigado. **Ciência Rural**, v. 43, p. 1128-1133, 2013. doi: 10.1590/S0103-84782013005000055.

SOARES, A.A. et al. BRSMG Relâmpago: na early upland rice cultivar with high grain quality. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.176-179, 2010.

SOFIATTI, V. et al. Efeito de regulador de crescimento, controle de doenças e densidade de semeadura na qualidade industrial de grãos de arroz. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.418-423, 2006. doi: 10.1590/S0103-84782006000200010.

TAGUCHI-SHIOBARA, F. et al. A loss-of-function mutation of rice “dense panicle 1” causes semi-dwarfness and slightly increases number of spikelets. **Breeding Science**, v. 61, p. 17-25, 2011.

USBERTI FILHO, J. A.; AZZINI, L. E.; SOAVE, J. Características agronômicas e de qualidade de produtos de cultivares de sequeiro e irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 12, p. 1283-1296, 1986.

VILLAREAL, C. P.; JULIANO, B. O.; SAUPHANOR, B. Grain quality of rices grown in irrigated and upland cultures. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.40, n.1, p. 37–47, 1990. doi: 10.1007/BF02193778

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; DE AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciencia Rural**, v.38, n.4, p.1184–1192, 2008. doi: 10.1590/S0103-84782008000400049

WANG, F.; CHENG, F. M. Research advances in the relationships between ABA and rice grain filling. **Seed**, New York, v. 23, n. 1, p. 31-35, 2004.

YANG, L.; ZHANG, J. Grain filling problem in “super” rice. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 1, p. 1-5, 2010.

YOSHIOKA, Y. et al. Chalkiness in rice: potential for evaluation with image analysis. **Crop Science**, Madison, v. 47, n. 5, p. 2113-2120, 2007. doi: 10.2135/cropsci2006.10.0631sc

Tabela 1. Composição do grão de arroz (em 100g), do tipo integral, polido e parboilizado

Componente	Integral		Polido		Parboilizado	
	Cru	Cozido	Cru	Cozido	Cru	Cozido
Água (%)	12,00	70,30	12,00	72,60	10,30	73,40
Proteína (%)	7,50	2,50	6,70	2,00	7,40	2,10
Gordura (%)	1,90	0,60	0,40	0,10	0,30	0,10
Carboidrato (g)	77,40	25,50	80,40	24,20	81,30	23,30
Fibra (g)	0,90	0,30	0,30	0,10	0,20	0,10
Cinza (g)	1,20	1,10	0,50	1,10	0,70	1,10
Cálcio (mg)	32,00	12,00	24,00	10,00	60,00	19,00
Fósforo (mg)	221,00	73,00	94,00	28,00	200,00	57,00
Potássio (mg)	214,00	70,00	92,00	28,00	150,00	43,00
Tiamina (mg)	0,34	0,09	0,07	0,02	0,44	0,11
Riboflavina (mg)	0,05	0,02	0,03	0,01	-	-
Niacina (mg)	4,70	1,40	1,60	0,40	3,50	1,20

Fonte: Castro (1999).

Tabela 2. Limites máximos de tolerância de defeitos (%), estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, para enquadramento do arroz beneficiado polido* em tipo comercial

Tipo	Defeitos Graves**		Defeitos Gerais Agregados	Total de Quebrados e Quirera	Quirera (Máximo)
	Matérias estranhas e impurezas	Mofados e ardidos			
1	0,25	0,25	4,00	10	0,50
2	0,50	0,50	8,00	20	1,00
3	1,00	1,00	14,00	30	2,00
4	1,50	2,00	22,00	40	3,00
5	2,00	4,00	34,00	50	4,00

* Existem tabelas específicas para as diferentes formas de apresentação do produto arroz: em casca natural; em casca parboilizado; beneficiado integral; beneficiado parboilizado; beneficiado parboilizado integral.

** Os limites máximos admitidos para cada defeito geral, considerado isoladamente, são: manchados e picados 12%; amarelos 12%; rajados 10%; gessados 15%.

3 Artigo II: Adaptabilidade e estabilidade de linhagens elites de arroz irrigado para qualidade de grãos

(Segundo Normas da Revista Bioscience Journal)

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS ELITES DE ARROZ IRRIGADO PARA QUALIDADE DE GRÃOS

RESUMO

Metodologias de adaptabilidade e estabilidade, utilizando modelos mistos (REML/BLUP), são muito empregadas em trabalhos com produtividade em arroz para estudar os efeitos da interação genótipo x ambiente (G x E). No entanto, poucos trabalhos enfatizam os atributos de qualidade de grãos. Desta maneira, este trabalho teve por objetivo investigar a G x E de genótipos de arroz irrigado, com base na avaliação genotípica de caracteres de qualidade de grãos, pela adaptabilidade e estabilidade via modelos mistos. Estes parâmetros foram obtidos a partir de ensaios de “valor para cultivo e uso” (VCU) da Embrapa, realizados nas principais regiões edafoclimáticas do zoneamento agrícola de arroz irrigado do sul do Brasil, totalizando oito ambientes. O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados, contemplando 14 genótipos por ensaio (totalizando 21 genótipos diferentes) e quatro repetições. Os valores genotípicos foram estimados pela metodologia REML/BLUP, baseando-se nos métodos de estabilidade genotípica pelo método da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade genotípica pelo método da performance relativa dos valores genotípicos preditos através dos ambientes (PRVG) e no método simultâneo obtido pela média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG). Foram obtidos valores de acurácia elevados para todas as variáveis estudadas, com exceção para percentual total de grãos polidos sendo de 45,5%, as demais variaram entre 83,5% a 98,5%, para percentual de grãos inteiros e largura de grãos respectivamente, revelando uma ótima qualidade experimental além de segurança na seleção para estes caracteres. Dentre as linhagens avaliadas, AB11502 e AB10501 foram as que apresentam o melhor desempenho agrônomo no rendimento de beneficiamento. Já as linhagens AB13008, AB13002 e AB13003 destacaram-se para os caracteres de percentual de grãos gessados e com barriga

branca e área gessada total, perante os métodos propostos, revelando apresentar estabilidade e adaptabilidade superiores. Estas cinco linhagens elites apresentam elevado potencial para atributos de qualidade de grãos, sendo possíveis de lançamento.

Palavras chaves: *Oryza sativa*; modelos mistos; interação genótipos x ambientes.

INTRODUÇÃO

Para a obtenção de genótipos geneticamente superiores de arroz é necessária extrema dedicação e investimento, pois trata-se de um processo lento e de longo prazo. Contudo os pesquisadores não buscam apenas o potencial genético, mas também é de fundamental importância conhecer o comportamento dos genótipos, quanto ao seu desempenho perante a variação ambiental. Segundo Colombari Filho et al. (2013) esta variação é decorrente da interação genótipo x ambiente (G x E), afetando principalmente as variáveis quantitativas. Desta maneira, as linhagens elite devem ser avaliadas em diversos ambientes e os dados obtidos devem ser analisados quanto ao rendimento, adaptabilidade e estabilidade, a fim de selecionar cultivares adaptadas a diferentes regiões de cultivo.

Diversos autores definiram conceitos sobre adaptabilidade e estabilidade. Os mais aceitos são os de Mariotti et al. (1976), que definiram, adaptabilidade como sendo a capacidade de um genótipo de responder de maneira favorável às mudanças ambientais, enquanto a estabilidade como sendo a capacidade de um genótipo obter um desempenho com alta previsibilidade em condições ambientais distintas.

Quando o objetivo do melhorista é a seleção de linhagens de alta homeostase e adaptabilidade, ou seja, genótipos com alto rendimento juntamente a alta estabilidade de produção, essas avaliações são de extrema importância (BALESTRE et al., 2010). Contudo, há necessidade da utilização de ferramentas de mensuração acuradas para respostas dessas linhagens a ambientes de testes múltiplos (YAN et al., 2007).

Atualmente existem diversas metodologias usuais para análises de adaptabilidade e estabilidade, dentre estas, a análise via modelos mistos, denominada como método REML/BLUP proposta para análises de informações de diversas culturas perenes e anuais (RESENDE, 2004). A máxima verossimilhança restrita - REML (*Restricted Maximum Likelihood*), procedimento qual possui a finalidade de estimar os componentes de variância, que são necessários ao modelo e o melhor preditor linear não viesado – BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*), que por sua vez estima o valor genotípico (REGITANO NETO et al., 2013).

Conforme o descrito por Torres et al. (2015), as análises via modelos mistos permitem a consideração de erros correlacionados dentro de locais, além da adaptabilidade e estabilidade com intuito da seleção de genótipos superiores. Assim, fornecendo os valores genéticos descontando a instabilidade, podendo ser aplicado a inúmeros ambientes, de maneira a gerar resultados na própria unidade ou escala do caráter avaliado, com possibilidade de interpretações diretas como valores genéticos, diferenciando-se de outros métodos.

Esse modelo fornece resultados como de seleção de genótipos por local; seleção de genótipos estáveis através dos locais pelo método da média harmônica dos valores genotípicos (MHVG), conforme Resende (2004); seleção de genótipos com alta adaptabilidade, responsivos a ambientes favoráveis, pelo método da performance relativa dos valores genotípicos preditos (PRVG), com base no método de Annicchiarico (1992); e seleção para produtividade, estabilidade e adaptabilidade, pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) semelhante ao método de Lin e Binns (1988), porém no contexto genotípico e não no contexto fenotípico.

Vários estudos utilizando estes métodos de MHVG, PRVG e MHPRVG foram desenvolvidos para diferentes espécies, como seringueira (GOUVÊA et al., 2011), mandioca

(FARIAS NETO et al., 2013), eucalipto (PUPIN et al., 2015), feijão (TORRES et al., 2015; CORRÊA et al., 2016), algodão (FARIAS et al., 2016), café (SILVA et al., 2017), além de trabalhos em arroz de terras altas (BORGES et al., 2010; COLOMBARI FILHO et al., 2013; REGITANO NETO et al., 2013), e em arroz irrigado (STRECK et al., 2013), para produção de grãos. Porém, para arroz irrigado existem poucos trabalhos sobre G x E, principalmente no que se referem os atributos de qualidade de grão, sendo estes, caracteres quantitativos, envolvendo muitos genes, onde a expressão fenotípica é muito influenciada pelo ambiente, além de ser um dos principais objetivos dos programas de melhoramento.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo investigar a G x E de arroz irrigado nas principais regiões edafoclimáticas do zoneamento agrícola de arroz irrigado do RS, com base na avaliação genotípica de atributos de qualidade de grãos, adaptabilidade e estabilidade via REML / BLUP.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos oito ensaios de valor de cultivo e uso, sendo que três destes na safra de 2014/15 e cinco na safra 2015/16, compreendendo municípios dispostos em diferentes regiões produtoras de arroz irrigado do Rio Grande do Sul, cujas características edafoclimáticas estão apresentadas na Tabela 1. Cada ensaio foi composto por 14 genótipos, sendo 10 linhagens e/ou híbridos elite e quatro cultivares testemunhas de arroz irrigado, no entanto algumas destas linhagens elites foram alteradas de uma safra para a outra (Tabela 2). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, com 14 tratamentos e quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por nove fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas em 0,17 m entre fileiras. A unidade experimental foi composta por 4 m centrais das sete fileiras internas, de modo a, excluir algum efeito incidente sobre a bordadura.

Tabela 1. Características geográficas dos ambientes, safra, local, latitude, longitude e altitude, dos 14 genótipos de arroz irrigado avaliados nos ensaios de valor de cultivo e uso, no estado do Rio Grande do Sul

Ambiente	Safra	Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	2014/15	Capão do Leão	31° 45' 48" S	52° 29' 02" W	21
2	2014/15	Capivari do Sul	30° 08' 42" S	50° 30' 53" W	12
3	2014/15	Santa Vitória do Palmar	33° 31' 08" S	53° 22' 05" W	23
4	2015/16	Alegrete	29° 46' 59" S	55° 47' 31" W	102
5	2015/16	Capão do Leão	31° 45' 48" S	52° 29' 02" W	21
6	2015/16	Mostardas	31° 06' 25" S	50° 55' 16" W	17
7	2015/16	Uruguaiana	29° 45' 17" S	57° 05' 18" W	66
8	2015/16	Santa Vitória do Palmar	33° 31' 08" S	53° 22' 05" W	23

A densidade de semeadura utilizada foi de 100 kg ha⁻¹, utilizando-se uma semeadora mecânica de parcelas, sob sistema de plantio direto. A adubação de base foi de 300 kg ha⁻¹ de NPK (fórmula 05-20-20) e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia, aplicado 50% da dose no estágio V4 (início do perfilhamento) e o restante no estágio R1 (diferenciação do primórdio floral). O sistema de irrigação adotado foi por inundação permanente até estágio R9 (final de maturação dos genótipos).

Tabela 2. Lista dos 14 genótipos avaliados em cada safra nos diferentes ambientes do ensaio valor de cultivo e uso, suas respectivas classificações, totalizando 21 genótipos diferentes

Genótipos		
2014/15	2015/16	Classificação
BR IRGA 409	BR IRGA 409	Cultivar
IRGA 417	IRGA 417	Cultivar
BRS PAMPA	BRS PAMPA	Cultivar
AVAXI CL	AVAXI CL	Híbrido
AB10572	AB11502	Linhagem
AB11551	AB13715	Linhagem
AB10501	AB13720	Linhagem
AB13002	AB14001	Linhagem
AB13008	AB13006	Linhagem
AB13012	AB13689	Linhagem
AB12597	AB13003	Linhagem
AB12625	AB13002	Linhagem
AB12683	AB13008	Linhagem
H7 CL	H7 CL	Híbrido

Realizou-se colheita manual dos grãos, evitando possíveis misturas indesejadas entre os genótipos, a uma umidade dos grãos de aproximadamente 22%. Após, os grãos foram acondicionados em um secador para redução da umidade relativa média até 13%. Logo, os grãos passaram por um beneficiamento em um mini engenho de provas (Suzuki – MT) para o descascamento e o processo de polimento, assim, gerando o percentual de grãos polidos totais (TOT - %), percentual de grãos inteiros (GI - %) e percentual de grãos quebrados (GQ - %) após o beneficiamento. Posteriormente, os atributos físicos de qualidade intrínsecos dos grãos foram avaliados com o auxílio do analisador estatístico de grãos S21, baseado na análise de imagens digitais de cada amostra, determinando os seguintes parâmetros: CC - comprimento da cariopse (mm); LC - largura da cariopse (mm); G+BB - percentual de grãos gessados e com barriga branca (%); DC - defeitos gerais de coloração dos grãos (grãos ardidos, mofados, rajados, manchados e amarelos) (%); e AG - área gessada total (%).

A partir dos dados fenotípicos, realizou-se as estimativas genéticas dos caracteres em análise através dos modelos lineares mistos, sendo avaliado utilizando o modelo estatístico 54 do software Selegen - REML/BLUP (RESENDE, 2016), correspondente a $y = Xr + Zg + Wi + e$, onde “y” é o vetor de dados, “r” é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, “g” é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), “i” é vetor dos efeitos da G x E (aleatórios) e “e” é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Da mesma forma que Torres (2015), como distribuições e estruturas das médias (E) e

variâncias (Var) assumiu-se:
$$E \begin{pmatrix} y \\ g \\ i \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Xr \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \text{Var} \begin{pmatrix} g \\ i \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I\hat{\sigma}_g^2 & 0 & 0 \\ 0 & I\hat{\sigma}_i^2 & 0 \\ 0 & 0 & I\hat{\sigma}_e^2 \end{pmatrix}.$$

A partir das equações dos modelos mistos, obteve-se o ajuste do modelo:

$$\begin{pmatrix} X'X & X'Z & X'W \\ Z'X & Z'Z + I\lambda_1 & Z'W \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 \end{pmatrix} x \begin{pmatrix} \hat{r} \\ \hat{g} \\ \hat{i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \end{pmatrix}, \quad \text{onde} \quad \lambda_1 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_g^2} = \frac{1 - h_g^2 - i^2}{h_g^2}, \quad \text{e}$$

$$\lambda_2 = \frac{\hat{\sigma}_e^2}{\hat{\sigma}_i^2} = \frac{1 - h_g^2 - i^2}{i^2}; \text{ sendo a herdabilidade no sentido amplo no bloco: } h_g^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_e^2}; \text{ o}$$

coeficiente de determinação dos efeitos de G x E: $i^2 = \frac{\hat{\sigma}_i^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2 + \hat{\sigma}_e^2}$; $\hat{\sigma}_g^2$ é a variância

genotípica entre os genótipos de arroz irrigado; $\hat{\sigma}_i^2$ é a variância da G x E; $\hat{\sigma}_e^2$ é a variância

residual entre parcelas; já a correlação genotípica dos genótipos, através dos ambientes é

$$\text{determinada por } r_{ga} = \frac{\hat{\sigma}_i^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2} = \frac{h_g^2}{h_g^2 + i^2}.$$

Contudo, os estimadores dos componentes de variância, por REML, via algoritmo

$$\text{EM, correspondem a: } \hat{\sigma}_e^2 = \frac{[y'y - \hat{r}'X'y - \hat{g}'Z'y - \hat{i}W'y]}{[N - r(x)]}; \quad \hat{\sigma}_g^2 = \frac{[g'g + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}C^{22}]}{q};$$

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{[i'i + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}C^{33}]}{s}; \quad \text{onde } C^2 \text{ e } C^3 \text{ correspondem de}$$

$$C^{-1} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{pmatrix}, \text{ em que a matriz dos coeficientes das equações}$$

de modelo misto é denominada por C; tr é o operador traço matricial; r(x) o posto da matriz

X; N é o número total de dados, q número de genótipos e s é o número de combinações GxE.

Desta forma, com este modelo obteve-se os preditores BLUP empíricos (eBLUP ou REML/BLUP) dos valores genotípicos sem a interação, dados por $\hat{\mu} + \hat{g}_i$, em que $\hat{\mu}$ é a média total dos ambientes e $\hat{g}_i$ é o efeito genotípico sem a G x E. Os valores genotípicos (Vg), para cada ambiente j, foram preditos por $\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + (\hat{ge})_{ij}$, onde $\hat{\mu}_j$ é a media do

ambiente j, $\hat{g}_i$ é o efeito genotípico do genótipo i, no ambiente j, e $(\hat{ge})_{ij}$ é o efeito da G x E relativo ao genótipo i.

A predição dos valores genotípicos capitalizando a interação média ($\hat{ge}_m$) nos diferentes ambientes é dada por $\hat{\mu}_j + \hat{g}_i + \hat{ge}_m$, calculada por: $Vg_{ij} = \hat{\mu} + \frac{\left(\frac{\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_i^2}{n} \right)}{\hat{\sigma}_g^2} \hat{g}_i$ sendo que $\hat{\mu}$ é a média geral de todos os ambientes; n é o número de ambientes; e $\hat{g}_i$ o efeito genotípico do genótipo i.

Os resultados referentes à estabilidade genotípica pelo método da média harmônica dos valores genotípicos foram calculados por: $MHVG_i = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{Vg_{ij}}}$.

Os resultados referentes à adaptabilidade genotípica pelo método da performance relativa dos valores genotípicos preditos através dos ambientes foram calculados por:

$$PRVG_i = \frac{1}{n} \left(\frac{\sum_{j=1}^n Vg_{ij}}{M_j} \right).$$

O modelo que considera simultaneamente a produtividade, a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos de arroz irrigado é dada pelo método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos: $MHPRVG_i = \frac{n}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{PRVG}}$. Sendo que, n é o número de ambientes onde se avaliou o genótipo i; “Vg_{ij}” o valor genotípico do genótipo i no ambiente j, expresso como proporção da média desse ambiente; M_j é a média geral de cada ambiente j.

Para obtenção dos resultados na escala ou unidade de medida das variáveis estudadas, tanto PRVG quanto MHPRVG foram multiplicados pela média geral ($\hat{\mu}$), gerando os valores genotípicos médios (PRVG_{μ}) capitalizados pela interação, e valores genotípicos de cada genótipo (MHPRVG_{μ}) penalizados pela instabilidade e capitalizados pela G x E.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As predições das estimativas de componentes da variância (Tabela 3) se referem ao desdobramento da estrutura genética de uma população de plantas, com o intuito de responder quanto da proporção fenotípica é devido a fatores genéticos, ambientais, ou então pela G x E. Segundo Maia et al. (2009) a importância destas informações para os programas de melhoramento genético, se devem ao direcionamento e utilização como uma maneira mais prática para a seleção, além de servir como referencial teórico no suporte para recomendações das novas cultivares.

Tabela 3. Estimativas dos componentes da variância (REML individual) em genótipos de arroz irrigado, cultivados em oito ambientes no Estado do Rio Grande do Sul, para as variáveis: TOT - percentual total de grãos polidos; GI - percentual de grãos inteiros; GQ - percentual de grãos quebrados; G+BB - somatório do percentual de grãos gessados e com barriga branca; CC - comprimento médio de grãos; LC - largura média de grãos; DC - somatório do percentual de defeitos de coloração de grãos; AG - área gessada total de grãos.

	TOT	GI	GQ	G+BB
σ_g^2	0,121	4,527	4,303	0,107
σ_i^2	2,062	8,717	5,303	0,089
σ_e^2	2,112	9,238	5,915	0,182
σ_p^2	4,295	22,482	15,522	0,378
h_g^2	0,028+- 0,024	0,201+- 0,065	0,277+- 0,076	0,282+- 0,078
h_{mg}^2	0,207	0,697	0,781	0,821
Ac_g	0,455	0,835	0,884	0,906
c_i^2	0,480	0,388	0,342	0,236
r_{ga}	0,055	0,342	0,448	0,545
$CV_g(\%)$	0,497	3,510	22,520	44,803
$CV_e(\%)$	2,081	5,013	26,405	58,455
μ	69,831	60,628	9,211	0,729
	CC	LC	DC	AG
σ_g^2	0,014	0,003	0,351	1,325
σ_i^2	0,006	0,000	0,597	0,821
σ_e^2	0,006	0,000	0,774	1,693
σ_p^2	0,026	0,003	1,722	3,838
h_g^2	0,534+- 0,105	0,770+- 0,126	0,204+- 0,065	0,345+- 0,085
h_{mg}^2	0,910	0,969	0,716	0,861
Ac_g	0,954	0,985	0,846	0,928
c_i^2	0,239	0,106	0,347	0,214
r_{ga}	0,691	0,879	0,370	0,618
$CV_g(\%)$	1,785	2,513	19,872	8,436
$CV_e(\%)$	1,161	1,006	29,501	9,533
μ	6,628	2,040	2,982	13,646

σ_g^2 - variância genotípica; σ_i^2 - variância da interação genótipo x ambiente; σ_e^2 - variância residual; σ_p^2 - variância fenotípica; h_g^2 - herdabilidade dos efeitos genotípicos totais; h_{mg}^2 - herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de genótipos; Ac_g - Acurácia da seleção ao nível de média de genótipos; c_i^2 - coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente; r_{ga} - correlação genotípica entre genótipo x ambiente; CV_g - coeficiente de variação genético; CV_e - coeficiente de variação ambiental; μ - média geral.

Alguns caracteres de qualidade de grãos avaliados, não estão apenas relacionados a variâncias genotípicas, mas também sob influência ambiental significativa (CAMERON, D. K.; WANG, Y. J.; MOLDENHAUER, 2008; HAKATA et al., 2012; LI et al., 2014; XU; CHEN; XU, 2015). Desta maneira, os valores de CV_e elevados são esperados. No entanto, apenas três demonstraram este comportamento, sendo 26,40% para GQ, 58,45% para G+BB, além de 29,50% para DC. Os demais caracteres analisados apresentaram CV_e baixos variando entre 1,01 e 9,53%.

Os resultados de acurácia referem-se à avaliação conjunta de CV_g e CV_e (RESENDE; DUARTE, 2007), demonstrando a qualidade da experimentação. Foram obtidos valores de acurácia elevados para a maioria dos caracteres estudados, com exceção para percentual total de grãos polidos que apresentou 45,50%. Os demais caracteres variaram entre 83,50% e 98,50%, para percentual de grãos inteiros e largura de grãos respectivamente, revelando uma ótima qualidade experimental além de segurança na seleção.

Comprimento e largura de grãos (CC e LC) são caracteres de elevada σ_g^2 , apresentando h_g^2 (herdabilidade dos efeitos genotípicos totais) de 53,40 e 77,00% respectivamente, não demonstrando influências significativas quanto à σ_e^2 e σ_i^2 . Logo, podem ser considerados caracteres de seleção menos complexas, pois não variam significativamente entre os ambientes. Estes atributos não determinam qualidade de grãos, porém, CASTRO et al., (1999) demonstram o padrão de consumo de arroz branco e polido presente no Brasil, sendo de grãos longos e finos, conforme os resultados da média geral, com CC de 6,628 mm e LC de 2,040 mm (relação comprimento/largura = 3,249).

Este padrão de consumo foi introduzido através da cultivar americana Bluebelle, sendo progressivamente substituída pelas cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410, com lançamento no final dos anos 70, sendo responsáveis diretas da revolução verde do arroz irrigado no Brasil, pela nova arquitetura de planta (semi-anão). Esta nova arquitetura permitiu

e elevar o rendimento no beneficiamento, assim como o potencial de produtividade no Rio Grande do Sul (STRECK et al., 2017) e consequentemente a qualidade de grãos.

A σ_g^2 representada pelos resultados de h_g^2 para os outros caracteres avaliados variaram entre 20,10% e 34,50%, para GI e AG respectivamente, exceto para TOT sendo de 2,80%. Estes valores de herdabilidade são considerados baixos, para serem usados como critérios de seleção direta no melhoramento destes caracteres, pressupondo que, tais resultados podem incluir não apenas efeitos aditivos (fixáveis), mas também os efeitos de dominância e epistasia (não fixáveis).

De maneira geral, os atributos de qualidade de grãos (GI, GQ, TOT, G+BB, DC e AG) foram fortemente influenciados pela G x E, demonstrado pelos resultados de c_i^2 , que corresponde ao percentual da σ_i^2 em relação ao total da σ_p^2 (38,80%, 34,20%, 48,00%, 23,60%, 34,70% e 21,40% respectivamente), conforme Tabela 3. Contudo, estes atributos físicos são de caráter quantitativo, responsivos a diversos fatores. Shi et al. (2002) e Zhou et al. (2009) enfatizaram que estes são controlados também por efeitos maternos e citoplasmáticos, logo, muito dos efeitos genéticos e de G x E acabam não sendo perceptíveis.

A correlação genotípica entre o desempenho nos vários ambientes (r_{ga}) demonstra o comportamento dos genótipos perante a mudança dos ambientes testados, de forma a indicar a ocorrência de uma constante ou se haverá alterações na classificação dos genótipos, conforme a variável avaliada. As proporções observadas de r_{ga} , para os atributos físicos de qualidade de grão variaram de 34,20 a 61,80% (INT e AG respectivamente), não sendo consideradas altas, apontando as variações na ordem dos genótipos. Corroborando com o exposto em outros estudos em diferentes espécies (MAIA et al., 2009; TORRES et al., 2015).

Com base nos parâmetros de estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG μ) e simultaneamente a adaptabilidade e

estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG μ), foram verificados pequenas diferenças no ordenamento dos genótipos entre os métodos. Essa circunstância, também foi relatada de forma análoga no estudo de produtividade da cultura do arroz por Colombari Filho et al. (2013).

O atributo percentual de grãos inteiros (GI), considerado o principal caráter de qualidade de grãos em arroz irrigado, é extremamente buscado pelos programas de melhoramento, sendo de fundamental importância no momento da comercialização e compondo uma grande parte das exigências do segmento industrial da cadeia do arroz. Os genótipos mais estáveis para GI pelo MHVG foram, na sucessiva ordem, AB11502, BR IRGA 409, AB13006, AB10501, AB14001, AB13003 e AB13715, estes que mantiveram as médias maiores que 62,00% de grãos inteiros, de maneira constante entre os ambientes, desta maneira os mesmo genótipos apresentaram grande estabilidade para os menores percentuais de grãos quebrados, com exceção da linhagem AB14001 (13°).

Tabela 4. Estabilidade de valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG μ) e simultaneamente adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG μ) dos 21 genótipos de arroz irrigado preditos pela análise BLUP, para as variáveis de GI - percentual de grãos inteiros, GQ - percentual de grãos quebrados e TOT - percentual total de grãos polidos, com suas respectivas classificações (r^o - ranking); cultivados em oito ambientes no estado do Rio Grande do Sul

GENÓTIPO	MHVG						PRVG μ						MHPRVG μ					
	GI	r^o	GQ	r^o	TOT	r^o	GI	r^o	GQ	r^o	TOT	r^o	GI	r^o	GQ	r^o	TOT	r^o
AB11502	66.60	1	4.26	2	71.42	1	63.87	3	6.83	4	71.17	1	63.82	3	6.62	4	71.15	1
BR IRGA 409	65.08	2	3.76	1	70.20	7	64.67	2	5.23	2	70.14	6	64.56	2	5.02	1	70.11	6
AB13006	64.20	3	5.48	4	70.34	6	61.57	7	8.56	6	70.09	7	61.55	7	8.45	8	70.08	7
AB10501	63.26	4	5.43	3	70.66	3	66.61	1	5.23	1	70.87	3	66.58	1	5.15	2	70.87	2
AB14001	62.80	5	7.51	13	71.12	2	60.30	11	11.75	18	70.90	2	60.24	11	11.68	18	70.86	3
AB13003	62.69	6	6.12	7	70.05	9	60.12	12	9.92	14	69.79	11	60.12	12	9.83	14	69.79	11
AB13715	62.49	7	6.11	6	69.36	15	59.92	13	9.56	11	69.11	18	59.87	13	9.24	11	69.10	18
IRGA 417	62.42	8	5.62	5	70.09	8	62.08	6	7.70	5	70.01	8	62.05	5	7.57	5	70.01	8
H7 CL	60.50	9	6.28	8	70.03	10	60.67	10	8.58	7	69.95	9	60.44	10	8.29	7	69.95	9
AB11551	60.20	10	6.81	9	68.74	21	63.34	4	6.36	3	68.94	20	63.26	4	6.25	3	68.94	20
BRS Pampa	60.08	11	7.29	10	69.77	11	59.84	14	9.81	13	69.71	12	59.79	14	9.78	13	69.68	12
AB13008	59.99	12	7.46	12	69.27	16	59.60	15	10.29	15	69.21	17	59.55	15	10.13	15	69.18	17
AB13720	59.95	13	7.31	11	69.02	19	57.57	20	11.96	19	68.78	21	57.51	19	11.73	19	68.76	21
AB13689	59.80	14	8.67	15	69.67	12	57.69	19	13.74	20	69.54	13	57.39	20	13.08	20	69.43	13
AB13002	59.31	15	8.01	14	69.38	14	59.05	16	10.46	17	69.30	15	59.02	16	10.34	17	69.29	15
AB12683	59.04	16	9.61	16	69.64	13	62.18	5	8.74	8	69.85	10	61.98	6	8.28	6	69.85	10
AB13012	58.13	17	9.91	17	70.56	4	61.36	8	9.17	10	70.76	4	61.35	8	9.14	10	70.76	4
AB12597	57.84	18	10.32	18	68.89	20	60.88	9	9.15	9	69.10	19	60.67	9	8.84	9	69.09	19
Avaxi CL	55.89	19	10.96	20	70.46	5	56.36	21	14.42	21	70.38	5	55.96	21	14.12	21	70.37	5
AB12625	55.82	20	11.48	21	69.20	17	58.83	17	10.32	16	69.40	14	58.83	17	10.27	16	69.40	14
AB10572	55.53	21	10.36	19	69.08	18	58.72	18	9.70	12	69.29	16	58.68	18	9.64	12	69.29	16

A linhagem elite AB10501 apresentou adaptabilidade superior para percentual de grãos inteiros e percentual de grãos quebrados, atingindo o valor genotípico médio de 66,61% e 5,23% respectivamente, frente a ambientes mais favoráveis, para ambos os métodos PRVG μ e MHPRVG μ . Além de, superar todas as cultivares testemunha nestes caracteres, seguida pela BR IRGA 409, na qual foi à testemunha que se demonstrou tanto de alta adaptabilidade, quanto estabilidade perante os ambientes, em todos os métodos propostos.

De maneira geral, as linhagens AB11502, juntamente com a AB10501, demonstraram ser melhores perante todos os três métodos (MHVG, PRVG e MHPRVG), com estabilidade nos diversos ambientes e boa adaptabilidade nos ambientes favoráveis, para os três caracteres de rendimento do processo de beneficiamento (GI, GQ e TOT). Cabe ressaltar que a linhagem AB11502 tem origem por seleção dentro do cruzamento entre as cultivares IRGA 417 e BR IRGA 409, ambas de excelência em qualidade de grão.

Em relação às testemunhas, a cultivar IRGA 417, arroz denominada tipo “premium” em qualidade de grãos (CHAMPAGNE et al., 2010), e a BRS PAMPA, cultivar de grande conceito e aceitação pelos produtores no estado do Rio Grande do Sul pela sua qualidade de grãos (MAGALHÃES et al., 2012), no que se refere à estabilidade e adaptabilidade para percentual de grãos totais e inteiros, foram superadas por algumas linhagens elites, conforme Tabela 4. Contudo, perante aos atributos de G+BB, DC e AG (Tabela 5), ambas se mantiveram entre as melhores médias classificadas.

Para estes mesmos atributos (G+BB, DC e AG), quando os observado conjuntamente, foram destaques de maior estabilidade entre os ambientes estudados e boa adaptabilidade as linhagens AB13008, AB13002 e AB13003, em todos os três métodos.

Atualmente é bastante discutido sobre a adoção de híbrido em arroz, sendo uma das restrições a baixa qualidade de grãos presentes em algumas destas cultivares. Diversos estudos apontam esta diferença entre cultivares convencionais e híbridos (BLANCHE et al., 2009; LONDERO; et al., 2015). No entanto, este estudo apresenta o genótipo híbrido H7 CL, que diferentemente do híbrido testemunha Avaxi CL, demonstrou satisfatórios parâmetros de adaptabilidade e estabilidade (MHVG, PRVG e MHPRVG) frente aos atributos de qualidade grãos ao longo dos ambientes testados.

Este híbrido, assim como a BRSCIRAD 302, foi desenvolvido através de um convênio EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e CIRAD (“*Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement*”). Esta parceria não prioriza a obtenção apenas pelo cruzamento entre cultivares já estabelecidas no mercado, como é comum dentre os programas de melhoramentos, mas o desenvolvimento através do constante melhoramento das linhagens correspondentes aos genitores (melhoramento prévio dos pais), a fim de melhores resultados tanto de produtividade, quanto qualidade de grão (NEVES, 2010). Desta forma, o melhoramento de linhagens específicas

para utilização no desenvolvimento de híbridos de arroz, principalmente para fêmeas no que se refere a atributos físicos de qualidade de grãos (pelos efeitos já mencionados), é uma alternativa a ser utilizada para potencializar esta característica, com o intuito de romper barreiras para utilização deste tipo de cultivares no sul do Brasil.

Tabela 5. Estabilidade de valores genotípicos (MHVG), adaptabilidade de valores genotípicos (PRVG μ) e simultaneamente adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG μ) dos 21 genótipos de arroz irrigado preditos pela análise BLUP, G+BB - somatório do percentual de grãos gessados e com barriga branca, DC - somatório percentual de defeitos de coloração de grãos e AG - área gessada total de grãos, com suas respectivas classificações (r^o - ranking); cultivados em oito ambientes no estado do Rio Grande do Sul

Genótipo		MHVG					PRVGμ					MHPRVGμ						
	G+BB	r°	DC	r°	AG	r°	G+BB	r°	DC	r°	AG	r°	G+BB	r°	DC	r°	AG	r°
AB13008	0.31	1	0.12	4	11.18	1	0.36	1	1.37	5	11.57	1	0.32	1	5.93	18	11.53	1
IRGA 417	0.34	2	0.09	3	12.32	8	0.36	2	1.41	7	12.75	5	0.34	2	6.48	19	12.73	5
AB13002	0.38	3	0.00	1	12.13	5	0.41	3	0.17	2	12.54	4	0.39	3	2.64	2	12.51	4
AB13003	0.40	4	0.17	5	11.41	3	0.42	4	0.27	3	12.97	7	0.41	4	13.34	20	12.97	7
BRS Pampa	0.42	5	0.55	8	11.48	4	0.45	5	3.38	13	11.84	3	0.43	5	3.36	9	11.82	3
BR IRGA 409	0.46	6	1.21	14	11.33	2	0.51	6	5.24	19	11.83	2	0.46	6	4.31	14	11.74	2
AB14001	0.50	7	0.90	12	12.28	6	0.57	8	6.01	20	13.96	11	0.52	7	4.79	16	13.87	10
H7 CL	0.56	8	0.46	7	13.27	13	0.58	9	3.12	12	13.67	9	0.57	9	3.08	6	13.65	9
AB13012	0.57	9	2.98	21	16.60	18	0.56	7	3.76	16	14.09	14	0.54	8	3.66	12	14.08	14
AB11551	0.68	10	2.52	18	16.40	17	0.67	12	3.09	11	13.93	10	0.65	10	3.08	7	13.90	11
AB13006	0.68	11	0.92	13	12.30	7	0.73	13	6.26	21	13.98	12	0.70	13	5.20	17	13.95	12
AB12625	0.69	12	2.29	16	17.62	21	0.67	11	2.88	9	14.96	20	0.66	11	2.84	4	14.96	20
AB10572	0.70	13	2.67	19	15.62	15	0.67	10	3.39	14	13.26	8	0.66	12	3.22	8	13.26	8
AB13689	0.73	14	0.23	6	12.47	10	0.94	16	0.60	4	14.21	16	0.77	14	17.90	21	14.13	15
AB12683	0.87	15	1.87	15	16.67	19	0.83	14	2.31	8	14.17	15	0.83	15	2.29	1	14.16	16
AB11502	0.90	16	0.67	9	12.53	11	0.98	18	5.05	18	14.26	17	0.93	18	4.62	15	14.25	17
AB13715	0.90	17	0.06	2	12.33	9	0.95	17	0.01	1	14.03	13	0.93	17	3.46	10	14.01	13
AB12597	0.94	18	2.32	17	17.61	20	0.90	15	2.91	10	14.96	19	0.89	16	2.84	3	14.93	19
AB13720	1.00	19	0.90	11	12.91	12	1.09	20	1.39	6	14.66	18	1.03	20	2.99	5	14.61	18
AB10501	1.05	20	2.79	20	15.23	14	1.03	19	3.60	15	12.93	6	0.99	19	3.49	11	12.92	6
Avaxi CL	1.65	21	0.85	10	15.82	16	1.72	21	4.18	17	16.24	21	1.66	21	3.86	13	16.19	21

Todos os métodos (MHVG, PRVG e MHPRVG) demonstraram que a testemunha AVAXI CL (híbrido) apresentou baixos índices de adaptabilidade a ambientes favoráveis e dentre os menos estáveis nos diversos ambientes, para todos os atributos físicos de qualidade de grãos, assumindo uma pequena melhora apenas para TOT e DC.

Analisando todos os caracteres físicos de qualidade de grãos, a linhagem elite AB13003 se demonstrou constante frente aos diversos ambientes (PRVG μ e MHPRVG μ), seguida pela cultivar BR IRGA 409, com uma pequena exceção para DC.

Os resultados deste trabalho apontam a existência de variabilidade genética, no programa de melhoramento de arroz irrigado da Embrapa no Rio Grande do Sul, para os atributos de qualidade de grãos dentre as linhagens avaliadas, com potencial para futuros lançamentos ou para manutenção da variabilidade no banco de germoplasma.

CONCLUSÃO

1. Existem alterações significativas decorrente da interação genótipos x ambientes para os atributos de qualidade de grãos em arroz irrigado;
2. As metodologias utilizadas para determinação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos de arroz irrigado foram efetivas para os atributos de qualidade de grãos;
3. As linhagens AB11502 e AB10501 apresentaram bom desempenho agrônomo, adaptabilidade e estabilidade dos caracteres de rendimento de beneficiamento, perante os métodos propostos;
4. As linhagens AB13008, AB13002 e AB13003 apresentaram desempenho agrônomo dos caracteres de percentual de grãos gessados e com barriga branca e área gessada total, perante os métodos propostos, revelando apresentar estabilidade e adaptabilidade superiores;
5. Dentre as linhagens avaliadas, AB13002 foi a que apresentou o melhor desempenho agrônomo quanto ao percentual de defeitos de coloração, perante os métodos propostos, revelando apresentar estabilidade e adaptabilidade superiores;

ADAPTABILITY AND STABILITY OF ELITE BREEDING LINES OF IRRIGATED RICE FOR GRAIN QUALITY

ABSTRACT

Adaptability and stability methodologies, using mixed models, used in several studies with rice productivity to study the effects of genotype x environment interaction (GxE). However, few studies focus grain quality attributes. In this way, the objective of this work was to investigate the interaction GxE of the elite-lines and cultivars, based on the genotypic

evaluation of grain quality characteristics, by the adaptability and stability via mixed models. Using data obtained from Embrapa's "value for cultivation and use trials" (VCU), carried out in the main edaphoclimatic regions of the irrigated rice agricultural zone of southern Brazil, totaling eight environments, the trials were conducted in a randomized complete block design, with four replicates and 14 genotypes per trial (totaling 21 different genotypes). The genetic values were estimated by the REML / BLUP methodology, and based on genotypic stability by the harmonic mean of genotypic values (MHVG) method, genotypic adaptability by the method of relative performance of genotypic values predicted through the environments (PRVG) and simultaneously the productivity, adaptability and stability of irrigated rice genotypes is given by the harmonic mean of relative performance of genotypic values (MHPRVG) method. For all the variables studied, except for the percentage of total polished grains being 45.5%, the others ranged from 83.5% to 98.5%, for percentage of whole grains and grain width respectively, revealing an excellent experimental quality, as well as selection safety for these characteristics. Among the evaluated elite-lines, AB11502 and AB10501 were better for the agronomic performance of the beneficiation yield characteristics, still, for the characteristics of percentage of chalky grains and with white belly and total plaster area, were the elite-lines AB13008, AB13002 and AB13003 before the proposed methods, showing superior stability and adaptability. These five elite breeding lines have a high potential for grain quality attributes, with the possibility of release.

Keywords: *Oryza sativa*; mixed models; genotype environment interaction.

REFERÊNCIAS

- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of genetics and Plant Breeding**, v. 46, p. 269-278, 1992.
- BALESTRE, M.; SANTOS, V. B. dos; SOARES, A. A.; REIS, M. S. Stability and adaptability of upland rice genotypes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 10, n.

4, p. 357–363, 2010.

BLANCHE, S. B.; UTOMO, H. S.; WENEFRIDA, I.; MYERS, G. O. Genotype $\times$ environment interactions of hybrid and varietal rice cultivars for grain yield and milling quality. **Crop Science**, v. 49, n. 6, p. 2011–2018, 2009.

BORGES, V.; SOARES, A. A.; REIS, M. S.; RESENDE, M. D. V.; CORNÉLIO, V. M. O.; LEITE, N. A.; VIEIRA, A. R. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 833–842, 2010.

CAMERON, D. K.; WANG, Y. J.; MOLDENHAUER, K. A. Comparison of physical and chemical properties of medium-grain rice cultivars. **Journal of Food Science**, v.73, n.2, 2008.

CASTRO, E. D. M. De; VIEIRA, N. R. D. A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. Da. Qualidade de grãos em arroz. **Revista embrapa arroz e feijão**, v. 34, p. 1–30, 1999.

CHAMPAGNE, E. T.; BETT-GARBER, K. L.; FITZGERALD, M. A.; GRIMM, C. C.; LEA, J.; OHTSUBO, K.; JONGDEE, S.; XIE, L. Important sensory properties differentiating premium rice varieties. **Rice**, v. 3, n. 4, p. 270–281, 2010.

COLOMBARI FILHO, J. M.; DE RESENDE, M. D. V.; DE MORAIS, O. P.; DE CASTRO, A. P.; GUIMARÃES, É. P.; PEREIRA, J. A.; UTUMI, M. M.; BRESEGHELLO, F. Upland rice breeding in Brazil: A simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield. **Euphytica**, v. 192, n. 1, p. 117–129, 2013.

CORRÊA, A. M.; PEREIRA, M. I. S.; ABREU, H. K. A.; SHARON, T.; DE MELO, C. L. P.; ITO, M. A.; TEODORO, P. E.; BHERING, L. L. Selection of common bean genotypes for the Cerrado/Pantanal ecotone via mixed models and multivariate analysis. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 4, p. 1–9, 2016.

DEON, M.; RESENDE, V. de. Software Selegen-REML / BLUP : a useful tool for plant breeding. n. September, p. 330–339, 2016.

- FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P.; FILHO, J. L. S.; TEODORO, P. E. Usefulness of the HMRPGV method for simultaneous selection of upland cotton genotypes with greater fiber length and high yield stability. **Genetics and Molecular Research**, v. 15, n. 3, p. 1–7, 2016.
- FARIAS NETO, J. T.; MOURA, E. F.; RESENDE, M. D. V.; CELESTINO FILHO, P.; AUGUSTO, S. G. Genetic parameters and simultaneous selection for root yield, adaptability and stability of cassava genotypes. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 12, p. 1562–1568, 2013.
- GOUVÊA, L. R. L.; SILVA, G. A. P.; SCALOPPI JR, E. J.; GONÇALVES, P. de S. Different methods to assess yield temporal stability in rubber. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 491–498, 2011.
- HAKATA, M.; KURODA, M.; MIYASHITA, T.; YAMAGUCHI, T.; KOJIMA, M.; SAKAKIBARA, H.; MITSUI, T.; YAMAKAWA, H. Suppression of α -amylase genes improves quality of rice grain ripened under high temperature. **Plant Biotechnology Journal**, p. 1–8, 2012.
- LI, Y.; FAN, C.; XING, Y.; YUN, P.; LUO, L.; YAN, B.; PENG, B.; XIE, W.; WANG, G.; LI, X.; XIAO, J.; XU, C.; HE, Y. Chalk5 encodes a vacuolar H⁺-translocating pyrophosphatase influencing grain chalkiness in rice. **Nature Genetics**, v. 46, n. 4, 2014.
- LIN, C.S.; BINNS, M. R.. A method of analyzing cultivar x location x year experiments: a new stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76 p. 425-430, 1988.
- LONDERO, G. P.; MARCHESAN, E.; PARISOTTO, E.; COELHO, L. L.; ARAMBURU, B. B.; FLORES, C. S.; SILVA, A. L. DA. Qualidade industrial de grãos de arroz decorrente da supressão da irrigação e umidade de colheita. **Irriga, Botucatu**, p. 587–601, 2015.
- MAGALHÃES, A. M. de; MORAES, O. P. de; FAGUNDES, P. R. R.; NETO, F. P. M.; FRANCO, D. F.; NEVES, P. de C. F.; NUNES, C. D. M.; RANGEL, P. H. N.; PETRINI, J. A.; SEVERO, A. C. M. BRS Pampa: Cultivar de Arroz Irrigado de Alta Produtividade e

Excelência na Qualidade de Grãos. **Comunicado Técnico**, v. 282, 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/mobile/publicacoes/-/publicacao/953787/brs-pampa-cultivar-de-arroz-irrigado-de-alta-produtividade-e-excelencia-na-qualidade-de-graos>>.

MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V. de; PAIVA, J. R. de; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. de M. Seleção Simultânea para produção, Adaptabilidade e Estabilidade Genotípicas em Clones de Cajueiro, via Modelos Mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 1, p. 43–50, 2009.

MARIOTTI, J. A.; OARZABAL, E. S.; OSA, J. M.; BULACIO, A. N. R.; ALMADA, G. H. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genótipos de caña de azucar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronómica Norte Argentina**, v. 13, p. 405–412, 1976.

NEVES, P. de C. F. **Melhoramento Genético do Arroz: Exploração da heterose no desenvolvimento de cultivares**, 2010.

PUPIN, S.; SANTOS, A. V. A.; ZARUMA, D. U. G.; MIRANDA, A. C.; SILVA, P. H. M.; MARINO, C. L.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. Produtividade, estabilidade e adaptabilidade em progênies de polinização aberta de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. **Scientia Florestalis**, v. 43, n. 105, p. 127–134, 2015.

REGITANO NETO, A.; JUNIOR, E. U. R.; GALLO, P. B.; DE FREITAS, J. G.; AZZINI, L. E. Behavior of upland rice genotypes in the state of são paulo, brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 3, 2013.

RESENDE, M. D. V. De. **Métodos estatísticos ótimos na análise de experimentos de campo**. p. 57, 2004.

RESENDE, M. D. V. De. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 16, p. 330-339, 2016.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos

- de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182–194, 2007.
- SHI, C. H.; WU, J. G.; LOU, X. B.; ZHU, J.; WU, P. Genetic analysis of transparency and chalkiness area at different milling stages of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v. 76, p. 1–9, 2002.
- SILVA, V. A.; MACHADO, J. L.; COSTA, J.; REZENDE, D.; OLIVEIRA, A. L. De; FI-, U. J. De. Adaptability , stability , and genetic divergence of conilon coffee in Alto Suaçuí , Minas Gerais , Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 25–31, 2017.
- STRECK, E. A.; AGUIAR, G. A.; MAGALHÃES JR, A. M. de; FACCHINELLO, P. H. K.; OLIVEIRA, A. C. de. Phenotypic variability in genotypes of irrigated rice via multivariate analysis. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 101–109, 2017.
- STRECK, E. A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de; FAGUNDES, P. R. R.; SEVERO, A. C. M.; MORAES, O. P. de; AGUIAR, G. A.; LOPES, J. L.; OLIVEIRA, F. A. Adaptabilidade e Estabilidade de linhagens elites de arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) do programa de melhoramento da Embrapa no RS. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO. **Anais do VIII Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**. Santa Maria: 2013.
- TORRES, F. E.; TEODORO, P. E.; SAGRILO, E.; CECCON, G.; CORREA, A. M. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 255–260, 2015.
- XU, Q.; CHEN, W.; XU, Z. Relationship between grain yield and quality in rice germplasms grown across different growing areas. **Breeding Science**, v. 232, p. 226–232, 2015.
- YAN, W.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643–655, 2007.
- ZHOU, L.; LING, J.; HU-QU, Z.; JIAN-MIN, W. A. N. Current status and strategies for improvement of rice grain chalkiness. **Hereditas (Beijing)**, v. 31, n. 6, p. 563–572, 2009.

4 Artigo III: Correlações genéticas e estimativas de análise de trilha para componentes da qualidade de grãos em arroz irrigado
(Segundo Normas da Revista Ciência Agronômica)

**Correlações genéticas e estimativas de análise de trilha para componentes da
qualidade de grãos em arroz irrigado**

**Genotypic correlations and path analysis to estimate the grain quality components
in irrigated rice**

RESUMO - A busca por características de qualidade de grãos em arroz tem se tornado um critério de fundamental importância para o lançamento de novas cultivares. Contudo, estes caracteres apresentam uma difícil seleção e fixação, e necessitam ferramentas adequadas que venham a auxiliar o melhorista. A análise de trilha é uma das ferramentas, que facilita o entendimento das correlações existentes entre pares de caracteres, onde os resultados podem guiar na seleção indireta de um atributo desejado. O trabalho teve o objetivo de evidenciar as correlações fenotípicas e genéticas, as associações diretas e indiretas de caracteres agrônômicos e atributos de qualidade de grãos relacionados ao rendimento de grãos inteiros em arroz irrigado pela análise de trilha. Foram utilizados 23 genótipos de arroz irrigado, do programa de melhoramento da Embrapa. O experimento foi conduzido em dois ambientes sob delineamento de blocos casualizados com três repetições. Os caracteres avaliados foram: percentual de grãos inteiros (GI); comprimento da cariopse (CC); largura da cariopse (LC); comprimento de panícula (CP); massa de panícula (MP); massa de mil grãos (MMG); dias até a floração (DAF); percentual de grãos gessados e com barriga branca (BB+G); área gessada total (AG); brancura total (BRT); brancura vítrea (BRV); e defeitos de coloração (DC). Os resultados apresentaram correlações significativas para seis caracteres com magnitudes negativas em relação ao percentual de grãos inteiros. As variáveis área gessada total e brancura total influenciaram negativamente com efeito direto no percentual de grãos inteiros e podem ser utilizados como critérios de seleção indireta.

PALAVRAS-CHAVE: *Oryza sativa* L.. Seleção indireta. Grãos inteiros.

ABSTRACT - The search for grain quality characteristics in rice has become a criterion of fundamental importance for the release of new cultivars, however, these characters present a difficult selection and fixation, and they need adequate tools that will help the breeder. Path analysis is one of the tools, which facilitates the understanding of the existing correlations between pairs of characters, where the results can guide in the indirect selection of a desired attribute. The objective of this work is to show the phenotypic and genetic correlations and the direct and indirect associations of agronomic traits and grain quality attributes related to the yield of whole grains in irrigated rice by path analysis. Twenty three irrigated rice genotypes were used, of the Embrapa breeding program. The experiment was conducted at two environments under a randomized complete block design with three replicates. The evaluated characters were: percentage of whole grains (GI); caryopsis length (CC); caryopsis width (LC); panicle length (CP); panicle mass (MP); mass of one thousand grains (MMG); days until flowering (DAF); percentage of grains with white belly and chalky grain (BB + G); total chalkiness area (GA); total whiteness (BRT); vitreous whiteness (BRV); and color defects (DC). The results showed significant correlations for six characters with negative magnitudes in relation to the percentage of whole grains. The variables total chalkiness area and total whiteness influenced negatively with direct effect on the percentage of whole grains and may be used as criterion of indirect selection.

KEY WORDS: *Oryza sativa* L.. Indirect selection. Whole grains.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de genótipos superiores em arroz (*Oryza sativa* L.), base da alimentação e segundo cereal mais produzido no mundo, vem tomando novos rumos dentre os programas de melhoramento genético. Além da seleção de genótipos com constituições genéticas de alto potencial produtivo, a busca por características de qualidade de grãos tem se

tornado um critério de fundamental importância para o lançamento de novas cultivares (RANGEL et al., 2000).

Os atributos de qualidade de grãos em arroz irrigado são caracteres quantitativos, fortemente influenciados pelo ambiente e sua interação com o genótipo. A seleção precoce e a fixação destes atributos em gerações segregantes são dificultadas, devido à baixa herdabilidade e pelo uso de metodologias para mensuração de algumas destas características que são destrutivas, como é o caso do percentual de grãos inteiros, onde o processo de polimento dos grãos acaba danificando o embrião inutilizando a amostra para uso como semente. Para caracteres que apresentam estas dificuldades é recomendado o uso da seleção indireta (CARVALHO et al., 2004; NARDINO et al., 2016). A seleção indireta corresponde a uma seleção aplicada a um caráter secundário para melhorar outro caráter desejado, através de uma resposta correlacionada entre os dois. Contudo, não deve ser apenas uma alternativa para seleção direta, mas sim, os dois métodos de seleção se utilizados concomitantemente geram uma maior eficiência (FALCONER, 1981).

Neste sentido, o método de análise de trilha (“Path analysis”) (Wright, 1923) propõe o desdobramento da correlação linear estimada em efeitos diretos e indiretos de diversos caracteres em relação a um caráter principal. Desta forma, baseia-se na avaliação do efeito de uma variável independente (x) sobre uma variável dependente (y), após a exclusão da influência das outras variáveis independentes (x_i) presentes na análise (KAVALCO et al., 2014). Tal método tem o intuito de facilitar o entendimento das correlações existentes, sendo um artifício importante para o auxílio do melhorista.

Há importância em verificar o grau de multicolinearidade entre as variáveis explicativas (CRUZ; CARNEIRO, 2006), pois a realização da análise de trilha com elevado grau de multicolinearidade pode gerar superestimativa dos efeitos diretos e indiretos, sem sentido biológico (TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013). Desta forma, caso detectado alto grau

de multicolinearidade, recomenda-se a realização da análise de trilha sob multicolinearidade (análise de trilha em crista), com acréscimo de um valor k aos elementos da diagonal da matriz de correlação, ou realizar a análise de trilha tradicional, com a eliminação de variáveis altamente correlacionadas (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Diversos trabalhos têm utilizado esta metodologia de análise de trilha sob multicolinearidade, de maneira muito eficaz no fitomelhoramento genético para diferentes culturas (LUZ; SANTOS; MELO FILHO, 2011; TOEBE; CARGNELUTTI FILHO, 2013; AZEVEDO et al., 2016).

Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo evidenciar as correlações genéticas e as associações diretas e indiretas de caracteres agronômicos e atributos de qualidade de grãos relacionados ao rendimento de grãos inteiros em arroz irrigado.

MATERIAL E MÉTODOS

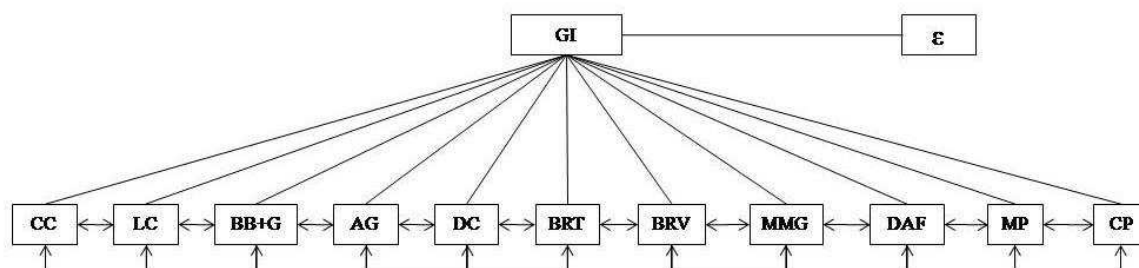
O experimento foi conduzido em dois locais, no campo experimental da Estação de Terras Baixas, da Embrapa Clima Temperado no Capão do Leão e na propriedade do produtor Olmar Streck, em Nova Esperança do Sul, ambas no estado do Rio Grande do Sul, na safra 2015/2016. A experimentação foi implementada sob delineamento de blocos casualizados com três repetições, sendo as parcelas compostas por quatro fileiras de 5 m de comprimento com espaçamento de 0,17 m entre linhas. A área útil da parcela foi constituída por 4 m centrais das duas fileiras internas, de modo a, excluir algum efeito incidente sobre a bordadura. A densidade de semeadura utilizada foi de 100 kg ha⁻¹, utilizando-se uma semeadora mecânica de parcelas, sob sistema de plantio direto. A adubação de base foi de 300 kg ha⁻¹ de NPK (fórmula 5-20-20) e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de uréia, aplicado 50% da dose no estágio V4 (colar formado na quarta folha do colmo principal) e o restante no

estádio R0 (iniciação da panícula). Utilizou-se o sistema de irrigação por inundação permanente até o estágio de final de maturação dos genótipos.

Foram utilizados 23 genótipos de arroz irrigado, contemplando as cultivares BR IRGA 409, BR IRGA 410, BR IRGA 411, BR IRGA 412, BR IRGA 413, BR IRGA 414, BRS 6 ‘Chuí’, BRS 7 ‘Taim’, BRS Sinuelo CL, BRS Agrisul, BRS Pampa, BRS Pampeira, BRS Pelota, BRS Fronteira, BRS Querência, BRS Ligeirinho, BRS 358, BRS AG, BRS Bojuru, BRS Firmeza, BRS SCS 113 Tio Taka, BRSCIRAD 302 e IAS 12-9 FORMOSA, todas desenvolvidas pelo programa de melhoramento da Embrapa ou em parceria com outros programas.

Os caracteres agronômicos avaliados seguem conforme o diagrama da Figura 1 sendo: percentual de grãos inteiros (GI - %); comprimento da cariopse (CC - mm); largura da cariopse (LC - mm); comprimento de panícula (CP - cm); massa de panícula (MP - g); massa de mil grãos (MMG - g); e dias até a floração (DAF - dias), considerando-se o número de dias da emergência até 50% das panículas expostas. Além, dos atributos físicos de qualidade intrínsecos dos grãos, obtidos com o auxílio do analisador estatístico de grãos S21, baseado na análise de imagens digitais de cada amostra, sendo: somatório do percentual de grãos gessados e com barriga branca (BB+G - %); área gessada total (AG - %); brancura total (BRT); brancura vítrea (BRV); e somatório do percentual de defeitos de coloração (manchados, rajados, mofados e amarelos) (DC - %).

Figura 1 - Diagrama causal ilustrando os efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas comprimento da cariopse (CC), largura da cariopse (LC), somatório do percentual de grãos gessados e com barriga branca (BB+G), área gessada total (AG), defeitos de coloração (DC), brancura total (BRT), brancura vítrea (BRV), massa de mil grãos (MMG), dias até a floração (DAF), massa de panícula (MP) e comprimento de panícula (CP), sobre a variável resposta percentual de grãos inteiros (GI), excluindo o efeito do erro residual (ϵ)



Após a coleta dos dados, estes foram tabulados em planilha eletrônica do Microsoft Excel, posteriormente efetuaram-se as análises estatísticas, processados através do aplicativo computacional em genética quantitativa e estatística experimental, GENES (CRUZ, 2013).

Primeiramente os dados foram submetidos à análise de variância individual e teste F, para cada variável estudada, com o intuito de verificar a existência de variabilidade entre os genótipos, assim como comprovar a homogeneidade das variâncias. Logo, obtiveram-se as estimativas dos parâmetros genéticos (variâncias ambientais, genotípicas e fenotípicas, coeficiente de variância experimental, herdabilidade).

Para o procedimento de análise de trilha, realizou-se o diagnóstico de multicolinearidade nas matrizes de correlações genotípicas e fenotípicas, de acordo com os critérios indicados por Montgomery e Peck (1981). A presença de multicolinearidade foi verificada pela análise dos autovalores da matriz $X'X$, em que o grau de multicolinearidade foi estabelecido com base no número de condição (NC), que é a razão entre o maior e o menor autovalor da matriz. Considerou-se também como indicativo de multicolinearidade o fator de inflação da variância (FIV), obtido para cada variável, na diagonal inversa da matriz de correlação ($X'X$).

Segundo Cruz e Carneiro (2006), caso detectado multicolinearidade severa, para que não ocorra exclusão das variáveis, utiliza-se o procedimento similar à análise de regressão em crista, onde se adiciona uma constante (k) à diagonal da matriz de correlação $X'X$, com o intuito de reduzir a variância do estimador de mínimos quadrados da análise de trilha. Na seleção do valor de k (valores entre 0 e 1) devem ser levados em conta o melhor valor que minimize a multicolinearidade, considerando a menor constante que possibilite a estabilização dos coeficientes de trilha, FIV inferior a 10 e NC menor que 100 (HAIR et al., 2009). Quanto maior for o valor k utilizado, mais enviesadas são as informações obtidas pela análise de trilha (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014).

Foi detectado um grau de multicolinearidade considerado moderado à forte, apresentando NC entre 100 e 1000 autovalores da matriz, além disso, o fator de inflação da variância apresentou valores superiores a 10. Desta forma, utilizou-se uma constante $k = 0,0860$, para minimizar a multicolinearidade, sendo essa a menor constante que possibilitou a estabilização dos coeficientes de trilha, com FIV inferior a 10 e NC menor que 100.

Posteriormente, foram obtidas as correlações fenotípicas e genotípicas, através do teste de “bootstrap” com 10000 simulações, para determinar a existência de correlação linear significativa entre as variáveis. Esse processo analisa as correlações fenotípicas, obtendo um número n de estimativas de correlações (ρ), através do conjunto de dados original permutado (desestruturado). Depois de verificada a existência de correlação significativa entre os pares de caracteres, foi realizada a análise de trilha, para indicar os efeitos diretos e indiretos dos caracteres agrônômicos avaliados em relação ao percentual de grãos inteiros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 1) demonstrou diferença significativa pelo teste F, quanto ao efeito dos genótipos para onze variáveis analisadas. Em relação à variância de

ambiente apenas as variáveis LC e DC apresentaram diferença significativas, e para o efeito de interação genótipos x ambientes (G x E) a maioria das variáveis revelaram diferenças significativas. Os coeficientes de variação dos caracteres oscilaram entre 1,47% para a variável LC e 19,01% para a variável AG, o que conferiu boa precisão experimental. No entanto, as variáveis BB+G (111,68%) e DC (51,64%) apresentaram valores elevados, efeito decorrente principalmente pela natureza da variável. Verificou-se alta herdabilidade dos caracteres avaliados (entre 66,62 e 99,63%), que demonstram uma adequada eficiência no processo de seleção.

Tabela 1 - Resumo da análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos dos caracteres agronômicos avaliados em 23 genótipos de arroz irrigado em dois locais do Rio Grande do Sul

FV	GL	QUADRADOS MÉDIOS					
		GI	CC	LC	BB+G	AG	DC
G	22	125,15 ^{**}	1,76 ^{**}	0,25 ^{**}	822,41 ^{**}	446,83 ^{ns}	100,75 ^{**}
E	1	123,37 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,37 ^{**}	14,41 ^{ns}	387,44 ^{ns}	1290,89 ^{**}
G x E	22	33,21 ^{**}	0,13 ^{**}	0,01 ^{**}	3,03 ^{ns}	10,05 ^{ns}	33,63 ^{**}
B	2	6,99	0,01	0,01	7,47	3,17	19,80
r	88	7,42	0,01	0,00	16,52	8,47	10,01
μ	-	60,70	6,34	2,14	3,64	15,31	6,13
CV(%)	-	4,49	1,91	1,47	111,68	19,01	51,64
σ_g^2	-	15,32	0,27	0,04	136,56	72,80	11,19
σ_i^2	-	8,59	0,04	0,00	0,00	0,53	7,87
h (%)	-	73,47	92,67	98,25	99,63	97,75	66,62
		BRT	BRV	CP	MP	MMG	DAF
G	22	154,85 ^{**}	83,99 ^{**}	32,06 ^{**}	5,04 ^{**}	481,12 ^{**}	550,85 ^{**}
E	1	40,64 ^{ns}	418,09 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,13 ^{ns}	131,48 ^{ns}	165,22 ^{ns}
G x E	22	12,20 ^{**}	19,63 ^{**}	3,01 ^{**}	0,42 ^{**}	7,70 ^{**}	46,12 ^{**}
B	2	4,31	1,67	1,59	0,11	26,63	25,48
r	88	5,89	5,10	1,45	0,16	2,24	5,03
μ	-	131,63	121,53	23,86	3,61	29,78	77,51
CV(%)	-	1,84	1,86	5,05	11,10	5,03	2,89
σ_g^2	-	23,78	10,73	4,84	0,77	78,90	84,12
σ_i^2	-	2,10	4,85	0,52	0,09	1,82	13,70
h (%)	-	92,12	76,62	90,61	91,72	98,40	91,63

FV - fontes de variação, GL - graus de liberdade, G - genótipo, E - ambiente, G x E - interação genótipos x ambientes, B - bloco, r - residuo, μ - média, CV - coeficiente de variação (%), σ_g^2 - variância genética, σ_i^2 - variância da interação G x E, h - herdabilidade (%), GI - rendimento de grãos inteiros (%), CC - comprimento da cariopse (mm), LC - largura da cariopse (mm), BB+G - somatório de percentual de grãos com barriga branca e gessados (%), AG - área gessada total, DC - percentual de defeitos de coloração (%), BRT - brancura total, BRV - brancura vítrea, CP - comprimento de panícula (cm), MP - massa de panícula(g), MMG - massa de mil grãos (g) e DAF - dias até a floração (dias); ^{ns} - não significativo, ^{**} - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

Conforme sugerido por Oliveira et al. (2013), em estudos sobre estimação da correlação genotípica deve-se utilizar maior número de cultivares, para que a construção das distribuições empíricas da verificação da significância pelo teste de Mantel seja corretamente efetuada. Neste sentido o presente trabalho utilizou 23 cultivares, onde a partir delas foram obtidos 32 pares de correlações genotípicas significativas entre os caracteres (Tabela 2).

Tabela 2 - Correlações genotípicas entre caracteres agronômicos avaliados em 23 genótipos de arroz irrigado em dois locais do Rio Grande do Sul

	GI	CC	LC	BB+G	AG	DC	BRT	BRV	CP	MP	MMG	DAF
GI	1	-0,039	-0,373 ⁺	-0,563 ⁺⁺	-0,702 ⁺⁺	-0,192	-0,756 ⁺⁺	0,382	0,220	-0,423 ⁺	-0,516 ⁺	0,215
CC		1	-0,588 ⁺⁺	0,117	0,079	-0,763 ⁺⁺	0,156	0,025	0,431 ⁺	0,335 ⁺	0,188	0,066
LC			1	0,562 ⁺	0,599 ⁺⁺	0,865 ⁺⁺	0,589 ⁺⁺	-0,472	-0,533 ⁺⁺	0,294	0,605 ⁺⁺	0,044
BB+G				1	0,967 ⁺⁺	0,286	0,883 ⁺⁺	-0,913 ⁺	0,014	0,805 ⁺	0,956 ⁺	-0,017
AG					1	0,328	0,950 ⁺⁺	-0,838 ⁺	-0,045	0,769 ⁺	0,927 ⁺	-0,115
DC						1	0,271	-0,298	-0,513 ⁺⁺	-0,039	0,275	-0,114
BRT							1	-0,639 ⁺	-0,119	0,707 ⁺	0,899 ⁺⁺	0,002
BRV								1	-0,093	-0,726 ⁺	-0,802 ⁺	0,153
CP									1	0,239	-0,048	0,153
MP										1	0,841 ⁺⁺	-0,009
MMG											1	0,095
DAF												1

GI - rendimento de grãos inteiros (%), CC - comprimento da cariopse (mm), LC - largura da cariopse (mm), BB+G - somatório de percentual de grãos com barriga branca e gessados (%), AG - área gessada total, DC - percentual de defeitos de coloração (%), BRT - brancura total, BRV - brancura vítrea, CP - comprimento de panícula (cm), MP - massa de panícula(g), MMG - massa de mil grãos (g) e DAF - dias até a floração (dias); ⁺⁺ e ⁺: significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste de Mantel pelo método bootstrap com 10000 simulações

A maior magnitude positiva foi entre as variáveis BB+G e AG (0,967), tal correlação já era esperada, pois ambos os caracteres são decorrente da variação do mesmo defeito em grãos. Conforme Shen (2000) é devido aos espaços de ar gerados por distúrbios no momento do acúmulo de moléculas de amido e proteína nos grãos. Por outro lado, a maior magnitude negativa foi encontrada entre BB+G e BRV, sendo dois caracteres inversamente proporcionais.

Em relação à GI, os resultados demonstram seis correlações genéticas significativas, onde todas apresentaram efeitos negativos, para LC, BB+G, AG, BRT, MP e MMG, variando entre -0,373 para LC e -0,756 para BRT. Estes resultados de BB+G e AG corroboram com o proposto por Liu et al. (2009), onde estes espaços de ar em grãos gessados possibilitam uma maior facilidade em quebrar os grãos no beneficiamento. Além disso, estes caracteres fazem parte dos maiores problemas do cultivo do arroz, pois afetam diretamente na determinação da qualidade e preço do arroz (ZHOU et al., 2009), juntamente com o percentual de grãos inteiros. Cabe ressaltar que a seleção simultânea, para estas duas características, decorrente dessa alta correlação genética, pode gerar ganhos genéticos consideráveis para estes atributos de qualidade de grãos.

Para MP e MMG, as correlações negativas em relação à GI, podem ser atribuídas em função das cultivares da subespécie japônica, que apresentam grãos mais arredondados e com composição diferente, além de qualidade de grãos inferiores em relação às cultivares da subespécie indica, também demonstrados através das correlações significativas de efeito negativo entre estes caracteres e BRV (-0,726 e -0,802 respectivamente). Estes mesmos fatores podem ser atribuídos também, pelo uso da cultivar BRS AG, primeira cultivar de arroz destinado a outros usos que não o consumo humano, como produção de álcool ou alimentação animal, que possui elevada distância genética em relação à outras cultivares comumente utilizadas, principalmente pelos caracteres intrínsecos ao tipo de grão e a arquitetura de planta (STRECK et al., 2017), apresentando grãos intermediários com MMG de praticamente o dobro das demais cultivares (52g em média) (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2017).

Os resultados de CP, não demonstraram correlações significativas com GI, contrapondo o exposto por Jongkaewwattana e Geng (2002), citado por Londero et al. (2015), onde este caráter poderia fornecer um índice de seleção útil para o melhoramento no que se refere ao aumento de rendimento de grãos inteiros. Contudo, tal resultado pode ser atribuído pela pequena variação de amplitude para este caráter nas estimativas de correlações genéticas, pois apenas a BRS Querência apresenta maiores valores de CP em relação às demais cultivares.

A variável DAF foi à única que não apresentou correlação significativa em relação à variável explicativa de percentual de grãos inteiros, bem como para suas relações com as demais variáveis analisadas. Resultados semelhantes foram relatados em outros estudos com a cultura do arroz, onde foram verificadas nenhuma correlação ou poucas correlações de baixa magnitude entre DAF e diversos outros caracteres (NANDAN; SWETA; SINGH, 2010; KISHORE et al., 2015).

Para uso da seleção indireta pelo melhoramento é importante identificar entre os caracteres de alta correlação com o caráter principal, quais apresentam maior efeito direto em sentido favorável à seleção, para que a resposta seja eficiente (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Neste sentido, as estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas sobre a variável resposta principal de rendimento de grãos inteiros (Tabela 3) evidenciaram que as variáveis BRT e AG, apresentaram altas magnitudes negativas no que se refere a efeito direto sobre GI, explicando grande parte da correlação existente entre estes caracteres. Além disso, foram detectados efeitos indiretos das variáveis LC, BB+G, MP e MMG, com correlações negativas em relação à variável resposta GI, todos estes efeitos indiretos foram via AG e BRT.

As áreas de “gesso” (AG, BB+G e BRT) presente nos grãos de arroz foram os fatores que demonstraram maiores prejuízos diretos e indiretos quanto ao percentual de grãos inteiros. Diversos trabalhos buscam maneiras de minimizar estes efeitos, tanto por melhoramento genético quanto por diferentes métodos de manejo, de maneira a evitar possíveis causas relacionadas à ocorrência de grãos gessados (MARCHEZAN; DARÍO; TORRES, 1992; ISHIMARU et al., 2009; GU et al., 2015; LONDERO; et al., 2015).

Tabela 3 - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, estimados a partir das correlações fenotípicas, sobre percentual de grãos inteiros em 23 genótipos de arroz irrigado

		EST	FIV			EST	FIV
VARIÁVEL=====>							
EFEITO DIRETO SOBRE	CC			EFEITO INDIRETO VIA	BRV	-0,0044	0,0028
EFEITO INDIRETO VIA	GI	0,1453	3,8633	EFEITO INDIRETO VIA	CP	0,0721	0,3114
EFEITO INDIRETO VIA	LC	-0,1078	2,1108	EFEITO INDIRETO VIA	MP	-0,0174	0,3675
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	-0,0021	0,1157	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	0,0530	0,2770
EFEITO INDIRETO VIA	AG	-0,0397	0,0508	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	0,0074	0,0055
EFEITO INDIRETO VIA	DC	-0,0542	2,3316	EFEITO INDIRETO VIA			
EFEITO INDIRETO VIA	BRT	-0,1039	0,1365	TOTAL		-0,0392 ^{ns}	
VARIÁVEL=====>							
EFEITO DIRETO SOBRE	LC			EFEITO INDIRETO VIA	BRV	0,0824	1,0271
EFEITO INDIRETO VIA	GI	0,1836	7,2118	EFEITO INDIRETO VIA	CP	-0,0892	0,4766
EFEITO INDIRETO VIA	CC	-0,0854	1,1307	EFEITO INDIRETO VIA	MP	-0,0152	0,2813
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	-0,0100	2,6645	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	0,1711	2,8854
EFEITO INDIRETO VIA	AG	-0,2996	2,9003	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	0,0050	0,0026
EFEITO INDIRETO VIA	DC	0,0614	2,9965	EFEITO INDIRETO VIA			
EFEITO INDIRETO VIA	BRT	-0,3935	1,9588	TOTAL		-0,3735 ⁺	
VARIÁVEL=====>							
EFEITO DIRETO SOBRE	BB+G			EFEITO INDIRETO VIA	BRV	0,1592	3,8343
EFEITO INDIRETO VIA	GI	-0,0179	9,9635	EFEITO INDIRETO VIA	CP	0,0024	0,0003
EFEITO INDIRETO VIA	CC	0,0170	0,0449	EFEITO INDIRETO VIA	MP	-0,0417	2,1174
EFEITO INDIRETO VIA	LC	0,1031	1,9286	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	0,2702	7,1930
EFEITO INDIRETO VIA	AG	-0,4828	7,5324	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	-0,0019	0,0004
EFEITO INDIRETO VIA	DC	0,0203	0,3282	EFEITO INDIRETO VIA			
EFEITO INDIRETO VIA	BRT	-0,5896	4,3975	TOTAL		-0,5631 ⁺⁺	
VARIÁVEL=====>							
EFEITO DIRETO SOBRE	AG			EFEITO INDIRETO VIA	BRV	0,1461	3,2299
EFEITO INDIRETO VIA	GI	-0,4994	9,5043	EFEITO INDIRETO VIA	CP	-0,0075	0,0034
EFEITO INDIRETO VIA	CC	0,0115	0,0206	EFEITO INDIRETO VIA	MP	-0,0398	1,9313
EFEITO INDIRETO VIA	LC	0,1101	2,2007	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	0,2619	6,7577
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	-0,0173	7,8963	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	-0,0130	0,0169
EFEITO INDIRETO VIA	DC	0,0233	0,4303	EFEITO INDIRETO VIA			
EFEITO INDIRETO VIA	BRT	-0,6344	5,0923	TOTAL		-0,7017 ⁺⁺	
VARIÁVEL=====>							
EFEITO DIRETO SOBRE	DC			EFEITO INDIRETO VIA	BRV	0,0519	0,4080
EFEITO INDIRETO VIA	GI	0,0710	4,7209	EFEITO INDIRETO VIA	CP	-0,0858	0,4412
EFEITO INDIRETO VIA	CC	-0,1109	1,9081	EFEITO INDIRETO VIA	MP	0,0020	0,0049
EFEITO INDIRETO VIA	LC	0,1588	4,5776	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	0,0776	0,5934
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	-0,0051	0,6927	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	-0,0129	0,0166
EFEITO INDIRETO VIA	AG	-0,1637	0,8663	EFEITO INDIRETO VIA			
EFEITO INDIRETO VIA	BRT	-0,1807	0,4134	TOTAL		-0,1917 ^{ns}	
VARIÁVEL=====>							
EFEITO DIRETO SOBRE	BRT			EFEITO INDIRETO VIA	BRV	0,1116	1,8840
EFEITO INDIRETO VIA	GI	-0,6677	6,6518	EFEITO INDIRETO VIA	CP	-0,0198	0,0235
EFEITO INDIRETO VIA	CC	0,0226	0,0793	EFEITO INDIRETO VIA	MP	-0,0366	1,6308
EFEITO INDIRETO VIA	LC	0,1082	2,1237	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	0,2541	6,3595
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	-0,0158	6,5869	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	0,0002	0,0000
EFEITO INDIRETO VIA	AG	-0,4745	7,2761	EFEITO INDIRETO VIA			
EFEITO INDIRETO VIA	DC	0,0192	0,2934	TOTAL		-0,7559 ⁺⁺	
VARIÁVEL=====>							
EFEITO DIRETO SOBRE	BRV			EFEITO INDIRETO VIA	BRT	0,4273	2,3101
EFEITO INDIRETO VIA	GI	-0,1744	5,4249	EFEITO INDIRETO VIA	CP	-0,0156	0,0146
EFEITO INDIRETO VIA	CC	0,0037	0,0020	EFEITO INDIRETO VIA	MP	0,0376	1,7205
EFEITO INDIRETO VIA	LC	-0,0867	1,3654	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	-0,2268	5,0671
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	0,0163	7,0422	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	0,0173	0,0298
EFEITO INDIRETO VIA	AG	0,4185	5,6587	EFEITO INDIRETO VIA			
EFEITO INDIRETO VIA	DC	-0,0211	0,3550	TOTAL		0,3815 ^{ns}	
VARIÁVEL=====>							
EFEITO DIRETO SOBRE	CP			EFEITO INDIRETO VIA	BRT	0,0791	0,0790
EFEITO INDIRETO VIA	GI	0,1674	1,9786	EFEITO INDIRETO VIA	BRV	0,0162	0,0400
EFEITO INDIRETO VIA	CC	0,0626	0,6080	EFEITO INDIRETO VIA			

EFEITO INDIRETO VIA	LC	-0,0978	1,7372	EFEITO INDIRETO VIA	MP	-0,0124	0,1867
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	-0,0003	0,0017	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	-0,0135	0,0181
EFEITO INDIRETO VIA	AG	0,0224	0,0161	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	0,0173	0,0298
EFEITO INDIRETO VIA	DC	-0,0364	1,0527	TOTAL		0,2196 ^{ns}	
VARIÁVEL=====>				MP			
EFEITO DIRETO SOBRE	GI	-0,0518	3,8489	EFEITO INDIRETO VIA	BRT	-0,4720	2,8183
EFEITO INDIRETO VIA	CC	0,0487	0,3688	EFEITO INDIRETO VIA	BRV	0,1266	2,4250
EFEITO INDIRETO VIA	LC	0,0539	0,5271	EFEITO INDIRETO VIA	CP	0,0400	0,0960
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	-0,0144	5,4810	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	0,2376	5,5638
EFEITO INDIRETO VIA	AG	-0,3842	4,7691	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	-0,0010	0,0001
EFEITO INDIRETO VIA	DC	-0,0027	0,0060	TOTAL		-0,4232 ⁺	
VARIÁVEL=====>				MMG			
EFEITO DIRETO SOBRE	GI	0,2826	9,2826	EFEITO INDIRETO VIA	BRT	-0,6002	4,5571
EFEITO INDIRETO VIA	CC	0,0273	0,1153	EFEITO INDIRETO VIA	BRV	0,1399	2,9613
EFEITO INDIRETO VIA	LC	0,1111	2,2417	EFEITO INDIRETO VIA	CP	-0,0080	0,0039
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	-0,0171	7,7206	EFEITO INDIRETO VIA	MP	-0,0435	2,3070
EFEITO INDIRETO VIA	AG	-0,4627	6,9191	EFEITO INDIRETO VIA	DAF	0,0107	0,0115
EFEITO INDIRETO VIA	DC	0,0195	0,3018	TOTAL		-0,5165 ⁺	
VARIÁVEL=====>				DAF			
EFEITO DIRETO SOBRE	GI	0,1132	1,5096	EFEITO INDIRETO VIA	BRT	-0,0013	0,0000
EFEITO INDIRETO VIA	CC	0,0096	0,0141	EFEITO INDIRETO VIA	BRV	-0,0266	0,1072
EFEITO INDIRETO VIA	LC	0,0082	0,0122	EFEITO INDIRETO VIA	CP	0,0255	0,0391
EFEITO INDIRETO VIA	BB+G	0,0003	0,0025	EFEITO INDIRETO VIA	MP	0,0005	0,0003
EFEITO INDIRETO VIA	AG	0,0575	0,1064	EFEITO INDIRETO VIA	MMG	0,0269	0,0708
EFEITO INDIRETO VIA	DC	-0,0081	0,0520	TOTAL		0,2150 ^{ns}	
Coeficiente de determinação						0,6478	
Valor de k						0,0860	
Efeito da variável residual						0,5934	

GI - rendimento de grãos inteiros (%), CC - comprimento da cariopse (mm), LC - largura da cariopse (mm), BB+G - somatório de percentual de grãos com barriga branca e gessados (%), AG - área gessada total, DC - percentual de defeitos de coloração (%), BRT - brancura total, BRV - brancura vítrea, CP - comprimento de panícula (cm), MP - massa de panícula(g), MMG - massa de mil grãos (g) e DAF - dias até a floração (dias);ns - não significativo pelo método de bootstrap com 10000 simulações (teste de Mantel); ++ e + - significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo método bootstrap com 10000 simulações (teste de Mantel); EST - estimativas dos efeitos; FIV - fator de inflação da variância.

Neste contexto, os equipamentos e software's para mensuração dos atributos de qualidade de grãos, foram desenvolvidos para facilitar e gerar resultados com maior precisão, através do processamento das informações obtidas por imagens de pequenas quantidades de arroz (YOSHIOKA et al., 2007; BOTELHO, 2012; MARSCHALEK et al., 2017), e surgem como alternativas de grande importância no uso não apenas pela indústria, mas também pelos programas de melhoramento. A praticidade e a acurácia destes equipamentos tornam de maneira mais viável, o uso de amostras de famílias em gerações segregantes de arroz, para fins de critérios de seleção de genótipos nos atributos de qualidade de grãos.

A seleção indireta através das correlações demonstradas neste trabalho, principalmente dos caracteres de AG e BRT podem ser eficazes para elevar o percentual de grãos inteiros.

Cruz e Carneiro (2006) relatam que para caracteres com alta correlação, como é o caso das variáveis BB+G e MMG, com correlação genotípica igual a -0,563 e -0,516 respectivamente, porém com baixo efeito direto sobre a variável resposta, a melhor estratégia a ser usada é a seleção simultânea de caracteres, com ênfase também nos caracteres cujos efeitos indiretos sejam significativos.

Conforme os valores de efeito da variável residual (0,5934) da Tabela 3, pode-se inferir que estes valores não são considerados altos. Os valores de VIF ajustados pelo valor de k, segundo Cruz e Carneiro (2006) são considerados de baixa magnitude, sendo todos esses valores inferiores a 10, desta forma, as estimativas obtidas se demonstraram confiáveis. O resultado de coeficiente de determinação (0,6478) pode ser considerado como alto, assim, demonstra um ajuste adequado dos dados ao modelo empregado neste estudo.

CONCLUSÃO

1. A área gessada total juntamente com a brancura total são os fatores que mais influenciaram negativamente no percentual de grãos inteiros, tanto via correlações genotípicas, quanto via efeitos diretos pela análise de trilha.
2. A área gessada total e brancura total mostraram potencial para utilização como critérios de seleção indireta para a variável resposta de percentual de grãos inteiros.
3. Os caracteres de largura da cariopse, percentual de barriga branca mais gessados, massa de panícula e massa de mil grãos, apresentaram efeitos indiretos sobre a variável resposta rendimento de grãos inteiros, via área gessada total e brancura total.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. M. et al. Correlações genotípicas e análise de trilha em famílias de meios-irmãos de couve de folhas. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 1, p. 35–44, 2016.
- BOTELHO, N. Tecnologias pós-colheita de arroz. **Publindústria**, n. 3, p. 80, 2012.

Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10316.2/25705>>. Acesso em: 15 de fev. 2017.

CARVALHO, F.I.F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Editora e Gráfica da UFPel, 2004. 142p.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, p. 271-276, 2013.

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

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. rev. ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2014. v.2, 668p.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1981. 279p.

GU, J. et al. Grain quality changes and responses to nitrogen fertilizer of japonica rice cultivars released in the Yangtze River Basin from the 1950s to 2000s. **The Crop Journal**, v. 3, n. 4, p. 285–297, 2015.

HAIR, J.F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

ISHIMARU, T. et al. Formation of grain chalkiness and changes in water distribution in developing rice caryopses grown under high-temperature stress. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 2, p. 166–174, 2009.

JONGKAEWWATTANA, S.; GENG, S. Non-uniformity of grain characteristics and milling quality of California rice (*Oryza sativa* L.) of different maturities. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 188, n. 3, p. 161–167, 2002.

KAVALCO, S. A. F. et al. Análise de trilha em genótipos de trigo submetidos ao estresse por encharcamento. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1683-1696. 2014.

KISHORE, N. S. et al. Genetic variability , correlation and path analysis for yield and yield components in promising rice (*Oryza sativa* L .) genotypes. **SAARC Journal of Agriculture**, v. 13, n. 1, p. 99–108, 2015.

- LIU, Q. hua. et al. Effects of Chalkiness on Cooking, Eating and Nutritional Qualities of Rice in Two indica Varieties. **Rice Science**, v. 16, n. 2, p. 161–164, 2009.
- 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.
- LUZ, L. N. da; SANTOS, R. C. dos; MELO FILHO, P. de A. Correlations and path analysis of peanut traits associated with the peg. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, p. 88–93, 2011.
- MAGALHÃES Jr, A. M. de. et al. BRS AG : first cultivar of irrigated rice used for alcohol production or animal feed. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 1, p. 72–77, 2017.
- MARCHEZAN, E.; DARÍO, G. J. A.; TORRES, S. Ocorrência de grãos gessados em três cultivares de arroz 1. **Scientia Agricola**, v. 49, n. 1, p. 87–91, 1992.
- MARSCHALEK, R. et al. Image - Rice Grain Scanner : a three-dimensional fully automated assessment of grain size and quality traits. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 1, p. 89–97, 2017.
- MONTGOMERY, D.C.; PECK, E.A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504p.
- NANDAN, R.; SWETA; SINGH, S. K. Character Association And Path Analysis in Inter-Racial Hybrids in Rice (*Oryza Sativa* L.). **World Journal of Agricultural Sciences**, v. 6, n. 2, p. 201–206, 2010.
- NARDINO, M. et al. Association of secondary traits with yield in maize F1's. **Ciência Rural**, v. 46, n. 5, p. 776–782, 2016.
- OLIVEIRA, O. M. S. de. et al. Associações genotípicas entre componentes de produção e caracteres agronômicos em feijão-Caupi1. **Revista Ciencia Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 851–857, 2013.

RANGEL, P. H. N. et al. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1595–1604, 2000.

SHEN, B. Observation on the Starch Grain Development in Endosperm of Early Indica Rice During Chalkiness Formation with Scanning Electronic Microscope. **Chinese Journal of Rice Science** , v. 14, n. 4, p. 225-228, 2000.

STRECK, E. A. et al. Variabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado via análise multivariada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 101-109, 2017.

TOEBE, M.; CARGNELUTTI FILHO, A. Multicollinearity in path analysis of maize (*Zea mays* L.) q. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 453–462, 2013.

WRIGHT, S. The theory of path coefficients: a replay to Niles' criticism. **Genetics**, v.8, p.239-255, 1923.

YOSHIOKA, Y.; IWATA, H.; TABATA, M.; NINOMIYA, S.; OHSAWA, R. Chalkiness in rice: Potential for evaluation with image analysis. **Crop Science**, v. 47, n. 5, p. 2113–2120, 2007.

ZHOU, L. et al. Fine mapping of the grain chalkiness QTL qPGWC-7 in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 118, n. 3, p. 581–590, 2009.

5 Considerações Finais

Observou-se que os caracteres de qualidade de grãos em arroz sofrem alterações significativas por efeitos genéticos, pela variância ambiental, bem como pela G x E. Assim, devem ser considerados como prioridade, juntamente com a produtividade, pelos programas de melhoramento, visando atender a demanda por parte dos produtores, mas principalmente das indústrias e dos consumidores finais.

Os atributos de qualidade, aparência e composição dos grãos, são de fundamental importância pelo fato que o consumo de arroz, é principalmente na forma de grão, seja ele, branco polido, parboilizado ou integral, além de, ser responsável por suprir 20% das calorias consumidas na alimentação humana.

O programa de melhoramento genético de arroz irrigado da Embrapa tem desenvolvido linhagens com ênfase nos atributos de qualidade de grãos, sendo superior a cultivares de destaque para estes atributos. Estas linhagens apresentam alta adaptabilidade e boa estabilidade em relação aos caracteres de qualidade de grãos.

Há caracteres que podem ser utilizados como critérios de seleção indireta para os atributos de qualidade de grãos. Sendo observado que os caracteres de área gessada total e a brancura total demonstraram potencial para este uso de seleção indireta do rendimento de grãos inteiros.

Cabe ressaltar que ainda há poucos trabalhos na área de genética quantitativa para o caráter de qualidade dos grãos. Logo, o progresso genético destes parâmetros está apenas no começo, desta forma, as pesquisas devem prosseguir, além de serem ampliadas.

Referências

- CARVALHO, F.I.F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: Editora e Gráfica da UFPel, 2004. 142p.
- CONAB. (2016). Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos: **Décimo Segundo Levantamento – Setembro/2016**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 01 de dezembro de 2016
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966.
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1981. 279p.
- FAO, 2014. **FAO Rice Market Monitor**, December 2014, Volume XVII - Issue No. 4. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/>. Acesso em: 01 de jan. 2017.
- GOMES, A.S.; MAGALHÃES JR., A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 899p.
- MAGALHÃES JR., A. M. de; FAGUNDES, P. R.; FRANCO, D. F. **Melhoramento genético, biotecnologia e cultivares de arroz irrigado**. In: MAGALHÃES JR. de, A. M.; GOMES, A. Da S. Arroz irrigado: melhoramento genético, manejo do solo e da água e prognosticoclimático. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).
- MARIOTTI, J. A.; OARZABAL, E. S.; OSA, J. M.; BULACIO, A. N. R.; ALMADA, G. H. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genótipos de caña de azucar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronomica Norte Argentina**. v. 13, p. 405–412, 1976.
- MATHERSON, A. C.; RAYMOND, C. A. A review of provenance x environment interaction: its practical importance and use with particular reference to the tropics. **The Commonwealth Review**, v. 65, n. 4, p. 283-302, 1986.
- NARDINO, M. et al. Association of secondary traits with yield in maize F1's. **Ciência Rural**, v. 46, n. 5, p. 776–782, 2016.
- RANGEL, P. H. N. et al. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.8, p.1595–1604, 2000.
- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Bento Gonçalves: SOSBAI, p. 200, 2016.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; DE AVILA, L. A. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v.38, n.4, p.1184–1192, 2008. doi: doi.org/10.1590/S0103-84782008000400049

WRIGHT, S. The theory of path coefficients: a replay to Niles' criticism. **Genetics**, v.8, p.239-255, 1923.