

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



Tese

**Contribuição Genética do Melhoramento de Arroz Irrigado de Terras Baixas
para o Rio Grande do Sul**

Eduardo Anibele Streck

Pelotas, 2017

Eduardo Anibele Streck

**Contribuição Genética do Melhoramento de Arroz Irrigado de Terras Baixas
para o Rio Grande do Sul**

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

Orientador: Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior

Coorientador: Prof. PhD. Antônio Costa de Oliveira

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S914c Streck, Eduardo Anibele

Contribuição Genética do Melhoramento de Arroz
Irrigado de Terras Baixas para o Rio Grande do Sul. /
Eduardo Anibele Streck ; Ariano Martins de Magalhães
Júnior, orientador ; Antônio Costa de Oliveira, coorientador.
— Pelotas, 2017.

146 f.

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

1. Oryza sativa L.. 2. Produtividade. 3. Qualidade dos
grãos. 4. Interação genótipos x ambientes. 5. Ganho
genético. I. Magalhães Júnior, Ariano Martins de, orient. II.
Oliveira, Antônio Costa de, coorient. III. Título.

CDD : 633.18

Banca Examinadora:

Dr. Ariano Martins de Magalhães Júnior: _____
(Departamento de Fitotecnia/FAEM/UFPEL)

Prof. Dr. Luciano Carlos da Maia: _____
(Departamento de Fitotecnia/FAEM/UFPEL)

Prof. Dr. Maicon Nardino: _____
(Departamento de Estatística/UFPEL)

Dra. Gabriela de Magalhães da Fonseca: _____
(IRGA - Cachoeirinha/RS)

Dedico este trabalho aos meus pais, Olmar Streck e Neuza Anibele Streck, pois não mediram esforços para possibilitar a minha formação acadêmica. À minha esposa, Lais Perin, pelo companheirismo, paciência e incentivo em todos os momentos.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade.

À CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado.

À Embrapa Clima Temperado pelo aporte de infraestrutura, para a realização dos experimentos.

Ao Centro de Genômica e Fitomelhoramento pela disponibilidade e oportunidade de realização desta etapa.

Ao orientador e Pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Dr. Ariano Martins de Magalhães Jr., pelo enorme apoio e confiança a mim depositados no decorrer de toda a etapa de trabalho, fornecendo-me aparatos técnicos, científicos e pessoais inestimáveis.

Ao coorientador e professor Ph.D Antônio Costa de Oliveira pelo apoio, incentivo e auxílio nos trabalhos realizados.

Aos demais parceiros da Embrapa Clima Temperado, pesquisadores, técnicos, pós-graduandos e estagiários pelo apoio e disponibilidade, não medindo esforços no auxílio aos trabalhos desenvolvidos.

Ao conjunto de professores, secretárias e demais componentes do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGA) da Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” da Universidade Federal de Pelotas, pelo apoio e confiança depositada.

Aos meus pais, Olmar Streck e Neuza Anibele Streck, e demais familiares, pelo apoio, educação e ensinamentos que me foram transferidos, de forma a, corroborar de forma direta nesta conquista.

À esposa e amiga Lais Perin pelo companheirismo e apoio em todas as etapas.

Aos colegas e amigos que se fizeram sempre presentes durante todas as etapas percorridas.

Resumo

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

O Rio Grande do Sul têm evidenciado elevados avanços na produtividade e qualidade dos grãos de arroz irrigado nas últimas décadas, decorrentes de inúmeros avanços na área da pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias. Logo, essa resposta fenotípica da cultura vem sendo decorrente de progressos genéticos, de ambiente e das interações genótipos x ambientes. Logo, este trabalho objetiva evidenciar a atuação do programa de melhoramento de arroz irrigado de Terras Baixas da Embrapa e perspectivas diante da realidade da cultura, no Sul do Brasil. Foram realizadas três experimentações: I) Progresso Genético em 45 Anos de Melhoramento Genético de Arroz Irrigado no Sul do Brasil - as estimativas foram oriundas via, meta-análise obtidas da avaliação de 455 genótipos em 145 ensaios de rendimento regional de linhagens (ERs) e valor de cultivo e uso (VCUs) em 44 safras agrícolas; e via comparação de cultivares, obtidas da avaliação de 25 cultivares em 10 safras agrícolas. II) Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 e 2017 na região subtropical do Brasil – experimentação contemplando 25 cultivares de arroz irrigado, conduzida à campo em todas as regiões agroclimáticas de cultivo de arroz irrigado do estado do Rio Grande do Sul, entre as safras agrícolas de 2005/2006 e 2015/2016, totalizando 60 experimentos (ambientes). III) Qualidade genética dos grãos de cultivares de arroz irrigado lançadas pela Embrapa no Rio Grande do Sul - estimativas genéticas seguiram a abordagem baseada na análise comparativa das 25 cultivares lançadas pela Embrapa ao longo de 45 anos, sendo implementada em quatro regiões produtoras do estado do Rio Grande do Sul na safra 2015/2016. Houve um progresso genético no período de 1972 a 2016 via meta-análise e comparação de cultivares de 0,62% (37,91 kg ao ano) e 0,73% (47,78 kg ao ano), respectivamente. Podemos destacar as cultivares BRS Pampa, BRS Pampeira e BRSCIRAD 302 que podem ser cultivados em vários ambientes no Rio Grande do Sul, reunindo alta produtividade de grãos, alta adaptabilidade, boa estabilidade, bons atributos agrônômicos e excelente rendimento de engenho após o beneficiamento. Além disso, o programa de melhoramento acarretou em: redução de -0,32 cm por ano (-0,32% ao ano) na estatura das plantas; redução de 0,21 dias por ano (-0,21% ao ano) nos dias para floração; e progressos genéticos anuais significativos para os principais atributos de qualidade dos grãos. Logo, tem disponibilizado cultivares em consonância com a demanda nacional para produtividade e qualidade dos grãos nos diversos segmentos da cadeia produtiva do cereal.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; produtividade; qualidade dos grãos; interação genótipos x ambientes; ganho genético

Abstract

STRECK, Eduardo Anibele Streck. **Genetic Contribution of Lowland Irrigated Rice Breeding from the Rio Grande do Sul**. 2017. 146f. Tese (Doctorate degree em Sciences) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

The Rio Grande do Sul have shown high advances in yield and quality of rice grains in recent decades due to many advances in research and development of new technologies. Therefore, this phenotypic response of the crop has been due to genetic progress, environmental and genotype x environmental interactions. Logo, essa resposta fenotípica da cultura vem sendo decorrente de progressos genéticos, de ambiente e das interações genótipos x ambientes. Thus, this work aims to highlight the role of the rice breeding program of Embrapa Lowlands and perspectives on the reality of culture, in Southern Brazil. Three experiments were carried out: I) Genetic progress in 45 years of Irrigated Rice Breeding in Southern Brazil - the estimates were obtained with the meta-analysis obtained from the evaluation of 455 genotypes in 145 trials of regional yield of strains (ERs) and value of cultivation and use (VCUs) in 44 seasons; and cultivars released, obtained from the evaluation of 25 cultivars in 10 seasons. II) Adaptability and stability of irrigated rice cultivars released between 1972 and 2017 in the subtropical region of Brazil – experimenting with 25 cultivars of irrigated rice, conducted to the field in all agroclimatic regions of irrigated rice cultivation in the state of Rio Grande do Sul, between the 2005/2006 and 2015/2016 seasons, totaling 60 experiments (environments). III) Grain quality genetic in irrigated rice cultivars released by Embrapa for the Rio Grande do Sul State - Genetic estimates followed the approach based on comparative analysis of 25 cultivars released by Embrapa over 45 years, being implemented in four producing regions of Rio Grande do Sul state in the harvest 2015/2016. There was a genetic progress in the period from 1972 to 2016 with meta-analysis and cultivars released of 0.62% (37.91 kg per year) and 0.73% (47.78 kg per year), respectively. We can highlight the BRS Pampa, BRS Pampeira and BRSCIRAD 302 which can be grown in various environments in Rio Grande do Sul, bringing together high yield, high adaptability, good stability, good agronomic traits and excellent milling quality after processing. In addition, the breeding program resulted in: decrease of -0.32 cm per year (-0.32% per year) in plant height; reduction of 0.21 days per year (-0.21% per year) in days to flowering; and significant annual genetic progress for the main attributes of grain quality. Therefore, it has provided cultivars in line with the national demand for grain quality and yield in the various segments of the cereal production chain.

Keywords: *Oryza sativa* L.; yield; grain quality; genotypes x environments interaction; genetic gain.

Lista de Figuras

2. Projeto de Pesquisa

Figura 2.1. Mapa brasileiro da produção agrícola de arroz.21

Figura 2.2. Comparação esquemática de portes e tipos de plantas de arroz, representando as cultivares tradicionais, de porte semi-anão e um novo ideótipo de planta proposto.27

4. Artigo 1: Progresso genético em 45 anos de melhoramento genético de arroz irrigado no Sul do Brasil

Figura 4.1. Evolução da (a) produção e (b) produtividade de grãos de arroz no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul (RS). Fonte: Conab, 2016.73

Figura 4.2. Progresso genético para produtividade de grãos através da regressão linear generalizada via (a) meta-análise de dados históricos e (b) cultivares lançadas em ensaios de campo no período de 1972 a 2016.75

Figura 4.3. Progresso genético para dias até a floração via regressão linear generalizada por (a) meta-análise de séries históricas e (b) comparação de cultivares lançadas em ensaios de campo no período de 1972 a 2016.77

Figura 4.4. Progresso genético para estatura de plantas via regressão linear generalizada por (a) meta-análise de séries históricas e (b) comparação de cultivares lançadas em ensaios de campo no período de 1972 a 2016..78

5. Artigo 2: Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de arroz irrigado lançadas para a região subtropical do Brasil

Figura 5.1. Produtividade média, índice e classificação ambiental na experimentação das cultivares de arroz irrigado conduzidas em 11 safras agrícolas, nas seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul.....100

6. Artigo 3: Qualidade genética dos grãos de cultivares de arroz irrigado lançadas pela Embrapa no Rio Grande do Sul

Figura 6.1. Progresso genético para percentual de grãos inteiros após o beneficiamento, obtido pela regressão linear de ensaios comparativos das cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 a 2016.	124
Figura 6.2. Progresso genético para percentual de grãos com barriga branca e gessados (A) e área gessada total dos grãos (B) após o beneficiamento, obtido pela regressão linear de ensaios comparativos das cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 a 2016.	125
Figura 6.3. Progresso genético para brancura total (A) e brancura não vítrea (B) após o beneficiamento, obtido pela regressão linear de ensaios comparativos das cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 a 2016.	126

Lista de Tabelas

2. Projeto de Pesquisa

Tabela 2.1. Estudos de ganho genético de programas de melhoramento de plantas na cultura do arroz.....	29
Tabela 2.2. Cultivares de arroz irrigado desenvolvidas pela Embrapa para o Sul do Brasil, ano de lançamento, ciclo cultural e suas principais características.....	32

4. Artigo 1: Progresso genético em 45 anos de melhoramento genético de arroz irrigado no Sul do Brasil

Tabela 4.1. Estimativas dos componentes de variância para fatores aleatórios do modelo misto através da meta-análise de dados históricos e cultivares lançadas em ensaios de campo.....	74
Tabela 4.2. Estimativas dos parâmetros da regressão linear generalizada para produtividade de grãos, dias até a floração e estatura da plantas por meta-análise de dados históricos e análise comparativa de cultivares lançadas em ensaios de campo no período de 1972 a 2016.....	76
Tabela 4.3. Características agronômicas das cultivares de arroz irrigado lançadas no período de 1972 a 2016.....	79

5. Artigo 2: Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de arroz irrigado lançadas para a região subtropical do Brasil

Tabela 5.1. Cultivares utilizadas, com seus respectivos anos de lançamento, na experimentação de onze anos agrícolas em distintos locais do Rio Grande do Sul.....	97
Tabela 5.2. Estimativas dos componentes de variância e de parâmetros genéticos para os caracteres de produtividade de grãos (Prod), dias para o florescimento (DAF), altura de plantas (Alt), percentual de grãos inteiros após o beneficiamento industrial	

(GI), de 25 cultivares de arroz irrigado, conduzidos em onze anos e diversos locais do Rio Grande do Sul.....	98
Tabela 5.3. Valor genotípico predito, acurácia seletiva, estabilidade genotípica (MHVG), adaptabilidade genotípica (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG) para o caráter de produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 25 cultivares de arroz irrigado conduzidos em 60 ambientes no Rio Grande do Sul.	99
Tabela 5.4. Classificação das cultivares (R ⁰) conforme a resposta do valor genotípico predito para produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) e a diferença de produtividade da média de 25 cultivares de arroz irrigado em ambientes com índice ambiental favorável e desfavorável no Rio Grande do Sul.	102
Tabela 5.5. Estimativas do valor genotípico predito e acurácia seletiva para os caracteres número de dias para o florescimento (DAF), altura de plantas (Alt), percentual de grãos inteiros após o beneficiamento industrial (GI) de 25 cultivares de arroz irrigado conduzidos em 60 ambientes no Rio Grande do Sul.	102
6. Artigo 3: Qualidade genética dos grãos de cultivares de arroz irrigado lançadas pela Embrapa no Rio Grande do Sul	
Tabela 6.1. Cultivares lançadas, ciclo cultural e ano de lançamento pelo programa de melhoramento genético de arroz irrigado da Embrapa para o Rio Grande do Sul.	121
Tabela 6.2. Componentes de variância, obtidos via REML individual, considerando a análise conjunta de 25 cultivares de arroz irrigado avaliadas em quatro locais no Rio Grande do Sul para os caracteres de qualidade dos grãos: percentual de grãos inteiros após o beneficiamento (GI), percentual de área gessada (AG), percentual de barriga branca (BB), defeitos de coloração nos grãos (DC), brancura total dos grãos (BT) e brancura não vítrea (BNV).	122
Tabela 6.3. Estimativas dos parâmetros de regressão linear e progresso genético para percentual de grãos inteiros após o beneficiamento (GI), percentual de área gessada (AG),	

percentual de barriga branca (BB), defeitos de coloração nos grãos (DC), brancura total dos grãos (BT) e brancura não vítrea (BNV), através da análise comparativa das 25 cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 a 2016.123

Tabela 6.4. Resposta das cultivares de arroz irrigado lançadas pela Embrapa para o Rio Grande do Sul entre 1972 a 2016 frente aos atributos de comprimento dos grãos (CG), largura dos grãos (LG), relação entre o comprimento e a largura dos grãos (RCLG), massa de 1000 grãos (MMG), teor de amilose (TA) e temperatura de gelatinização (TG).127

Sumário

1	Introdução	14
2	Projeto de Pesquisa	17
2.1	Identificação.....	19
2.1.1	Instituição	19
2.1.2	Equipe Executora e Colaboradora	19
2.1.3	Instituições Colaboradoras	19
2.2	Introdução e Justificativa	20
2.3	Objetivos.....	23
2.3.1	Objetivo Geral	23
2.3.2	Objetivos Específicos	23
2.4	Revisão de Literatura.....	24
2.4.1.	Descrição botânica, origem e domesticação do arroz	24
2.4.2.	Melhoramento Genético do Arroz e suas Perspectivas	26
2.4.3.	Ganho Genético em Arroz	28
2.5	Material e métodos	29
2.5.1	Experimento I: Progresso Genético das Cultivares de Arroz Irrigado de Terras Baixas no Sul do Brasil	29
2.5.2	Experimento II: Adaptabilidade e Estabilidade das Cultivares de Arroz Irrigado da Embrapa no Sul do Brasil	31
2.5.3	Experimento III: Ganho genético para qualidade de grãos em arroz irrigado no Rio Grande do Sul.....	33

2.6	Cronograma de Atividades	36
2.7.1	Infra-estrutura Disponível	36
2.7.1.1	Recursos Humanos	36
2.7.2	Recursos Solicitados	37
2.7.2.1	Expedições Científicas	37
2.7.2.2	Material de Consulta Bibliográfica	37
2.7.2.3	Imprevistos e Outros	37
2.7.3	Totais	37
2.8	Referências Bibliográficas	38
3	Relatório do Trabalho de Campo	41
4	Artigo 1: Progresso genético em 45 anos de melhoramento genético de arroz irrigado no Sul do Brasil	44
5	Artigo 2: Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de arroz irrigado lançadas para a região subtropical do Brasil	80
6	Artigo 3: Qualidade genética dos grãos de cultivares de arroz irrigado lançadas pela Embrapa no Rio Grande do Sul	103
7	Considerações Finais	128
	Referências	129
	Apêndices	140

1 Introdução

O arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) é a principal fonte alimentar e energética para mais da metade da população mundial (HAO & LIN, 2010; LEE et al., 2011). É o segundo cereal mais produzido no mundo com 758,8 milhões de toneladas colhidas, instaladas em 162,6 milhões de hectares (FAO, 2017).

No Brasil, nono maior produtor mundial, esse cereal apresenta elevado impacto socioeconômico. Atualmente, a produção de grãos a nível nacional varia de 11 a 13 milhões de toneladas, abastecendo toda a demanda do consumo nacional.

O estado do Rio Grande do Sul atende por aproximadamente 70% da produção nacional do arroz (CONAB, 2017), tendo elevado impacto estratégico no setor agropecuário. O cultivo nesta região é realizado sob sistema irrigado, contemplando uma maior produtividade em relação ao cultivo de sequeiro, devido as características fisiológicas intrínsecas da planta.

O Rio Grande do Sul evidenciou elevados avanços na produção de arroz irrigado nas últimas décadas, decorrentes principalmente pelo incremento na produtividade de grãos. Essas elevadas produtividades obtidas atualmente, são decorrentes de inúmeros avanços na área da pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias ao longo das últimas décadas. Logo, essa resposta fenotípica da cultura vem sendo decorrente de progressos genéticos, de ambiente e das interações genótipos x ambientes.

Os programas de melhoramento genético do arroz irrigado vem atuando intensamente no desenvolvimento de cultivares superiores geneticamente para os principais desafios da orizicultura. Neste sentido, inúmeras contribuições genéticas vem sendo evidenciadas em termos de produtividade, tolerância a fatores bióticos e abióticos e qualidade dos grãos, que são os grandes desafios dos melhoristas para atender às exigências de desenvolvimento de tecnologias compatíveis com a realidade atual.

A nível de produtividade, programas de melhoramento de arroz irrigado encontram-se em estágios avançados. Esses avanços foram obtidos principalmente pela nova arquitetura das plantas que permitiu que o potencial de produtividade do arroz duplicasse no final da década de 70. Este acréscimo deve-se

fundamentalmente à adoção de cultivares de porte “moderno filipino” (com alta capacidade de emitir perfilhos, colmos robustos e curtos, e folhas eretas) como as cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410, lançadas em 1979 e 1980, respectivamente (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2003; STRECK, et al., 2017).

Inúmeros trabalhos em nível mundial evidenciam a contribuição do melhoramento para o caráter de produtividade de grãos. Peng et al. (2000) avaliaram o ganho genético do arroz irrigado baseado em 12 cultivares do Instituto Internacional do Arroz (IRRI) nas Filipinas, no período de 1966 a 1995 e, obtiveram um ganho genético de 75-81 kg ha⁻¹ ano⁻¹ que corresponde a um ganho relativo de 1% ao ano. No Brasil, Breseghello et al. (1999) obtiveram um ganho genético de 0,8% ao ano no nordeste do país. Breseghello et al. (2011) também encontraram ganho genético de 0,67% para a região centro oeste. No entanto, existe uma demanda pela verificação destas estimativas para a região Sul do Brasil, que é o polo produtor do grão com mais de 70% da produção nacional do cereal (CONAB, 2017).

Além disso, para os caracteres de qualidade dos grãos o processo de melhoramento ainda é muito recente entre os melhoristas, visto que, a intensificação da pressão de seleção para estes caracteres teve início posteriormente aos anos 2000. Logo, ainda não existem muitas técnicas consolidadas de melhoramento e estudos da contribuição genética para estes caracteres.

Além dos avanços genéticos, os efeitos de ambiente e interações genótipos x ambientes apresentam grande impacto no rendimento da cultura, fato este também constatado nas áreas de cultivo de arroz de terras baixas. Isto decorre da presença de distintas regiões agroclimáticas, com variações notórias de solo, clima e uso variado de tecnologia. Isso gera uma resposta fenotípica distinta de um genótipo, decorrente da interação genótipos x ambientes significativa (G x E), que afeta particularmente características de herança quantitativas.

O conhecimento destas exigências e peculiaridades das principais cultivares disponíveis para o cultivo, permite a escolha do genótipo mais adequado à realidade de cada lavoura e/ou condição de cultivo. Essas respostas diferenciadas dos genótipos, nos vários ambientes, define efeitos que permitem a identificação da resposta de genótipos aptos a um ambiente específico (adaptabilidade) ou que respondem previsivelmente às variações ambientais (estabilidade) (BUENO et al., 2012).

Neste contexto, inúmeras cultivares vêm sendo lançadas para o cultivo de Terras Baixas, com o intuito de atender essas demandas da cadeia produtiva do cereal. O programa de melhoramento genético de arroz irrigado da Embrapa a várias décadas tem atuado intensamente no lançamento de cultivares com elevado potencial de produtividade, boa qualidade e sanidade dos grãos, resistência a fatores bióticos e abióticos e, boa adaptação às condições de cultivo.

Desta maneira, é de extrema importância o monitoramento da eficiência do programa de melhoramento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, de forma a analisar criticamente a sua eficiência e planejar novas ações e estratégias para o desenvolvimento e lançamento de novas cultivares. Além disso, para a obtenção da máxima expressão do potencial genético de cada cultivar, torna-se de fundamental importância a avaliação em múltiplos ambientes, visando a regionalização dessas cultivares.

2 Projeto de Pesquisa

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA "ELISEU MACIEL"
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

Projeto de Tese:

**Progresso genético, adaptabilidade e estabilidade de cultivares de arroz
irrigado de Terras Baixas no Sul do Brasil**

Eduardo Anibele Streck

Pelotas, 2015

2.1 Identificação

2.1.1 Instituição

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Departamento de Fitotecnia (DFt), Programa de Pós- Graduação em Agronomia.

2.1.2 Equipe Executora e Colaboradora

- Eduardo Anibele Streck – Engº Agrº, MSc, bolsista da CAPES - Pós-Graduação em Agronomia, Doutorando em Fitomelhoramento – UFPel. Responsável.
- Ariano Martins de Magalhães Júnior – Engº Agrº, Dr. – Professor Pós-Graduação em Agronomia, Pesquisador da Embrapa Clima Temperado. Orientador.
- Antônio Costa de Oliveira – Engº Agrº, Ph.D – Professor Titular Associado do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – UFPel. Coorientador.
- Gabriel Almeida Aguiar – Engº Agrº, MSc, bolsista da CAPES - Pós-Graduação em Agronomia, Doutorando em Fitomelhoramento – UFPel.
- Paulo Ricardo Reis Fagundes – Engº Agrº, Dr. em Fitotecnia – Pesquisador Embrapa Clima Temperado.
- Daniel Fernandes Franco - Engº Agrº, Dr. em Sementes – Pesquisador Embrapa Clima Temperado.
- Paulo Henrique Karling Facchinello - Engº Agrº, bolsista da CAPES - Pós-Graduação em Agronomia, Mestrando em Fitomelhoramento – UFPel.
- Alcides Cristiano Moraes Severo - Assistente de Campo Embrapa Clima Temperado.

2.1.3 Instituições Colaboradoras

- Embrapa Clima Temperado - Representada pelo Engº Agrº Dr., Clenio Nailto Pillon.
- Embrapa Arroz e Feijão - Representada pelo Engº Agrº Dr. Flávio Breseghello.

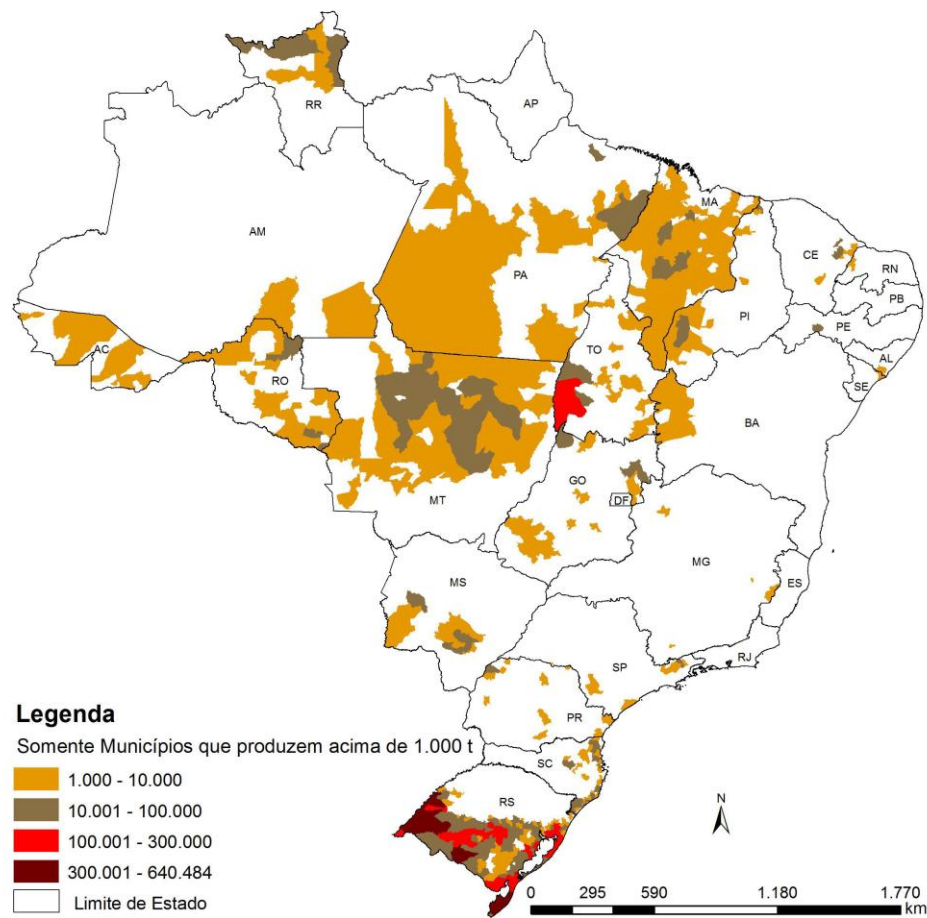
2.2 Introdução e Justificativa

Presente principalmente em países em desenvolvimento, a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) desempenha papel estratégico em níveis econômicos e sociais. Sendo, um dos alimentos com melhor balanceamento nutricional, fornecendo 20% da energia e 15% da proteína per capita necessária ao homem, e sendo uma cultura extremamente versátil, que se adapta a diferentes condições de solo e clima. Logo, é considerado a espécie que apresenta maior potencial para o combate à fome no mundo (GOMES; MAGALHÃES Jr., 2004).

O arroz é o segundo cereal mais produzido no mundo com 744,7 milhões de toneladas colhidas, instaladas em 162,9 milhões de hectares, sendo obtida uma produtividade média de 4,57 toneladas por hectare (ton ha^{-1}) (FAO, 2014). Esta produção teve uma leve queda (0,2%) em relação ao ano anterior, provocada por condições climáticas desfavoráveis ao seu cultivo. O continente asiático atende por aproximadamente 91% da produção total do cereal, seguido pela América respondendo por aproximadamente 5%.

O Brasil é o nono produtor mundial de arroz, sendo, o maior produtor fora do continente asiático, com aproximadamente 12,1 milhões de toneladas. Na safra 2014/2015 houve um decréscimo de área plantada de aproximadamente 1,7% em relação à safra anterior com 2,3 milhões de hectares.

O Rio Grande do Sul, atende por aproximadamente 67% da produção brasileira do grão (CONAB, 2015) (Figura 1), sendo que, no estado seu cultivo é realizado sob sistema irrigado, contemplando uma maior produtividade em relação ao cultivo de sequeiro.



Fonte: Conab/IBGE (2015)

Figura 1. Mapa brasileiro da produção agrícola de arroz.

Nas últimas décadas houveram incrementos significativos no potencial de produtividade das plantas cultivadas que, de uma maneira geral, foram obtidos através de modificações no tipo de planta. Uma nova arquitetura de planta permitiu que o potencial de produtividade do arroz duplicasse no final da década de 70. Onde, em 1979, a pesquisa em arroz no Rio Grande do Sul, conduzida pela Embrapa Clima Temperado e o Instituto Riograndense do Arroz, começaram a desenvolver cultivares adaptadas para o Estado. Dos investimentos feitos nestas entidades, especialmente a partir do final da década de 70, o desenvolvimento de novas cultivares proporcionou um resultado altamente significativo no desenvolvimento do setor orizícola, considerando-se o aumento do rendimento

obtido por área plantada. Este acréscimo deve-se fundamentalmente à adoção de cultivares de porte “moderno” (com alta capacidade de emitir perfilhos, colmos robustos e curtos, e folhas eretas) como as cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410, lançadas em 1979 e 1980, respectivamente, as quais se constituíram nas primeiras com estas características (MAGALHÃES JÚNIOR et al., 2003).

Atualmente, mais de 60% da área mundial é coberta por cultivares semi-anãs (MAGALHÃES Jr. et al, 2003). No entanto, após o impacto da substituição das variedades tradicionais pelas variedades modernas de porte baixo, tem ocorrido um processo de estagnação dos patamares de produtividade do arroz irrigado desde o final da década de 80 (CASTRO et al., 1999).

A contribuição do melhoramento de plantas para produção de grãos tem sido estudada em diversas culturas. Estes estudos evidenciam que majoritariamente o melhoramento de planta resultou em ganhos de produtividade. Embora as estimativas variem consideravelmente, os ganhos genéticos para produção de grãos são, normalmente, apresentados em ganho por ano como uma percentagem do rendimento significativo para a cultura em estudo. Desta forma, a maioria das taxas de ganho genético correspondem a menos de 1% (por exemplo, Zhou et al., 2007a).

Em arroz, os ganhos genéticos também não ultrapassam o índice de 1%. Peng et al. (2000) avaliou o ganho genético do arroz irrigado baseado em 12 cultivares do Instituto Internacional do Arroz (IRRI) nas Filipinas, no período de 1966 a 1995 e, obteve um ganho genético de 75-81Kg ha⁻¹ ano⁻¹ que corresponde a 1% ao ano. No Brasil, inúmeros trabalhos de ganho genético vem sendo realizados para as regiões de terras altas, no entanto, para o Rio Grande do Sul, que é o polo produtor do grão no Brasil, ainda não se tem conhecimento deste importante estudo.

Um programa de melhoramento prioriza majoritariamente a seleção de genótipos de elevada produtividade em diversos ambientes. Logo, a baixa eficiência na análise da interação genótipo x ambiente pode representar problemas aos melhoristas, por reduzir a precisão de seleção de um ambiente para outro. A presença da interação genótipo x ambiente contribui para um aumento do desvio padrão fenotípico, reduzindo a herdabilidade ao longo dos ambientes, porém, diminuindo os ganhos genéticos potenciais (MATHERSON e RAYMOND, 1986).

A resposta diferenciada dos genótipos, em vários ambientes, é um fenômeno natural decorrente da interação de genótipos com ambientes (G x E) (Eberhart e Russel, 1966). Seus efeitos permitem a identificação da responsividade de genótipos

a determinado ambiente (adaptabilidade), ou, pelo comportamento geral, permitindo verificar a previsibilidade de efeito do genótipo frente ao ambiente (estabilidade).

Buscando evidenciar a realidade da cultura do arroz irrigado de Terras Baixas, no Sul do país, e determinar o desempenho do programa de melhoramento de arroz de Terras Baixas da Embrapa, para o estado, objetiva-se analisar o ganho genético do programa de melhoramento de arroz irrigado para produtividade e qualidade dos grãos; Determinar a adaptabilidade e estabilidade da produção de grãos das cultivares de arroz irrigado lançadas.

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo Geral

Evidenciar a atuação do programa de melhoramento de arroz irrigado de Terras Baixas da Embrapa e perspectivas diante da realidade da cultura, no Sul do Brasil.

2.3.2 Objetivos Específicos

1. Estimar o ganho genético para produtividade resultante do programa de melhoramento da Embrapa sob arroz de terras baixas no Sul do Brasil.
 - Hipótese: Existe ganho genético para as cultivares de arroz irrigado de terras baixas advindo do programa de melhoramento da Embrapa.
2. Determinar a adaptabilidade e estabilidade de produção de grãos das cultivares de arroz irrigado lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa no Sul do Brasil.
 - Hipótese: Existem interações das cultivares elites de arroz irrigado (genótipo) para com o local de cultivo (ambiente), existindo distintas respostas quanto ao mesmo.

3. Determinar o ganho genético para qualidade de grãos arroz irrigado das cultivares lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa no Sul do Brasil.

➤ Hipótese: Existe ganho genético para qualidade dos grãos das cultivares de arroz irrigado de terras baixas advindo do programa de melhoramento da Embrapa.

2.4 Revisão de Literatura

2.4.1. Descrição botânica, origem e domesticação do arroz

O arroz é uma gramínea anual, classificada no grupo de plantas C-3, adaptada ao ambiente aquático, devido à presença de aerênquima no colmo e nas raízes da planta, que possibilita a passagem de oxigênio do ar para a camada da rizosfera (SOSBAI – 2012). Por possuir um único embrião e um só cotilédone está compreendida no grupo das monocotiledôneas, na família Poaceae, na tribo Oryzea, e pertence ao gênero *Oryza* (BOTELHO, 1914). As gramíneas, provavelmente originaram-se na era Mesozóica e evidências circunstanciais sugerem que tenha sido em clima tropical e, então, uma série de linhas evoluíram e adaptaram-se a vários habitats.

Taxonomicamente, o arroz engloba duas tribos de importância alimentar: Ziziniace e Oryzace. A tribo Oryzace, que contém o gênero *Oryza*, tem mais de vinte espécies classificadas, com destaque para duas cultivadas: *Oryza glaberrima* Steud. (arroz cultivado africano) e *Oryza sativa* L. (arroz cultivado asiático).

Postula-se que o arroz asiático (*Oryza sativa* L.) seja originário da Ásia. Segundo alguns historiadores, sua origem deu-se provavelmente na Índia, mais precisamente ao sul, onde se encontram condições de solo mais favoráveis para o seu cultivo (PEREIRA, 2002). Escritos Índicos de 1300 e 1000 anos a.C. descrevem certas práticas agrônômicas, como o transplante, e exibem uma classificação agrônômica e alimentícia do arroz. Admite-se que o arroz se propagou desde o sudeste asiático e Índia, até a China, há cerca de 3000 anos a.C., da China, o arroz foi introduzido na Coreia e depois no Japão. É igualmente provável que, do sul da China, o arroz foi introduzido nas Filipinas, onde é cultivado há 2000 anos. Paralelamente, através do sul da Índia, pela rota da Malásia, o arroz foi propagado na

Indonésia, onde documentos comprovam seu cultivo há mais de 1800 anos a.C.. Também a partir da Índia, o arroz chegou ao Ceilão, onde foi cultivado primeiramente no sistema de sequeiro (GOMES e MAGALHÃES JÚNIOR, 2004). A introdução do *O. sativa* na Ásia Ocidental e no Mediterrâneo é mais recente e deu-se durante o Império Persa (SILVA, 1956). A continuação de sua implantação estendeu-se à Turquia e Síria. A chegada deste cultivo na Grécia, Irã e Babilônia, segundo alguns historiadores, deu-se em consequência das invasões de Alexandre Magno, no ano 320 a.C.. A expansão do cultivo pelos árabes foi muito importante, sendo levado para Marrocos e Espanha, de onde se espalhou para vários países vizinhos. Posteriormente, foi introduzido na América pelos espanhóis e, no Brasil, pelos portugueses, onde se tornou um dos principais alimentos de consumo interno (MAGALHÃES JÚNIOR e OLIVEIRA, 2008). Os mesmos autores consideram que o arroz africano (*Oryza glaberrima* Steud.) teve origem na África Ocidental, onde se encontra praticamente restrita sua área de exploração e consumo, mais precisamente no Delta Central do Niger. Segundo alguns historiadores, há evidências de que o cultivo deste arroz tenha começado cerca de 1500 anos a.C.. Posteriormente, com a introdução do arroz asiático pelos portugueses e holandeses na costa da África Ocidental, ocorreu a substituição do cultivo do arroz africano pelo asiático, em função da sua melhor adaptação e por apresentar cariopse branca, uma vez que, de uma maneira geral, o *O. glaberrima* possui cariopse com coloração vermelha.

Presume-se que estas duas espécies de arroz cultivado, o asiático e o africano, devam ter um ancestral comum, mas não há, até o momento, um consenso quanto à conexão evolucionária entre eles. Tem sido proposto, como provável genitor comum, o arroz *Oryza perennis*. Porém, qualquer que seja seu ancestral comum, parece claro que as duas formas de domesticação ocorreram de modo paralelo e independente (PEREIRA, 2002).

O nome científico, *Oryza*, foi dado por Linnaeus à planta, e vem de um termo grego muito antigo, designativo do arroz, esse termo provém do árabe ou do chinês e significa “bom grão da vida” (BOTELHO, 1914). O arroz é mencionado, diversas vezes, em escrituras chinesas e hindus, sua taxonomia, como a de outras espécies, foi e continua sendo objetivo de discussão. CHANG (1970) reconheceu somente 20 espécies, entretanto, VAUGHAN (1989) afirmou que o número de espécies

classificadas em diferentes estudos varia de 20 a 30; contudo, somente duas espécies são cultivadas, a asiática, *O. sativa*, e a africana, *O. glaberrima*.

O número básico de cromossomos do arroz *O. sativa* é 12 ($2n=24$), porém existem espécies poliplóides com $2n=48$. As duas espécies cultivadas e seus respectivos ancestrais possuem o mesmo genoma AA, pois seus híbridos não apresentaram nenhum distúrbio cromossômico significativo (MORISHIMA et al., 1992).

2.4.2. Melhoramento Genético do Arroz e suas Perspectivas

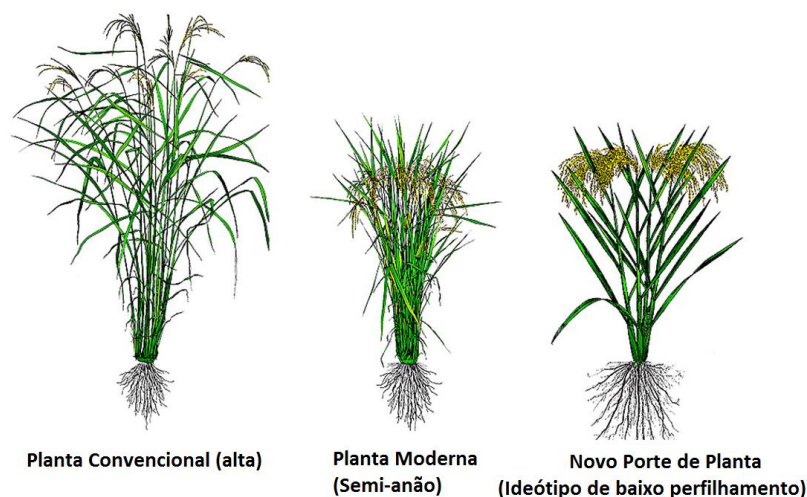
A partir da Revolução Verde (1960s), com a introdução de plantas de porte moderno semi-anão, houveram incrementos significativos no potencial de produtividade das plantas cultivadas que, de uma maneira geral, foram obtidos através de adaptações no tipo de planta. Essa nova arquitetura de planta permitiu que o potencial de produtividade do arroz duplicasse no final da década de 70, com os lançamentos das cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410, no Rio Grande do Sul. Atualmente, mais de 60% da área mundial é coberta por cultivares semi-anãs (MAGALHÃES Jr. et al, 2003). No entanto, após o impacto da substituição das cultivares tradicionais pelas variedades modernas de porte baixo, tem ocorrido um processo de estagnação dos patamares de produtividade do arroz irrigado desde o final da década de 1980 (CASTRO et al., 1999). De acordo com RANGEL et al. (1996), no Brasil, até pouco tempo atrás, apenas sete ancestrais eram responsáveis por 70% da composição gênica das cultivares plantadas. Isso ocorre pois os programas de melhoramento genético de arroz encontram-se baseados na utilização de um número reduzido de genitores com arquitetura moderna e atributos agronomicamente desejáveis, o que tem conduzido a um estreitamento da base genética (FONSECA et al., 2006). Logo, com a redução da variabilidade genética, reduz-se também o ganho genético por ciclo de seleção.

Segundo Breseguello e Coelho (2013) a diversidade genética natural foi esculpida pela seleção humana durante domesticação das plantas, resultando em profundas mudanças no seu fenótipo. Seleção intencional ou não, através de milênios de agricultura tradicional resultou em uma riqueza de diversidade genética, adaptada às diferentes necessidades humanas. Além disso, com o advento de melhoramento de plantas e com o auxílio de ferramentas da biotecnologia, acelerou-

se de forma intensiva o ritmo do melhoramento de variedades. Atualmente pela limitação de elevados ganhos genéticos nos programas de melhoramento, torna-se necessário avaliar um grande número de plantas, derivadas a partir de um grande número de cruzamentos para se aumentar as chances de obtenção de genótipos superiores. Para isso, existe uma necessidade de altos investimentos em procedimentos de manuseio de sementes, plantio, avaliação e colheita.

Logo, melhoristas vem buscando outros atributos que possam promover algum salto no potencial genético de produtividade da cultura. Sendo que, os incrementos de produtividade obtidos pelo melhoramento convencional basicamente advém da manipulação de genótipos frente a tolerância e/ou resistência a fatores bióticos e abióticos, além de, atributos como qualidade industrial dos grãos e eficiência produtiva (manejo da cultura).

O Instituto Internacional do Arroz (IRRI), vem realizando estudos, projetando um ideótipo hipotético que alavancaria os potenciais produtivos da cultura (Figura 2). Este modelo de planta, apresenta poucos perfilhos, mas com caules mais robustos e, panículas compactas e maiores, com mais de 200 espiguetas. Assim, estes traços combinados, poderiam resultar em incrementos no índice de colheita e produtividade.



Fonte: IRRI Imagens

Figura 2. Comparação esquemática de portes e tipos de plantas de arroz, representando as cultivares tradicionais, de porte semi-anão e um novo ideótipo de planta proposto.

No entanto, o processo de melhoramento de plantas demanda um elevado tempo para avaliação e obtenção de resultados concisos. Assim, os melhoristas tem trabalhado intensamente na geração de novas tecnologias, principalmente aliando o melhoramento tradicional com o uso da biotecnologia, de forma a alavancar a cadeia produtiva do arroz e auxiliar o combate à fome.

2.4.3. Ganho Genético em Arroz

O melhoramento de plantas é um processo muito dispendioso, que demanda muito tempo, trabalho e investimento. Onde, cada decisão tomada de forma equivocada, pode acarretar em consequências inestimáveis ao programa e/ou empresa de melhoramento, podendo ser irreversíveis a curto prazo. Logo, é de extrema importância o monitoramento da eficiência do programa de melhoramento via obtenção de estimativas de ganho genético, de forma a, analisar criticamente a eficiência do programa e planejar novas ações e estratégias para o desenvolvimento e liberação de novas cultivares.

Existem vários trabalhos realizados com o intuito de obter estas importantes análises em culturas anuais como a cultura do arroz (Tabela 1). Peng et al.(2000) estimou o ganho genético em arroz irrigado avaliando 12 cultivares desenvolvidas pelo IRRI, no período de 1966 a 1995, resultando em um ganho de 75-81Kg ha⁻¹ ano⁻¹, correspondendo a 1% ao ano.

No Brasil, Breseghello et al. (1999) obteve um ganho genético de 0,8% ao ano no nordeste do país. Breseghello et al. (2011) também encontrou ganho genético de 0,67% para a região de Goiás, local de abrangência da Embrapa Arroz e Feijão. No entanto, todas estas estimativas de ganho genético abrangem regiões de cultivo de arroz de terras altas. Logo, existe uma demanda por vislumbrar estas estimativas para a região Sul do País.

Tabela 1. Estudos de ganho genético de programas de melhoramento de plantas na cultura do arroz.

Cultura	Região	Período	Método de Estimacão	Ganho Genético	Referência
				(ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
Arroz Irrigado	Brasil, Meio Norte	1984-1997	Meta-análise	18 Kg (0.3%)	RANGEL et al., 2000
Arroz Irrigado	Brasil, Nordeste	1984-1993	Meta-análise	54.9 Kg (0.8%)	BRESEGHELLO et al., 1999
Arroz Irrigado	Estados Unidos, Texas	1944-1992	Comparação de Cultivares	42.2 Kg /26.3KG	TABIEN et al., 2008
Arroz Irrigado	Filipinas	1966-1995	Comparação de Cultivares	75Kg a 81Kg (1%)	PENG et al., 2000
Arroz Terras Altas	Brasil, Minas Gerais	1975-1995	Meta-análise	23.8Kg (ciclo curto)	SOARES et al., 1999
				46.4Kg (ciclo médio)	
Arroz Irrigado e Sequeiro	Índia	1976-1997	Meta-análise	Não significativo	MURALIDHARAN et al., 2002
Arroz Terras Altas	Brasil, Goiás	1984-2009	Meta-análise	19.1Kg (0.67%)	BRESEGHELLO et al., 2011

Existem dois métodos passíveis de serem utilizados de forma a obter as estimativas de ganho genético: I) Avaliação de cultivares antigas e recentes à campo em um mesmo ambiente, obtida pela análise de regressão dos valores fenotípicos em função do ano e ambiente de cultivo. II) Meta-análises de séries históricas de avaliações de campo normalmente obtidas de dados de condução de testes de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de linhagens elites dos programas de melhoramento.

Ambas as abordagens são capazes de calcular estimativas válidas de ganhos genéticos. A comparação das cultivares no mesmo ambiente, tem como vantagens que os genótipos podem ser avaliados sob condições de manejo agrônomo homogêneo. Por outro lado, via meta-análise, um grande conjunto de dados permite uma melhor amostragem da variação ambiental na população alvo de ambientes, tanto no tempo e no espaço, assim, incluindo genótipos lançados e não lançados.

2.5 Material e métodos

2.5.1 Experimento I: Progresso Genético das Cultivares de Arroz Irrigado de Terras Baixas no Sul do Brasil

O experimento será conduzido à campo em seis locais do estado do Rio Grande do Sul, sendo implantados no campo experimental da Estação de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado no município de Capão do Leão (latitude S 31°48'59" e longitude O 52°27'48"), Santa Vitória do Palmar, Alegrete, Uruguaiana,

Capivari do Sul (latitude S 30°09'03" e longitude O 50°29'49") e São Vicente do Sul (latitude S 29°42'12" e longitude O 54°41'45"). Além dos dados obtidos das avaliações de campo que se sucedem, serão utilizadas séries disponíveis dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) dos bancos de dados das instituições constituídas da Embrapa Clima Temperado e Embrapa Arroz e Feijão que é uma entidade parceira que está sediada em Goiânia - GO.

O modelo de obtenção do ganho genético será via estimativa por meta-análises de séries históricas de avaliações de campo obtidas de dados de condução de testes de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de linhagens elites do programa de melhoramento.

A experimentação será implementada sob delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas compostas por nove fileiras de 5 m de comprimento com espaçamento de 0,20 m entre linhas. A área útil da parcela será constituída por 4 m centrais das sete fileiras internas, de modo a, excluir algum efeito incidente sobre a bordadura. A densidade de semeadura utilizada será de 100 kg ha⁻¹, utilizando-se uma semeadora mecânica de parcelas, sob sistema de plantio direto. A adubação de base será de 300 kg ha⁻¹ de NPK (fórmula 05-20-20) e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de ureia, aplicado 50% da dose no estágio V4 e o restante no estágio R0 (diferenciação do promórdio floral). O controle de plantas daninhas no experimento será realizado através de aplicação de herbicidas recomendados para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2014). O sistema de irrigação será por inundação permanente até o estágio final de maturação dos genótipos.

2.5.1.1 Avaliações adotadas na experimentação

Ciclo cultural – número de dias da emergência à maturação;

Altura de plantas – na fase de maturação, será obtida medindo-se a altura do colmo principal do solo até a extremidade da panícula;

Produtividade de Grãos - produtividade de grãos da parcela ajustado para 13% de umidade.

2.5.1.2 Análise dos dados

Os genótipos serão agrupados de acordo com suas inclusões nos ensaios de VCU, ou seja, existirão sempre linhagens e verificações entre anos consecutivos comuns, permitindo o controle da variação ambiental ao longo de todo o período.

Será utilizado a estatística de modelos mistos, com grupos como efeitos fixos e, linhas dentro dos grupos, anos, locais dentro de anos, e repetições dentro de experimentos como efeitos aleatórios. O modelo estatístico será representado por:

$$Y_{ijkmn} = \mu + g_j + l_i/g_j + a_k + t_m/a_k + b_n/at_{km} + \varepsilon_{ijkmn}$$

em que Y_{ijkmn} são os dados a nível de parcela, μ é a interceptação, g_j é o efeito fixo do grupo “j”, l_i/g_j é o efeito aleatório da linhagem “i” dentro do grupo j, a_k é o efeito aleatório do ano k, t_m/a_k é o efeito aleatório de ensaio dentro do ano k, b_n/at_{km} é o efeito aleatório de bloco no ensaio no ano k, e ε_{ijkmn} é o erro aleatório. As análises serão realizadas no programa SAS (statistical analysis software).

2.5.2 Experimento II: Adaptabilidade e Estabilidade das Cultivares de Arroz Irrigado da Embrapa no Sul do Brasil

O experimento será conduzido à campo em seis locais do estado do Rio Grande do Sul, sendo implantados no campo experimental da Estação de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado no município de Capão do Leão (latitude S 31°48’59” e longitude O 52°27’48”), Santa Vitória do Palmar, Alegrete, Uruguaiana, Capivari do Sul (latitude S 30°09’03” e longitude O 50°29’49”) e São Vicente do Sul (latitude S 29°42’12” e longitude O 54°41’45”). Além dos dados obtidos das avaliações de campo que se sucedem, serão utilizadas séries disponíveis dos ensaios de cultivares recomendadas dos bancos de dados da Embrapa Clima Temperado.

Serão utilizadas no experimento todas as cultivares de arroz irrigado lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa para o sul do Brasil, no período entre os anos de 1979 a 2015 (Tabela 2).

A experimentação será implementada sob delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas compostas por nove fileiras de 5 m de comprimento com espaçamento de 0,20 m entre linhas. A área útil da parcela será constituída por 4 m centrais das sete fileiras internas, de modo a, excluir algum efeito incidente sobre a bordadura. A densidade de semeadura

utilizada será de 100 kg ha⁻¹, utilizando-se uma semeadora mecânica de parcelas, sob sistema de plantio direto. A adubação de base será de 300 kg ha⁻¹ de NPK (fórmula 05-20-20) e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de ureia, aplicado 50% da dose no estágio V4 e o restante no estágio R0 (diferenciação do promórdio floral). O controle de plantas daninhas no experimento será realizado através aplicação de herbicidas recomendados para a cultura do arroz irrigado (SOSBAI, 2014). O sistema de irrigação será por inundação permanente até o estágio final de maturação dos genótipos.

Tabela 2. Cultivares de arroz irrigado desenvolvidas pela Embrapa para o Sul do Brasil, ano de lançamento, ciclo cultural e suas principais características.

Cultivar	Ano	Ciclo Biológico	Principais Características
BR-IRGA 409	1979	Médio	Produtividade/adaptação
BR-IRGA 410	1980	Médio	Produtividade/adaptação
BR-IRGA 411	1985	Médio	Alto vigor inicial
BR-IRGA 412	1986	Médio	Qualidade de grão
BR-IRGA 413	1986	Médio	Alto vigor inicial/resistência ao gorgulho
BR-IRGA 414	1987	Precoce	Qualidade de grão
BR-IRGA 415	1989	Precoce	Tolerância à toxicidade por ferro
BRS 6 “Chuí”	1991	Precoce	Tolerância ao frio
BRS 7 “TAIM”	1991	Médio	Produtividade/resistência à brusone
BRS LIGEIRINHO	1995	Super Precoce	Precocidade
BRS AGRISUL	1995	Médio	Tolerância à toxicidade por ferro
BRS BOJURU	1997	Médio	Tolerância ao frio/grão japonico
BRS ATALANTA	1999	Super Precoce	Precocidade
BRS FIRMEZA	1999	Precoce	Colmos vigorosos/baixo perfilhamento
BRS PELOTA	2000	Médio	Produtividade/qualidade de grãos
BRS FRONTEIRA	2005	Médio	Qualidade de grão
BRS QUERÊNCIA	2005	Precoce	Produtividade/alto rendimento industrial
BRS CIRAD 302	2010	Médio	Híbrido/qualidade de grão
BRS SINUELO CL	2010	Médio	Adaptado ao sistema Clearfield
BRS PAMPA	2011	Precoce	Produtividade/qualidade de grão

2.5.2.1 Avaliações adotadas na experimentação

Ciclo cultural – número de dias da emergência à maturação;

Altura de plantas – na fase de maturação, será obtida medindo-se a altura do colmo principal do solo até a extremidade da panícula;

Produtividade de Grãos - produtividade de grãos da parcela ajustado para 13% de umidade.

Qualidade industrial - percentual de grãos inteiros, obtidos pelo descascamento e brunimento dos grãos em um mini-engenho de prova.

2.5.2.2 Análise dos dados

Os ensaios serão agrupados para as análises univariadas conjuntas, conforme sistema de análise geral dos experimentos. Onde, o procedimento de análise será feito considerando a relação de ambientes contemplando a relação entre o local e ano de cultivo. Considerando-se que as cultivares avaliadas não são contempladas em todos os locais e anos de cultivo, será utilizado a análise via modelos lineares mistos. Pois em estudos de estabilidade e adaptabilidade, apresentam resultados superiores à abordagem convencional de análise, baseada no desempenho médio dos genótipos, principalmente quando ocorrem dados desbalanceados (Balestre et al., 2010; Borges et al., 2010).

Assim, as estimativas dos componentes de variância serão obtidas pelo método de máxima verossimilhança residual (REML), descrito por Patterson e Thompson (1971), e a predição dos valores genéticos de cada indivíduo será realizada com o procedimento de melhor predição linear não viesada (BLUP). Os valores preditos dos efeitos aleatórios (EBLUP), associados a cada um dos acessos, contemplará uma parte atribuída à estimativa μ_p constante, e outra parte referente ao efeito genotípico particular de cada acesso.

As análises serão realizadas no programa SAS (statistical analysis software).

2.5.3 Experimento III: Ganho genético para qualidade de grãos em arroz irrigado no Rio Grande do Sul

A experimentação será implementada à campo na safra 2015/2016 em 4 locais do estado do RS: Capão do Leão (região da Zona Sul), São Vicente do Sul (região da Depressão Central), Santa Vitória do Palmar (região da Zona Sul) e Capivari do Sul (região costeira externa). O delineamento será de blocos casualizados com três repetições, sendo as parcelas compostas por 4 linhas de 5 m

de comprimento com espaçamento de 0.17 m entre linhas. A área útil da parcela será constituída por 4 m centrais das 2 fileiras internas, de modo a, excluir algum efeito indesejável incidente sobre a bordadura. A irrigação será realizada sob sistema por inundação permanente até o estágio final de maturação dos genótipos. A densidade de semeadura será de 100 kg ha⁻¹ de sementes viáveis, utilizando-se uma semeadora mecânica de parcelas, sob sistema de plantio convencional. A adubação de base será de 300 kg ha⁻¹ de NPK (fórmula 5-20-20) e 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio, na forma de ureia, aplicado 50% da dose no estágio V4 (início do perfilhamento) e o restante no estágio R0 (diferenciação do primórdio floral).

A colheita dos grãos será realizada manualmente, evitando possíveis misturas indesejadas entre as cultivares, quando atingida uma umidade média dos grãos de 22%. Posteriormente, os grãos serão condicionados em um secador para redução da umidade relativa de aproximadamente 13%. Logo, os grãos passarão por um beneficiamento em um mini engenho de prova para processo de descasque e polimento dos grãos, assim, obtendo-se o percentual de grãos inteiros após o beneficiamento. Os atributos físicos de qualidade intrínsecos dos grãos serão avaliadas com o auxílio do analisador estatístico de grãos S21, baseado na análise de imagens digitais de cada amostra, determinando os seguintes parâmetros: comprimento e largura dos grãos polidos; percentual de grãos gessados e com barriga branca; área gessada total; defeitos gerais de coloração dos grãos (grãos ardidos, mofados, rajados, manchados e amarelos); e brancura total e brancura vítrea dos grãos.

Serão avaliadas no experimento todas as cultivares de arroz irrigado lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa para o sul do Brasil, no período entre os anos de 1979 a 2015 (Tabela 2).

2.5.3.1 Avaliações adotadas na experimentação

Os atributos físicos de qualidade intrínsecos dos grãos serão avaliadas com o auxílio do analisador estatístico de grãos S21, baseado na análise de imagens digitais de cada amostra, determinando os seguintes parâmetros: comprimento e largura dos grãos polidos; percentual de grãos gessados e com barriga branca; área gessada total; defeitos gerais de coloração dos grãos (grãos ardidos, mofados, rajados, manchados e amarelos); e brancura total e brancura vítrea dos grãos.

2.5.3.2 Análise dos dados

Após a obtenção dos dados fenotípicos, realizara-se as estimativas genéticas das características em análise através dos modelos lineares mistos. O modelo estatístico representado será:

$$Y = X_r + Z_g + W_i + \varepsilon$$

em que, “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 interação genótipo x ambiente (aleatórios) e “ε” é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). Para esta inferência das médias genotípicas utilizou-se o software estatístico Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016).

As estimativas do progresso genético seguirão a abordagem baseada na análise comparativa de cultivares lançadas ao longo dos anos, sendo obtida pela avaliação das principais cultivares de arroz irrigado lançadas pelo programa de melhoramento genético da EMBRAPA para o RS no período entre os anos de 1979 e 2015. A cultivar Bluebelle (cultivar de origem americana) introduzida na década de 1970 e muito cultivada no sul do Brasil, também será adicionada ao experimento para aumentar a acurácia da experimentação. A partir das estimativas genéticas de cada característica, serão obtidos os progressos genéticos médios anuais via regressão linear generalizada.

2.6 Cronograma de Atividades

Atividades	Meses - Anos (2014/2015/2016/2017/2018)											
2015	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Revisão Bibliográfica			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Semeadura Genótipos (Ensaio I, II e III)										x		
2016	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avaliações à campo	x	x	x									
Colheita genótipos			x	x								
Semeadura Genótipos (Ensaio I, II e III)										x		
2017	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avaliações à campo	x	x	x									
Colheita genótipos			x	x								
Semeadura Genótipos (Ensaio I, II e III)										x		
2018	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Avaliações dos genótipos	x	x	x									
Colheita genótipos			x									
Análises Estatísticas			x	x	x							
Redação da Tese					x	x	x					
Defesa da Tese							x					
Publicação dos Dados						x	x					

2.7 Orçamento

2.7.1 Infra-estrutura Disponível

2.7.1.1 Recursos Humanos

Descriminação	Disponibilidade	Fonte	Valor (R\$)
Orientador	10%		10560,00
Executor	100%	CAPES/EMBRAPA	105600,00
Sub-total 1			R\$ 116160,00

2.7.2 Recursos Solicitados

2.7.2.1 Expedições Científicas

Descrição	Unidades	Valor (R\$)
Expedições científicas	-	6000,00
Sub-total 2	-	6000,00

2.7.2.2 Material de Consulta Bibliográfica

Descrição	Unidades	Valor (R\$)
Aquisição de artigos publicados internacionalmente	-	2000,00
Cópias de livros e outros materiais	-	1500,00
Sub-total 3	-	3500,00

2.7.2.3 Imprevistos e Outros

Descrição	Unidades	Valor (R\$)
Viagens para avaliação experimentos	-	2000,00
Imprevistos (10% do total 2)		950,00
Sub-total 4	-	2950,00

2.7.3 Totais

Descrição	Unidades	Valor (R\$)
Recursos disponíveis (Total 1)		
Sub-total 1		116160,00
Recursos solicitados a outras instituições financiadoras		
(Sub-total 2) + (Sub-total 3) + (Sub-total 4)		12450,00
Total do Projeto	-	128610,00

2.8 Referências Bibliográficas

- 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, p.357- 363, 2010.
- BORGES, V.; SOARES, A.A.; REIS, M.S.; RESENDE, M.D.V. de; CORNÉLIO, V.M.O.; LEITE, N.A.; VIEIRA, A.R. Desempenho genotípico de linhagens de arroz de terras altas utilizando metodologia de modelos mistos. **Bragantia**, v.69, p.833- 842, 2010.
- BOTELHO, C. O Arroz. **Typografia Levi**, 525 p. 1914.
- BRESEGHELLO, F., P.H.N. RANGEL, and O.P. MORAIS. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no nordeste do Brasil. **Bras. J. Agric. Res.** 34:399–407. 1999.
- BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O.P.; PINHEIRO, P.V.; SILVA, A.C.S.; CASTRO, E.M.; GUIMARÃES, E.P.; CASTRO, A.P.; PEREIRA, J.A.; LOPES, A.M.; UTUMI, M.M.; OLIVEIRA, J.P. Results of 25 Years of Upland Rice Breeding in Brazil. **CROP SCIENCE**, VOL. 51. 2011.
- BRESEGUELLO, F.; COELHO, A.S.G.; **Traditional and Modern Plant Breeding Methods with Examples in Rice (Oryza sativa L.)**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, American Chemical Society. 2013. Chap. 61, p. 8277–8286.
- CASTRO, E.M.; BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P.H.; MORAES, O.P. Melhoramento do arroz. In: Borém, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. UFV, Viçosa, p. 95-130. 1999.
- CONAB 2015. Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos: Sexto Levantamento – Março/ 2015. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_10_09_00_11_boletim_graos_marco_2015.pdf. Acesso em: 01 de abril de 2015.
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36- 40, 1966.

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: 20 de março de 2015.

FONSECA, J.R.; BRONDANI, C.; BRONDANI, R.P.V.; RANGEL, P.H.N. Recursos genéticos. In: **A cultura do arroz no Brasil**. SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. (eds). 2 ed. ver. Ampl. – Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 285-320.

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 prognósticoclimático. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; OLIVEIRA, A. C. Arroz. In: **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Rosa Lia Barbieri; Elisabeth Regina Tempel Stumpf – Editores Técnicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.187-218, 2008.

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.

MORISHIMA, H. et al. Evolutionary studies in cultivated rice and its wild relatives. **Oxford Surveys in Evol. Biol.** v.8, p.135-184, 1992.

MURALIDHARAN, K., G.S.V. PRASAD, AND C.S. RAO. Yield performance of rice genotypes in international multi-environment trials during 1976– 97. **Curr. Sci.** 83:610–619. 2002.

PATTERSON, H.D.; THOMPSON, R. Recovery of inter- block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v.58, p.545- 554, 1971.

PENG, S., R.C. LAZA, R.M. VISPERAS, A.L. SANICO, K.G. CASSMAN, AND G.S. KHUSH. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. **Crop Sci.** 40:307–314. 2000.

PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história.** Teresina, Embrapa Meio-Norte, 2002, 226p.

RANGEL, P.H.N., J.A. PEREIRA, O.P. MORAIS, E.P. GUIMARAES, AND T. YOKOKURA. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. **Bras. J. Agric. Res.** 35:1595–1604. 2000.

RANGEL, P.H.N.; GUIMARÃES, E.P.; NEVES, P.C.F.N. **Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado no Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.31, n.5, p.349-357, 1996.

SAS Institute. SAS/STAT 9.1 user's guide. SAS Inst., Cary, NC. 2004.

SILVA, M. V. **O melhoramento do arroz em Portugal.** Vida Agrícola, Lisboa, v.19, não paginado, 1956.

SOARES, A.A., P.G. SANTOS, O.P. MORAIS, P.C. SOARES, M.S. REIS, AND M.A. SOUZA. Progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. **Bras. J. Agric. Res.** 34:415–424. 1999.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas de pesquisa para o Sul do Brasil.** Itajaí: SOSBAI, 2012. 179p.

TABIEN, R.E., S.O.P.B. SAMONTE, AND A.M. MCCLUNG. Forty-eight years of rice improvement in Texas since the release of cultivar Bluebonnet in 1944. **Crop Sci.** 48:2097–2106. 2008.

VAUGHAN, D.A. **The genus *Oryza* L.** Current status of taxonomy. Philippines: IRRI Research Paper Serial, Number 138. 1989.

ZHOU, Y., H.Z. ZHU, S.B. CAI, Z.H. HE, X.K. ZHANG, X.C. XIA, AND G.S. ZHANG. Genetic improvement of grain yield and associated traits in the southern China winter wheat region: 1949 to 2000. **Euphytica** 157:465–473. 2007a.

3 Relatório do Trabalho de Campo

Relatório do trabalho de campo

Todas as três experimentações foram efetuadas sem grandes problemas conforme planejamento inicial do projeto de pesquisa. No entanto, como o projeto foi realizado em parceria com a Embrapa Clima Temperado algumas alterações nos locais de cultivo foram necessárias, decorrentes de problemas de logística da Embrapa com os produtores e/ou empresas locais.

- Primeiro experimento: Progresso Genético das Cultivares de Arroz Irrigado de Terras Baixas no Sul do Brasil.

No projeto de pesquisa, este experimento visava estimar o progresso genético apenas baseado na abordagem de meta-análises de séries históricas de avaliações de campo obtidas de dados de condução de testes de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de linhagens elites do programa de melhoramento. No entanto, foi verificada a possibilidade ampliação desta experimentação, tornando o trabalho mais robusto e acurado. Desta forma, foi acrescida a estimativa via comparação de cultivares lançadas ao longo de um período temporal.

A experimentação para a primeira abordagem, utilizou basicamente os dados do ensaio de VCU da Embrapa Clima Temperado em cinco locais do estado do Rio Grande do Sul da safra 2015/2016 e os dados de séries históricas de anos anteriores desse ensaio. Nesta safra 2015/2016, houve a mudança do local Capivari do Sul por Mostradas e exclusão do Município de São Vicente do Sul, por questões de logística da Embrapa.

A segunda abordagem foi conduzida à campo na safra 2015/2016, sendo as semeaduras realizadas no período de 20 a 25 de novembro, nos municípios de Capão do Leão, Camaquã, Mostardas e Nova Esperança do Sul. Assim, foi substituído do projeto inicial o local de Santa Vitória do Palmar por Camaquã e São Vicente do Sul por Nova Esperança do Sul. Além disso, por problemas técnicos não pode-se instalar o ensaio em Alegrete e Uruguaiana.

- Segundo experimento: Adaptabilidade e Estabilidade das Cultivares de Arroz Irrigado da Embrapa no Sul do Brasil.

Foi conduzido à campo na safra 2015/2016, sendo as semeaduras realizadas no período de 20 a 25 de novembro, nos municípios de Capão do Leão, Camaquã, Mostardas e Nova Esperança do Sul. Assim, foi substituído do projeto inicial o local de Santa Vitória do Palmar por Camaquã e São Vicente do Sul por Nova Esperança do Sul. Por problemas técnicos não pode-se instalar o ensaio em Alegrete e Uruguaiana.

Além disso, foram incluídas as cultivares lançadas mais recentemente pelo programa de melhoramento da Embrapa, sendo a SCSBRS 113 Tio Taka, BRS 358, BRS Pampeira, BRSCIRAD HA703 CL e BRS AG.

- Terceiro experimento: Ganho genético para qualidade de grãos em arroz irrigado no Rio Grande do Sul.

Os ensaios seguiram a mesma experimentação do segundo experimento, considerando-se as mesmas peculiaridades e dificuldades.

**4 Artigo 1: Progresso genético em 45 anos de melhoramento genético de
arroz irrigado no Sul do Brasil**

(Artigo Submetido na Língua Inglesa e Revisado Segundo Normas da Revista Crop
Science)

Progresso Genético em 45 Anos de Melhoramento Genético de Arroz Irrigado no Sul do Brasil

Abreviações: VCU, Valor de Cultivo e Uso; ERs, Ensaio Regional; Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; PG, Produtividade de Grãos; DAF, Dias Até a Floração; EP, Estatura de Plantas.

RESUMO

O arroz irrigado é uma cultura de extrema importância social e econômica no Brasil, e o estado do Rio Grande do Sul, atende por mais de 70% da produção nacional. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) têm atuado intensamente no processo de melhoramento genético da cultura, buscando desenvolver cultivares que acarretem em incrementos significativos na produtividade de grãos de forma sustentável. O trabalho teve como objetivo estimar o progresso genético em 45 anos do programa de melhoramento de arroz irrigado da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) no Sul do Brasil no período de 1972 a 2016, via análise comparativa das cultivares no mesmo ambiente e via meta-análise de ensaios de rendimento de linhagens. As estimativas foram oriundas de: via meta-análise obtidas da avaliação de 455 genótipos em 145 ensaios de rendimento regional de linhagens (ERs) e valor de cultivo e uso (VCUs) em 44 safras agrícolas; via comparação de cultivares, obtidas da avaliação de 25 cultivares em 10 safras agrícolas. As avaliações realizadas para obtenção do progresso genético foram: produtividade de grãos, estatura de plantas e dias até a floração. As cultivares lançadas pelo programa de melhoramento também foram avaliadas quanto a características de importância agrônômica na cultura. As estimativas genéticas determinaram para produtividade de grãos, um progresso genético via meta-análise e comparação de cultivares de 0,62% (37,91 kg ao ano) e 0,73% (47,78 kg ao ano), respectivamente. Verificou-se também que durante o período houve uma redução da estatura

das plantas e dos dias para floração. Três distintas fases históricas que delimitaram mudanças importantes no foco de pesquisa e no progresso genético: I) 1972 a 1983- Anterior a revolução verde do arroz; II) 1983 a 2000- Posterior a revolução verde do arroz; III) 2000 a 2016- intensificação da seleção para atributos de qualidade industrial dos grãos. Outros aspectos genéticos relevantes, estratégias de seleção e fases do programa de melhoramento foram discutidos.

INTRODUÇÃO

O arroz irrigado (*Oryza sativa* L.) é uma cultura de extrema importância no Brasil, com produção anual de aproximadamente 12 milhões de toneladas na safra 2016/2017. O estado do Rio Grande do Sul localizado na região Sul do Brasil, atende por mais de 70% da produção nacional (Conab, 2017).

A produção de arroz irrigado no Sul do Brasil (Figura 1a) evidenciou elevados avanços nas últimas décadas, decorrentes principalmente pelo incremento na produtividade de grãos (Figura 1b), através da participação do melhoramento genético e de melhorias nas práticas de cultivo.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) se tornou uma das principais instituições de ciência e tecnologia na agricultura e na pecuária, consolidando sua reputação de excelência em pesquisas com as comunidades científicas do Brasil e do exterior (Alves, 2010), contribuindo significativamente para os principais avanços qualitativos e quantitativos obtidos pela agricultura brasileira (Lopes et al., 2012).

Em colaboração com outras instituições, o programa de melhoramento genético de arroz irrigado a várias décadas tem atuado intensamente no lançamento de inúmeras cultivares com elevado potencial de produtividade, boa qualidade e sanidade dos grãos, resistência a fatores bióticos e abióticos e, boa adaptação às condições de cultivo. Recentemente os lançamentos

mais notáveis são a BRS Pampa e BRS Pampeira (Magalhães Júnior et al., 2017). Vale ressaltar também a cultivar BR IRGA 409, que mesmo sendo mais antiga (lançamento em 1979), ainda apresenta grandes áreas de plantio na região Sul do Brasil pela sua elevada qualidade dos grãos.

O melhoramento de plantas é um processo muito dispendioso, o qual demanda muito tempo, trabalho e investimento. Cada decisão tomada de forma equivocada, pode acarretar em consequências inestimáveis ao programa e/ou empresa de melhoramento, podendo ser irreversíveis a curto prazo. Logo, é de extrema importância o monitoramento da eficiência do programa de melhoramento via obtenção de estimativas de ganho genético, de forma a, analisar criticamente a eficiência do programa e planejar novas ações e estratégias para o desenvolvimento e lançamento de novas cultivares.

A contribuição do melhoramento de plantas para produção de grãos tem sido estudada em diversas culturas como girassol (De La Vega et al., 2007), feijão (Chiorato et al., 2010), sorgo (Mason et al., 2008) e trigo (De Vita et al., 2007; Zhou et al., 2007; Cargnin et al., 2008;). Em arroz, vários trabalhos foram realizados em cultivo de sequeiro (Soares et al., 1999; Breseghello et al., 2011) e sob sistema irrigado (Breseghello et al., 1999; Peng et al., 2000; Tabien et al., 2008).

Conforme esses trabalhos e literaturas relacionadas ao assunto, os ganhos genéticos para a maioria das culturas não ultrapassam o índice de 1%. No Brasil, Breseghello et al. (1999) obtiveram um ganho genético de 0,8% ao ano no nordeste do país. Breseghello et al. (2011) também encontraram ganho genético de 0,67% para a região centro oeste. No entanto, existe uma demanda pela verificação destas estimativas para a região Sul do Brasil, que atende por mais de 70% da produção nacional do cereal.

Existem dois métodos passíveis de serem utilizados de forma a obter as estimativas de ganho genético: I) Avaliação de cultivares antigas e recentes à campo em um mesmo

ambiente, obtida pela análise de regressão dos valores fenotípicos em função do ano e ambiente de cultivo. II) Meta-análises de séries históricas de avaliações de campo normalmente obtidas de dados de condução de testes de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de linhagens elites dos programas de melhoramento.

Ambas as abordagens são capazes de calcular estimativas válidas de ganhos genéticos. No entanto, existem diversas contradições quanto ao método mais acurado e eficiente dessas estimativas de ordem genética em programas de melhoramento vegetal. Além disso, a inexistência de trabalhos utilizando conjuntamente as duas metodologias, torna de fundamental importância a comparação destas inferências para auxiliar os melhoristas em posteriores estimativas genéticas.

Buscando evidenciar a realidade da cultura do arroz irrigado no sistema de Terras Baixas no Sul do Brasil, objetivou-se estimar o progresso genético para os principais caracteres agronômicos de arroz irrigado obtido pelo programa de melhoramento da Embrapa no período de 1972 a 2016 através do método de análise comparativa das cultivares no mesmo ambiente e via meta-análise de ensaios de rendimento de linhagens.

MATERIAL E MÉTODOS

Fonte de Dados

Teste de Desempenho de Linhagens Elites

Para a abordagem constituída pela meta-análise de ensaios comparativos de rendimento de linhagens elites, foram utilizadas séries históricas de experimentos de campo realizados pela Embrapa e colaboradores no estado do Rio Grande do Sul. Durante os 45 anos do programa de melhoramento genético de arroz irrigado, houveram duas nomenclaturas utilizadas para esses ensaios comparativos de rendimento de linhagens elites. Entre as safras agrícolas de 1971/1972 a 1999/2000, foram instalados 69 Ensaios Regionais (ER) que

visavam comparar as linhagens elites do programa em distintas regiões do estado do Rio Grande do Sul. Posteriormente, com a criação de normas do Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) no Brasil, para a inscrição no Registro Nacional de Cultivares, foram exigidos ensaios específicos com critérios preestabelecidos chamados de Ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU). Neste sentido, foram instalados 76 ensaios de VCU conduzidos em 15 safras agrícolas no período de 2000/2001 a 2015/2016. A experimentação contemplou 44 safras agrícolas, devido à perda dos dados de campo da safra 2003/2004.

Os ensaios de avaliação de linhagens (ER e VCU), foram implementados em cada safra agrícola, contemplando cultivares testemunhas (que eventualmente eram substituídas por mais recentes) para validação do ensaio e demais linhagens selecionadas preliminarmente em ensaios de rendimento agrônomo. As linhagens que apresentavam rendimentos insatisfatórios, foram eliminadas após o segundo ano de avaliação. Em contrapartida, as linhagens que demonstravam bom potencial produtivo e/ou atributos desejados, passavam para avaliações finais ou imediatamente submetidas para o processo de registro e liberação como cultivar comercial.

O número de experimentações realizadas e o número de linhagens testadas variou conforme a necessidade em cada safra agrícola. Durante o período destas 44 safras agrícolas, foram obtidos 146 experimentos implantados com sucesso na aquisição de 10532 unidades experimentais (parcelas) totais com resultados considerados precisos de desempenho agrônomo. Logo, neste período foram testadas 455 linhagens elites de arroz irrigado, variando entre 8 a 36 linhagens testadas em cada safra agrícola.

Os ensaios foram instalados entre as estações da primavera-verão (22 de setembro e 20 de março) nas regiões agroclimáticas de cultivo de arroz irrigado do estado do Rio Grande do Sul (Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Interna, Planície Costeira Externa e Zona Sul), segundo classificação de Steinmetz et al. (2005). Os locais

específicos de instalação dos experimentos em cada região agroclimática, variaram conforme disponibilidade anual de convênios de cooperação com produtores ou empresas rurais. Essas regiões agroclimáticas de instalação dos experimentos contemplam um solo com características de um Planossolo, com o horizonte mais superficial muito raso e arenoso e o horizonte B com baixa permeabilidade.

O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas compostas por 9 fileiras de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0.20 m entre linhas. A área útil da parcela foi constituída por 4 m centrais das sete fileiras internas, de modo a, excluir algum efeito indesejável incidente sobre a bordadura. A irrigação foi realizada sob sistema de inundação permanente, com manutenção da lâmina de água até o estágio final de maturação dos genótipos.

Os principais parâmetros de manejo da cultura como densidade de semeadura utilizada, sistema de plantio, manejos de adubação e controle de insetos e plantas daninhas, foram condicionadas às variações nas indicações técnicas para a cultura conforme o decorrer das safras agrícolas.

As avaliações realizadas ao longo do período foram: produtividade de grãos (kg ha^{-1}) ajustada para 13% de umidade; estatura de plantas (cm), na fase de maturação, medindo-se o comprimento do colmo principal, do solo até a extremidade da panícula; e, dias para a floração (dias), considerando-se o número de dias da emergência até 50% das panículas expostas.

Teste de desempenho de cultivares lançadas

A segunda abordagem baseada na análise comparativa de cultivares, foi obtida pela avaliação das 25 cultivares de arroz irrigado lançadas pelo programa de melhoramento genético da Embrapa, em distintos ambientes, no período entre os anos de 1971 a 2016. A

cultivar Bluebelle (cultivar de origem americana) introduzida na década de 1970 e muito cultivada antigamente no Sul do Brasil, também foi adicionada ao experimento para aumentar a acurácia da experimentação. As cultivares foram avaliadas o período compreendido entre as safras agrícolas de 2005/2006 a 2015/2016, totalizando 11 anos de avaliação. Como o período de avaliação é elevado, com o decorrer das safras agrícolas o número de cultivares avaliadas aumentaram, visto que, novas cultivares foram sendo lançadas neste período. A safra 2015/2016 contemplou todas as cultivares lançadas pelo programa de melhoramento.

As cultivares foram instaladas nas condições ideais para o cultivo, na Estação de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado no município de Capão do Leão (latitude S 31°48'59" e longitude O 52°27'48") e nas demais regiões agroclimáticas de cultivo de arroz irrigado do estado do Rio Grande do Sul (Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Interna, Planície Costeira Externa e Zona Sul). O número de locais realizados em cada safra agrícola, variou conforme a disponibilidade de convênios anuais. Durante as 11 safras agrícola, foram instalados 60 experimentos, contemplando 1961 unidades experimentais.

A experimentação foi implementada sob delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas compostas por 9 fileiras de 5 m de comprimento com espaçamento de 0.20 m entre linhas. A área útil da parcela foi constituída por 4 m centrais das sete fileiras internas. A irrigação foi realizada sob sistema de inundação permanente, com manutenção da lâmina de água até o estágio final de maturação dos genótipos.

O cultivo realizado entre as estações da primavera-verão (22 de setembro e 20 de março), utilizou uma densidade de semeadura de 100 kg ha⁻¹ de sementes viáveis, através de uma semeadora mecânica de parcelas, sob sistema de plantio convencional. As adubações de base e nitrogenada foram realizadas conforme uma análise prévia do solo. A adubação nitrogenada foi via ureia, aplicado 50% da dose no estágio V4 (início do perfilhamento) e o

restante no estágio R0 (diferenciação do primórdio floral). Quando necessário houveram manejos de pragas e doenças, sendo realizado conforme as recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Sul do Brasil. As avaliações realizadas para obtenção do progresso genético das diferentes abordagens foram: produtividade de grãos (kg ha^{-1}) ajustada para 13% de umidade; estatura de plantas (cm), na fase de maturação, medindo-se o comprimento do colmo principal, do solo até a extremidade da panícula; e, dias para a floração (dias), considerando-se o número de dias da emergência até 50% das panículas expostas. Além disso, as cultivares também foram avaliadas quanto a alguns atributos agronômicos importantes da cultura, sendo: espessura do colmo (mm) (leitura na penúltima aurícula); comprimento de panícula (cm), medido da base até a ponta superior da panícula ($n=10$); peso de panícula (g), considerando o peso aferido em balança de precisão de panículas aleatórias na maturação ($n=10$); comprimento da cariopse (mm), largura da cariopse (mm) e espessura da cariopse (mm), sendo as dimensões mensuradas a partir do grão integral ($n=5$) com apenas a pálea e a lema removidas; e peso de mil grãos (g) mensurado em balança de precisão em 1000 grãos bem desenvolvidos selecionados aleatoriamente, com uma umidade dos grãos de 13%.

Análise de Dados

Meta-análise de Séries Históricas

Os dados da série histórica do programa de melhoramento, foram agrupados de acordo com suas inclusões nos ensaios de rendimento, ou seja, existiam sempre linhagens e testemunhas comuns entre anos consecutivos, permitindo o controle da variação ambiental dos locais e anos ao longo de todo o período. Os dados foram agrupados conforme o grupo pertencente ao ano de inserção das linhagens nos ensaios de rendimento.

O conjunto de dados foi submetido aos testes de análise de estatística descritiva, sendo cada variável analisada individualmente. Posteriormente, foi utilizada a estatística de modelos mistos, considerando o grupo de linhagens de cada ano como efeito fixo e linhas dentro dos grupos, anos, locais dentro de anos e repetições dentro de experimentos como efeitos aleatórios. O modelo estatístico foi representado por:

$$Y_{ijkmn} = \mu + g_j + l_i / g_j + a_k + t_m / a_k + b_n / at_{km} + \varepsilon_{ijkmn}$$

em que Y_{ijkmn} são os dados a nível de parcela, μ é a intercepção, g_j é o efeito fixo do grupo “j”, l_i / g_j é o efeito aleatório da linhagem “i” dentro do grupo j, a_k é o efeito aleatório do ano “k”, t_m / a_k é o efeito aleatório de ensaio dentro do ano “k”, b_n / at_{km} é o efeito aleatório de bloco no ensaio do ano “k”, ε_{ijkmn} é o erro aleatório $N(0, \sigma^2)$.

A metodologia de estimativa do progresso genético foi elaborada conforme Breseghello et al. (1998). Sendo que, primeiramente para a análise computacional estatística da série histórica através de modelos mistos, utilizou-se o software SAS (SAS Institute, 2014) com o uso dos seguintes comandos: `proc mixed; class group line year trial block; model GY DTF PH= group; random year trial(year) block(year trial) line(group)/solution; lsmeans group/cov; run;`

Após a aplicação do modelo linear generalizado misto, no qual foram obtidas as médias ajustadas dos grupos de genótipos em cada ano e a matriz de covariâncias, realizou-se uma estimativa do progresso genético anual médio pela análise de regressão linear generalizada. Sendo que, o progresso anual médio foi calculado pela relação entre o “slope” e “intercept” da fase inicial do programa de melhoramento referente ao ano de 1972. A significância do modelo, foi obtida pelo teste t.

Ensaio de Desempenho de Cultivares Lançadas

Os dados foram agrupados conforme o ano de lançamento de cada cultivar desenvolvida. Os locais e safras de cultivo, foram utilizados para estimar os efeitos de ambiente incidentes sobre as cultivares analisadas. Considerando-se que novas cultivares foram sendo lançadas no período de experimentação, bem como os locais de cultivo não foram fixos, os dados de avaliação de cultivares lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa no Rio Grande do Sul, também foram submetidos a análise estatística de modelos mistos através do modelo:

$$Y_{ijkn} = \mu + g_i + b_{j/k/n} + a_k + l_n + ga_{ik} + gl_{in} + al_{kn} + gal_{ikn} + \varepsilon_{ijkn}$$

μ é o efeito da média geral, g_i é o efeito do genótipo “i”, $b_{j/k/n}$ é o efeito do bloco “j” dentro do ano “k” dentro do local “n”, l_n é o efeito do local “n”, a_k é o efeito do ano de plantio “k”, gl_{in} é o efeito da interação genótipos x locais, ga_{ik} é o efeito da interação genótipos x anos de plantio, al_{kn} é o efeito da interação locais x anos de plantio, gal_{ikn} é o efeito da interação genótipos x anos x locais, ε_{ijkn} é o erro ou resíduo aleatório.

A partir deste modelo linear generalizado foram obtidas as médias genotípicas ajustadas de cada cultivar e calculadas a estimativa do progresso genético anual médio pela análise de regressão linear simples, conforme o mesmo critério utilizado na abordagem de meta-análise.

Todas as análises estatísticas foram realizadas através do software SAS (SAS Institute, 2014).

RESULTADOS

Estrutura do Conjunto de Dados

Os componentes de variância dos fatores considerados de ordem aleatória, obtidos pelos modelos lineares generalizados mistos são demonstrados na Tabela 1. Para os componentes dos dados de meta-análise, verifica-se que para a produtividade de grãos (caráter de herança quantitativa e altamente influenciado pelo ambiente) os efeitos de ano e local, foram os mais incidentes na variação total do caráter. Isso demonstra que houve grandes variações nos efeitos de ordem ambiental ao longo dos 45 anos de cultivo, obtidos por variações das regiões geográficas de cultivo, tipo de solo, relevo, alterações climáticas, manejo hídrico, adubação, recomendações técnicas, tecnologia utilizada e incidência de fatores bióticos e abióticos. Já os caracteres dias até a floração e estatura de plantas, que também são controlados por muitos genes (herança quantitativa), demonstraram variações maiores nos efeitos de linhagem dentro dos grupos de anos, pois o foco de pesquisa da empresa nos caracteres agronômicos não estar condicionada apenas nos traços atuais, mas também com possíveis tendências futuras. Os efeitos de variação nos blocos foram pouco evidenciados para os três caracteres analisados.

As estimativas através da comparação das cultivares lançadas, demonstraram grande variação genética e uma minimização dos efeitos de ordem ambiental sobre os três caracteres avaliados. Isso se deve ao fato de que os genótipos foram avaliados nas últimas 11 safras, logo, sendo cultivados sob condições de manejo agrônomo mais homogêneo.

Progresso Genético para Produtividade de Grãos

A produtividade de grãos é o principal atributo agrônomo buscado na cultura do arroz irrigado e encontra-se altamente relacionado a fatores ambientais e genéticos. Os progressos genéticos obtidos pela atuação do programa de melhoramento genético da Embrapa no Sul do Brasil, através de meta-análise de série histórica e comparação de cultivares, são apresentados na Figura 2 e Tabela 2. No decorrer do período entre 1972 e 2016, verifica-se que o programa

de melhoramento obteve ganhos significativos de produtividade tanto na estimativa via meta-análise quanto pela comparação das cultivares lançadas.

Na estimativa de meta-análise para o período de 1972 a 2016 obteve-se um progresso genético anual de $37,91 \text{ kg ano}^{-1}$ ($p < 0.0001$), representando um progresso médio de 0,62% ao ano em relação ao intercepto inicial de $6142,75 \text{ kg ha}^{-1}$. No entanto, nestes 45 anos o programa de melhoramento passou por três distintas fases históricas que delimitaram mudanças importantes no foco de pesquisa. O primeiro período, foi condicionado pela conhecida revolução verde do arroz, onde ao final da década de 1970 alterações drásticas no processo de seleção genética foram realizadas nos atributos de arquitetura das plantas, como altura de plantas, afilhamento e ângulo das folhas e afilhos. Assim, no período entre 1972 e 1983 não obteve-se ganhos significativos em produtividade, ressaltando-se que houveram muitos desvios em relação à regressão devido à esse período de transição na seleção de plantas. O segundo período entre 1983 a 2000 (referente ao início da obtenção de linhagens elites com plantas de arquitetura moderna, com porte baixo e alta capacidade de afilhamento), os ganhos de produtividade de grãos foram de $96,12 \text{ kg ano}^{-1}$ e 1,54% ao ano em relação ao intercepto de $6239,84 \text{ kg ha}^{-1}$. No último período entre 2000 até o ano de 2016 (intensificação da seleção para atributos de qualidade industrial de grão), o progresso genético foi de $116,31 \text{ kg ano}^{-1}$ equivalente a 1,59% ao ano, com intercepto inicial de $7333,00 \text{ kg ha}^{-1}$.

As estimativas genéticas das 25 cultivares lançadas entre 1972 e 2016 determinou um progresso na produtividade de grãos de $47,78 \text{ kg ano}^{-1}$ em relação ao intercepto inicial de $6555,04 \text{ kg ha}^{-1}$. Este progresso representa um ganho médio de 0,73% ao ano, com intercepto final no ano de 2016 de $8657,20 \text{ kg ha}^{-1}$. A cultivar BRS Pampa lançada em 2011 apresentou o maior potencial genético para produtividade de grãos ($9962,60 \text{ kg ha}^{-1}$) e a BR IRGA 411 com $5481,60 \text{ kg ha}^{-1}$ o menor potencial.

Progresso Genético para Dias Até a Floração

O progresso genético para dias até a floração estimado via meta-análise no período de 1972 à 2016 (Tabela 2 e Figura 3a) indicou uma redução de 0,21 dias por ano ($p < 0,0001$), com redução relativa de -0,21% ao ano. Ao longo do período de avaliação essas alterações resultaram em redução dos 97 dias para atingir 50% de florescimento no ano de 1972 para 88 dias em 2016, representando uma redução geral de 9 dias ao longo dos 45 anos. No entanto, claramente pode-se verificar que mesmo sendo significativo para o período de 45 anos, os dados encontram-se condicionados pelos três períodos do programa de melhoramento. Entre 1972 e 1983 houve um ganho de 0,77 dias por ano equivalente a um aumento médio de 0,81% ao ano (Tabela 2). Em contrapartida, no período de 1983 a 2000 estimou-se uma redução de 0,70 dias ao ano (-0,76% ao ano). Após esse período de redução no ciclo, posteriormente aos anos 2000, verificou-se uma estabilização desse caráter, não obtendo-se ganhos significativos.

Já a estimativa a partir da avaliação das cultivares lançadas, não demonstrou linearidade significativa para a característica avaliada. Este fato ocorre pelo elevado desvio das cultivares em relação à linha de tendência. No entanto, apesar da elevada variação houve uma disposição de plotagem dos pontos com um decréscimo até o ano 2000 e posterior acréscimo até 2016.

Progresso Genético para Estatura de Plantas

A estatura de planta foi um dos atributos mais modificados durante o processo de seleção ao longo dos 45 anos do programa. Na Tabela 2 e Figura 4a, verifica-se que via meta-análise ocorreu um decréscimo de aproximadamente 14 cm ao longo dos 45 anos de melhoramento genético, ou seja, em 1972 a estatura média das plantas foi de 97,52 cm (intercepto inicial) e reduziu-se até 2016 para 83,44 cm (intercepto final). Isso representou

uma redução linear significativa de -0,32 cm por ano (-0,32% ao ano) na estatura de plantas. No entanto, vale ressaltar que nos dois primeiros anos as estaturas de planta média superaram os 120 cm, fato este, muito frequente em anos anteriores ao período inicial de avaliação.

As cultivares lançadas também demonstraram redução linear ao longo do período, com redução de -0,193 cm ao ano, correspondendo a um decréscimo de -0,20% ao ano. Assim, houve um decréscimo do intercepto inicial de 98,79 cm em 1972 para 90,30 cm do intercepto final em 2016.

Características Agronômicas das Cultivares Lançadas

Ao longo do tempo os programas de melhoramento são alterados conforme as demandas que surgem, assim, algumas diferenças genéticas são constatadas intrínsecas a cada cultivar lançada. Deste modo, a Tabela 3 apresenta a variabilidade genética para os principais componentes de rendimento da cultura do arroz irrigado, inerentes às cultivares lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa no Sul do Brasil.

O caráter de espessura do colmo que encontra-se altamente relacionado à susceptibilidade ao acamamento das plantas, variou entre 2,64 mm (cultivar BRS Bojuru) e 4,60 mm (cultivar BRS AG) tendo-se como média geral de 3,41 mm. Verifica-se que a maioria das cultivares lançadas nos últimos anos apresentam espessura do colmo acima de 3,00 mm, que correlacionado com a redução da estatura da planta, conferiu maior tolerância ao acamamento.

Os atributos de comprimento de panícula, massa de panícula e massa de 1000 grãos conjuntamente são considerados alguns dos componentes de produtividade em arroz irrigado. A cultivar lançada com menor comprimento de panícula foi a BRS Bojuru (subespécie *Japonica*). Em contrapartida a BRS Querência destacou-se (oriunda de cruzamentos múltiplos para precocidade e comprimento de panícula) com 30,00 cm de comprimento de panícula.

Esta cultivar, dentre todas lançadas pelo programa da Embrapa, é a que apresenta o maior número de grãos por panícula (acima de 200 grãos panícula⁻¹), sendo caracterizada como a primeira cultivar de panículas compactas e longas lançada pela Embrapa. Além disso, a BRS Querência também teve destaque quanto ao peso de panícula (4,37g), obtendo média inferior apenas comparada a BRS AG que apresentou 6,75g. Ressalta-se que a BRS AG (cultivar lançada para produção de etanol e alimentação animal) evidenciou elevadas dimensões dos grãos, com 7,99 mm, 3,79 mm e 2,63 mm de comprimento, largura e espessura da cariopse, respectivamente. Estas elevadas dimensões também conferem elevada massa de mil grãos (60,20g).

A maioria das cultivares lançadas são da subespécie *indica* apresentando grãos da classe longo-fino, com altos valores na relação entre comprimento e largura da cariopse. No entanto, com foco em alguns nichos do mercado nacional o programa de melhoramento lançou três cultivares da subespécie *japonica* (IAS 12-9 Formosa, BRS Bojuru e BRS 358), com baixa relação comprimento e largura da cariopse.

DISCUSSÃO

O melhoramento genético é um processo muito dispendioso, que demanda muito trabalho e tempo. Logo, o monitoramento de sua eficiência e suas ações técnicas realizadas devem ser continuamente reavaliadas, de modo a, obter resultados futuros satisfatórios para a empresa e aos agricultores que utilizam a ciência e tecnologia gerada.

O estudo avalia o processo de melhoramento genético do arroz irrigado no Sul do Brasil realizado durante um longo período de 45 anos. O uso de duas abordagens distintas é fundamental para obtenção de estimativas genéticas acuradas relativas não apenas às cultivares que estão sendo lançadas, mas também à eficiência de seleção de linhagens elites.

Condicionado aos avanços técnico-científicos obtidos pela ciência para a cultura, o programa de melhoramento passou por três distintas fases de transição ao longo de quase metade de século, sendo: I) Período entre 1972 a 1983, anterior à revolução verde do arroz; II) Período entre 1983 e 2000, posterior à revolução verde do arroz; III) Período posterior ao ano 2000, pela intensificação da seleção para atributos de qualidade industrial dos grãos.

O impacto de maior relevância na cultura do arroz irrigado na região Sul do Brasil segundo fontes de pesquisa foi a denominada revolução verde do arroz. Segundo Streck et al. (2017) a substituição de genótipos de arquitetura tradicional (porte mais alto e com poucos afilhos) por cultivares de porte baixo, altamente perfilhadoras, com folhas curtas e eretas, foram as mudanças de elevado impacto no potencial de produção da cultura do arroz irrigado no Sul do Brasil. Este incremento ocorreu principalmente com os lançamentos das cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410 no final da década de 1970 e início da década de 1980 pela Embrapa em conjunto com o Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA).

Definitivamente, em nível global, o recurso genético mais importante em arroz irrigado foi a utilização do gene semi-anão *sd1*. Sendo que, a maioria das cultivares da subespécie Indica amplamente utilizados atualmente na produção de arroz, foram derivadas de variedades semi-anãs, controladas pelo gene *sd1* ou seus alelos (Jiang et al., 2007).

Os incrementos de produtividade de grãos obtidos no estudo podem ser considerados altamente satisfatórios, quando consideramos que se trata de um longo período de tempo em análise. O progresso genético foi de 37,91 kg ano⁻¹ (0,62% ao ano) obtido para o período de 1972 à 2016 por meta-análise em arroz irrigado, sendo superior ao obtido por Rangel et al. (2000) que verificaram um ganho de 18 kg ano⁻¹ (0,30% ao ano) na região meio-norte do Brasil. Breseghello et al. (1999) encontraram estimativas superiores com aproximadamente 54,9 kg ano⁻¹ (0,80% ao ano), mas no contexto do período entre 1984 e 1993.

No período de 1972 a 1983 verificou-se que não obteve-se ganhos significativos, muito em decorrência do processo de transições no programa de melhoramento, acarretando em discrepâncias das médias anuais. Para o período entre 1983 a 2000 o progresso de 1,54% demonstra o alto impacto das mudanças no programa de melhoramento, com aumento da pressão de seleção para redução da estatura e do ciclo cultural das plantas. Contrastando com a teoria de que após o ano 2000 a cultura do arroz encontra-se em um platô de produtividade, o progresso verificado neste trabalho foi de $116,31 \text{ kg ano}^{-1}$ (1,59% ao ano), superior a ganhos anteriores, corroborando com o estudo de Breseghello et al. (2011) que verificaram um ganho de 45.0 kg ano^{-1} (1,44% ao ano) em arroz de sequeiro.

O progresso genético obtido pela abordagem de comparação das cultivares lançadas, estimou um ganho de $47,78 \text{ kg ano}^{-1}$, equivalente ao ganho relativo anual de 0,73% ao ano, superior ao obtido pelo método de meta-análise. Tabien et al. (2008) verificaram ganhos genéticos de $42,20 \text{ kg ano}^{-1}$ (alta adubação nitrogenada) e $26,30 \text{ kg ano}^{-1}$ (baixa adubação nitrogenada). Peng et al. (2000) obtiveram ganho anual de 75 a 80 kg ano^{-1} (1% ao ano).

Para o caráter dias até a floração verificou-se via meta-análise que houve uma tendência significativa de redução de $-0,21 \text{ dias ano}^{-1}$ (0,21% ao ano) entre 1972 e 2016. No entanto, verificou-se que existem variações significativas para os distintos períodos do programa, principalmente na abordagem via comparação de cultivares, não havendo existência de redução significativa. É conveniente a utilização de cultivares de ciclos distintos na lavoura, visando escalonamento de colheita, menor vulnerabilidade a possíveis estresses ambientais, uso racional de insumos, entre outros fatores. Neste sentido, o programa de melhoramento genético de arroz irrigado da Embrapa, tem como premissa o desenvolvimento de cultivares com diferentes ciclos de maturação, o que pode ser observado pela pouca variação deste caráter ao longo dos anos avaliados. Também foi possível quebrar o paradigma de que cultivares de ciclos mais longos (acima de 130 dias da emergência à maturação) são mais

produtivas. Neste estudo, fica evidenciado que a cultivar BRS Pampa (ciclo precoce de 118 dias) é mais produtiva que algumas cultivares de ciclo médio mais antigas como BR IRGA 409.

A estatura de plantas foi reduzida significativamente em $-0,32$ e $-0,21$ cm ano⁻¹ pelos métodos de meta-análise e comparação de cultivares lançadas, respectivamente. Evidenciando a transformação na arquitetura das plantas, muito citada na literatura. A redução na estatura de plantas afeta diretamente no índice de colheita do arroz. Assim, as plantas tem menores gastos na produção de biomassa vegetativa, deslocando seus carboidratos para os drenos produtivos. Outro aspecto positivo da redução da estatura de plantas refere-se ao acamamento. As cultivares demonstraram grande variabilidade genética para os sete atributos agronômicos da Tabela 3, que são fatores mais fundamentais na escolha de genótipos promissores para futuros lançamentos de cultivares, principalmente por estarem diretamente relacionadas à produtividade de grãos. Estudos recentes demonstram que, um novo ideótipo hipotético encontra-se em desenvolvimento para alavancar os potenciais produtivos da cultura. Este novo modelo de planta, apresenta poucos afilhos, mas com caules mais robustos e, panículas compactas e maiores, com mais de 200 espiguetas. (Peng et al., 1994; Cheng et al., 2007). Assim, estes traços combinados, poderiam resultar em incrementos no índice de colheita e produtividade. Neste sentido, a cultivar BRS Querência é a que mais aproxima-se deste padrão, por apresentar elevado tamanho de panículas com alta densidade de espiguetas por panícula.

Estratégias de Seleção e Fases do Programa de Melhoramento

A fase entre 1972 e 1983 foi um período de intenso processo de seleção de variedades locais e introdução de genótipos com grande variabilidade genética, não havendo um ideótipo fixo para seleção, condicionando a um elevado número de linhagens testadas, no entanto, não

acarretando em progressos genéticos para produtividade de grãos significativos. Neste período, foram realizados poucos cruzamentos, originando uma menor população de plantas avaliadas e, conseqüentemente, uma baixa pressão de seleção para os atributos agrônômicos. Os genótipos em sua maioria apresentavam estaturas elevadas e ciclo tardio, de baixo perfilhamento e muito suscetíveis ao acamamento. Além disso, os genótipos eram desenvolvidos para um emprego de baixo nível tecnológico. Fase entre 1983 e 2000 foi altamente influenciada pela introdução de linhagens do CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) e dos Estados Unidos. A seleção principalmente baseada no método genealógico, teve como foco a obtenção de um ideotipo de planta mais baixa (semi-anã), com maior perfilhamento maior capacidade produtiva e competitiva com plantas daninhas, tolerância a fatores bióticos e melhoria na qualidade dos grãos. Esse aprimoramento nas técnicas de seleção via melhoramento convencional, direcionou um aumento no número de cruzamentos efetuados e pressão de seleção para os atributos agrônômicos favoráveis.

Neste período, as cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410 lançadas em 1979 e 1980, respectivamente, pelo programa da Embrapa em parceria com o Instituto Rio Grandense do Arroz, foram amplamente cultivadas no Sul do Brasil durante a década de 1980, acarretando em elevados impactos positivos na cadeia produtiva do cereal no Brasil. Este período pode ser considerado como a "revolução verde" do arroz no RS. A década de 1990, a cultivar BRS 7 'Taim', lançada em 1991, disseminou-se em grande escala principalmente na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul e Argentina, apresentando grande adaptação de cultivo na região, adequando-se ao cultivo em escalas maiores com alta produtividade.

Na fase entre 2000 a 2016 teve-se grande ênfase na qualidade dos grãos, muito em decorrência da exigência da indústria por padrões de grãos nobres e do aumento do poder aquisitivo do consumidor buscando grãos do tipo longo-fino, macios e desagregados após o processo de cocção. Esse avanço do melhoramento genético para qualidade de grãos do arroz

irrigado tem sido evidenciado principalmente pelo lançamento das cultivares BRS Pampa (cultivar considerada de referência na qualidade de grão) e BRS Pampeira que segundo Magalhães Júnior et al. (2017), é uma cultivar de elevada produtividade e ótima qualidade culinária.

Além da qualidade dos grãos, nesta etapa buscou-se aprimorar o melhoramento genético para os caracteres quantitativos, para o aumento da probabilidade de seleção de genótipos com maior número de alelos favoráveis, conjuntamente com a tolerância a fatores bióticos e abióticos. Assim, com a intensificação de aprimoramentos na seleção genealógica e uso de métodos populacionais, obteve-se altos progressos genéticos para produtividade, com cultivares mais adaptadas e adequadas aos novos sistemas de cultivo de maior nível tecnológico.

Esses ganhos significativos atuais do programa de melhoramento, advém de intenso trabalho de avaliações de um grande número de plantas, derivadas de um grande número de cruzamentos para se aumentar as chances de obtenção de genótipos superiores. Para isso, tem-se uma maior necessidade de investimentos em procedimentos de manuseio de sementes, semeadura, avaliação e colheita, quando comparado com períodos anteriores.

Neste último período de avaliação do progresso genético foi intensificado o uso de métodos não convencionais para espécies autógamas como é o caso do arroz. Em melhoramento de arroz, tem predominado o ponto de vista de que ação direta em melhoramento para produção de grãos resulta em frustração e a estratégia correta seria a de focar nos fatores que limitam o rendimento (JENNINGS, 1979), ou seja, praticar a seleção indireta.

Essa abordagem, usando geralmente o método genealógico, não tem sido efetiva para a obtenção de acentuados ganhos genéticos em arroz irrigado, em que as populações de trabalho

já chegaram a um elevado nível de melhoramento, ou seja, estão numa situação de média alta e variação genética menos abundante.

Atualmente, a maioria dos programas de melhoramento de arroz irrigado se divide entre os que admitem a impossibilidade de ganhos adicionais em produção de grãos e os que estão buscando formas alternativas de consegui-lo. A estratégia de busca de maior potencial produtivo do arroz, tanto irrigado como de terras altas, utilizada pela Embrapa tem, por outro lado, características próprias. Vem exercitando, com êxito, a estratégia de avaliação precoce de famílias segregantes, seguida de recombinação das selecionadas pelo melhor desempenho em relação à produção de grãos e outras características de interesse, antes de estágios avançados de endogamia. Essa estratégia, seleção recorrente típica, vem sendo empregada tanto no sistema irrigado quanto de terras altas. Em arroz irrigado, a despeito da elevada média geral, Moraes Júnior et al. (2015) obtiveram estimativas consistentes de 1,54% ao ano, durante quatro ciclos de seleção recorrente.

Técnicas mais aprimoradas também tem sido utilizadas para aumento das chances de obtenção de genótipos superiores geneticamente e redução dos efeitos restritivos ao potencial genético, como a intensificação no uso de ferramentas de biotecnologia (seleção assistida por marcadores) e fisiologia vegetal. Além disso, tem sido utilizado o método do retrocruzamento para transferência de alelos de tolerância a herbicidas do grupo químico das imidazolinonas (sistema Clearfield), sendo alternativa para o controle seletivo de invasoras como o arroz-vermelho.

Comparação das Metodologias de Estimativa do Progresso Genético em Programas de Melhoramento

Diversas metodologias de estimativas do progresso genético de programas de melhoramento genético vegetal tem sido utilizadas. As duas principais abordagens utilizadas

atualmente são a comparação de cultivares lançadas ao longo do período, comparando-se cultivares lançadas recentemente com as antigas e meta-análise de séries históricas de ensaios de rendimento (Breseghello et al., 2011).

Este trabalho realizou as análises com estas duas metodologias mais utilizadas pelos programas de melhoramento. Para os dois métodos, obtiveram-se estimativas do progresso genético altamente acuradas, devido ao grande número de experimentos referentes ao número de locais e anos de avaliação. Assim, as médias genotípicas foram altamente minimizadas de qualquer efeito de ordem ambiental.

A realização de ensaios comparativos de cultivares antigas com as atuais em um mesmo ambiente teve como vantagem principal a maior facilidade de exclusão dos efeitos de ordem ambiental, uma vez que os genótipos são avaliados sob condições de manejo agrônomo homogêneo. Além disso, nesta abordagem são consideradas apenas as estimativas com base nas constituições genéticas superiores referentes às cultivares que foram liberadas para o cultivo na agricultura. Assim, como os lançamentos das cultivares apenas ocorrem se forem superiores às testemunhas mais antigas em algum atributo, pode explicar as estimativas mais expressivas do progresso genético para produtividade de grãos obtido pelo método em relação ao de meta-análise neste presente estudo.

No entanto, a acurácia das estimativas genéticas neste modelo dependem muito do número de cultivares lançadas e o número de ambientes avaliados (locais x anos de avaliação), ou seja, quanto maior o número de ambientes avaliados maior será a acurácia dos valores genotípicos de cada cultivar. Assim, para obtenção de estimativas acuradas neste modelo, tem-se aumento dos custos de instalação, manutenção e de mão-de-obra para condução dos experimentos. Além disso, muitas vezes algumas das cultivares desenvolvidas durante um determinado período pode não estar mais disponível.

A metodologia de meta-análise de série histórica de ensaios comparativos de rendimento, baseada na estimativa do progresso genético de um grupo de linhagens elites de um determinado ano em relação ao grupo de linhagens utilizadas no ano anterior. Assim, obtém-se estimativas referentes a todas as linhagens lançadas ou não como cultivar. Logo, tem-se um parâmetro de avaliação mais amplo das relações do progresso genético com o foco de pesquisa e métodos de seleção do programa de melhoramento.

Uma desvantagem de usar dados históricos durante um período tão longo (45 anos) é a variação nas condições climáticas sob as quais as linhagens foram avaliadas pela primeira vez, especialmente pela variação na temperatura noturna, fato esse, que pode ser evitado usando a comparação de todos os 25 genótipos em um mesmo ambiente (Peng et al., 2004). Mesmo sendo fortemente influenciada pelas variações nos efeitos de ordem ambiental ao longo do tempo de cultivo, esse efeito pode ser minimizado pela utilização de cultivares testemunhas e linhagens que se repetem de um ano para outro.

Além disso, um grande conjunto de dados permite uma melhor amostragem da variação ambiental na população alvo de ambientes, tanto no tempo e no espaço (Breseghello et al., 2011).

Esta abordagem aplica o método de quadrados mínimos generalizados para o cálculo da estimativa ponderada do ganho genético médio para o período correspondente, assim permitindo uma anulação das interações genótipos x ambientes e genótipos x experimentos/ano, resultando em estimativas mais acuradas (Breseghello et al., 1998).

Breseghello et al. (1998) concluíram que a metodologia das médias ajustadas provou ser mais versátil para obter estimativas de ganho genético baseado na série de dados de ensaios, dispensando controles padrão e permitindo o uso de dados desbalanceados.

Como todo ano o programa de melhoramento realiza ensaios comparativos das linhagens para futuros lançamentos, não teve-se custo de instalação e mão-de-obra para a

obtenção destas estimativas. No entanto, vale ressaltar que é um método que demanda elevado controle na organização das planilhas de dados para aplicação estatística de obtenção das médias ajustadas pelas matrizes de variâncias e covariâncias.

De modo geral, verificou-se que a estimativa genética via meta-análise de séries históricas deve ser utilizada quando se espera obter informações específicas do modo de condução do programa e transições do processo de melhoramento. Assim representando melhor a análise crítica da eficiência do programa, de modo a, planejar novas ações e estratégias para o desenvolvimento e liberação de novas cultivares.

Em contrapartida, se o objetivo é estimar a contribuição efetiva do programa de melhoramento genético para a cultura em determinado período, a abordagem via comparação de cultivares deve ser priorizada. Pois fornece os parâmetros genéticos na unidade temporal inerentes apenas às cultivares liberadas para o cultivo.

CONCLUSÃO

O programa de melhoramento genético de arroz irrigado da Embrapa no Sul do Brasil resultou em incrementos significativos na produtividade de grãos, redução no ciclo cultural até a floração e redução na estatura de plantas no período de 1972 à 2016.

Durante o período, mudanças nas estratégias de seleção definiram distintas fases do programa de melhoramento no Sul do Brasil, promovendo mudanças na arquitetura das plantas e atributos agronômicos do arroz irrigado.

Existem diferenças nas estimativas do progresso genético de um programa de melhoramento via meta-análise de séries históricas e avaliação das cultivares lançadas ao longo do período. A metodologia via meta-análise deve ser utilizada quando se espera obter informações específicas do modo de condução do programa e transições do processo de melhoramento. Já

quando é necessária a estimativa da contribuição efetiva do programa de melhoramento genético para a cultura a metodologia de comparação de cultivares deve ser preconizada.

Agradecimentos

À Embrapa e a todos os assistentes de pesquisa e trabalhadores do campo pelo aporte técnico e científico para obtenção dos dados experimentais utilizados neste estudo. Agradecimento especial ao Dr. Orlando Peixoto de Moraes (in memoriam) por toda sua contribuição no melhoramento genético do arroz no Brasil e para a realização deste trabalho. À CAPES, CNPq e FAPERGS pelo aporte de bolsas de estudo para os autores.

Referências

- Alves, E.R. 2010. Embrapa: um caso bem-sucedido de inovação institucional. (In Portuguese) J. Agric. Pol. 19: 65-73.
- Breseghello, F., O.P. Moraes, and P.H.N. Rangel. 1998. A new method to estimate genetic gain in annual crops. Genet. Mol. Biol. 21:551–555.
- Breseghello, F., O.P. Moraes, P.V. Pinheiro, A.C.S. Silva, E.M. Castro, E.P. Guimarães, A.P. Castro, J.A. Pereira, A.M. Lopes, M.M. Utumi and J.P. Oliveira. 2011. Results of 25 years of upland rice breeding in Brazil. Crop Sci. 51:914-923.
- Breseghello, F., P.H.N. Rangel, and O.P. Moraes. 1999. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no nordeste do Brasil. (In Portuguese, with English abstract.) Bras. J. Agric. Res. 34:399–407.
- Cargnin, A., M.A. Souza, and V. Fronza. 2008. Progress in breeding of irrigated wheat for the Cerrado region of Brazil. Crop Breed. Appl. Biotechnol. 8:39–46.

- Cheng, S., L. Cao, J. Zhuang, S. Chen, X. Zhan, Y. Fan, D. Zhu and S. Min. 2007. Super hybrid rice breeding in China: achievements and prospects. *J. Integr. Plant Biol.* 49:805–810.
- Chiorato, A.F., S.A.M. Carbonell, R. Vencovsky, N.S. Fonseca Júnior and J.B. Pinheiro. 2010. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 10:329-336.
- CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Séries históricas: Arroz. <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>. (accessed on June 21, 2016).
- CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. Acompanhamento de safra: Grãos. http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_boletim_graos_abr_2017.pdf. (accessed on May 05, 2017).
- De La Vega, A.J., I.H. Delacy, and S.C. Chapman. 2007. Progress over 20 years of sunflower breeding in central Argentina. *Field Crops Res.* 100:61–72.
- De Vita, P., O.L.D. Nicosia, F. Nigro, C. Platani, C. Riefolo, N. Di Fonzo, and L. Cattivelli. 2007. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *Eur. J. Agron.* 26:39–53.
- Jennings, P.R., W. R. Coffman and H.E. Kauffman. 1979. Rice improvement. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Jiang, H., L.B. Guo and Q. Qian. 2007. Recent Progress on Rice Genetics in China. *J. Integr. Plant Biol.* 49: 776–790.
- Lopes, M.A., F.G. Faleiro, M.E. Ferreira, D.B. Lopes, R. Vivian and L.S. Boiteux. 2012. Embrapa's contribution to the development of new plant varieties and their impact on Brazilian agriculture. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* S2:31-46.

- Magalhães Júnior A.M., O.P. Moraes, P.R.R. Fagundes, J.M. Colombari, D.F. Franco, A.C.C. Cordeiro, J.A. Pereira, P.H.N. Rangel, F. Moura Neto, E.A. Streck, G.A. Aguiar, P.H.K. Facchinello. 2017. BRS Pampeira: new irrigated rice cultivar with high yield potential. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 16(4):78-83.
- Mason, S.C., D. Kathol, K.M. Eskridge, and T.D. Galusha. 2008. Yield increase has been more rapid for maize than for grain sorghum. *Crop Sci.* 48:1560–1568.
- Morais Júnior, O.P. de, P.G.S. Melo, O.P. de Moraes, A.P. de Castro, F. Breseghello, M.M. Utumi, J.A. Pereira, F. J. Wruck and J.M. Colombari Filho. 2015. Genetic progress after cycles of upland rice recurrent selection. *Sci. Agric.* 72(4): 297-305.
- Peng, S., G.S. Khush and K.G. Cassman. 1994. Evaluation of a new plant ideotype for increased yield potential. p. 5–20. *In* Cassman, K.G. Breaking the yield barrier: Proceedings of a workshop on rice yield potential in favourable environments. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
- Peng, S., J. Huang, J.E. Sheehy, R.C. Laza, R.M. Visperas, X. Zhong, G.S. Centeno, G.S. Khush, and K.G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *PNAS.* 101(27): 9971-9975.
- Peng, S., R.C. Laza, R.M. Visperas, A.L. Sanico, K.G. Cassman, and G.S. Khush. 2000. Grain yield of rice cultivars and line developed in the Philippines since 1966. *Crop Sci.* 40:307–314.
- Rangel, P.H.N., J.A. Pereira, O.P. Moraes, E.P. Guimarães, and T. Yokokura. 2000. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. (In Portuguese, with English abstract.) *Bras. J. Agric. Res.* 35:1595–1604.
- SAS Institute Inc. 2014. SAS® 9.4 Language Reference: Concepts, Third Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.

- Soares, A.A., P.G. Santos, O.P. Moraes, P.C. Soares, M.S. Reis, and M.A. Souza. 1999. Progresso genético obtido pelo melhoramento do arroz de sequeiro em 21 anos de pesquisa em Minas Gerais. (In Portuguese, with English abstract.) *Bras. J. Agric. Res.* 34:415–424.
- Streck, E.A., G.A. Aguiar, A.M. Magalhães Júnior, P.H.K. Facchinello and A.C. Oliveira. 2017. Variabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado via análise multivariada. (In Portuguese, with English abstract.) *J. Agron. Sci.* 48(1):101-109.
- Tabien, R.E., S.O.P.B. Samonte, and A.M. McClung. 2008. Forty-eight years of rice improvement in Texas since the release of cultivar Bluebonnet in 1944. *Crop Sci.* 48:2097–2106.
- Zhou, Y., H.Z. Zhu, S.B. Cai, Z.H. He, X.K. Zhang, X.C. Xia, and G.S. Zhang. 2007. Genetic improvement of grain yield and associated traits in the southern China winter wheat region: 1949 to 2000. *Euphytica* 157:465–473.

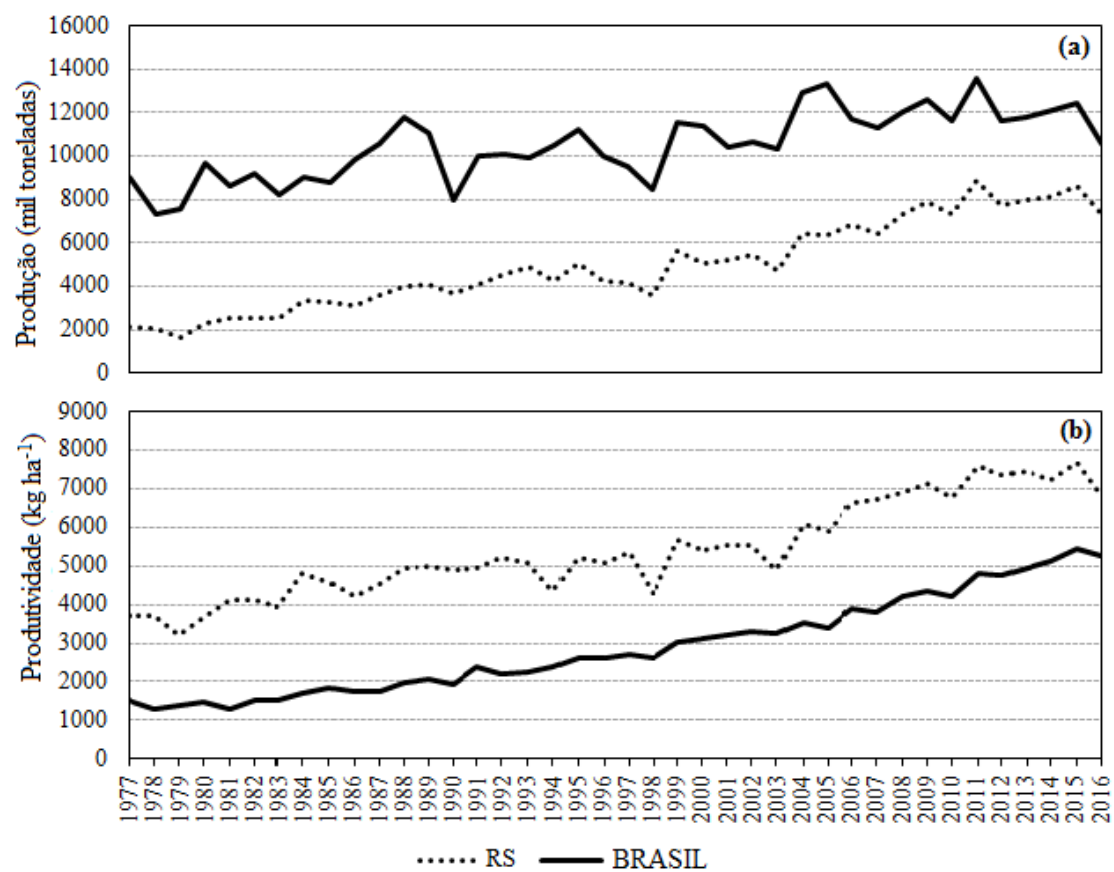


Figura 1. Evolução da (a) produção e (b) produtividade de grãos de arroz no Brasil e no estado do Rio Grande do Sul (RS). Fonte: Conab, 2016.

Tabela 1. Estimativas dos componentes de variância para fatores aleatórios do modelo misto através da meta-análise de dados históricos e cultivares lançadas em ensaios de campo.

Fator aleatório	Número de colunas em Z[†]	Produtividade	Dias até a floração	Estatura
Meta-análise				
Ano	45	841181	22,4549	51,1068
Local (ano)	145	2041211	35,3171	38,4604
Bloco (ano*local)	580	50723	0,9692	1,4286
Linhagem (grupo)	455	419091	70,4463	58,4637
Residual	1224	1110616	15,7107	20,518
Comparação de cultivares				
Cultivar	25	2044248,3900	73,342	46,3633
Cultivar (ano)	168	15158,7357	3,2905	3,3192
Cultivar (local)	104	330031,064	0,7238	0,6511
Cultivar (local*ano)	235	769074,936	11,3404	5,0534
Residual	527	1070370,54	10,7681	17,4378

[†]Z, matriz dos fatores aleatórios.

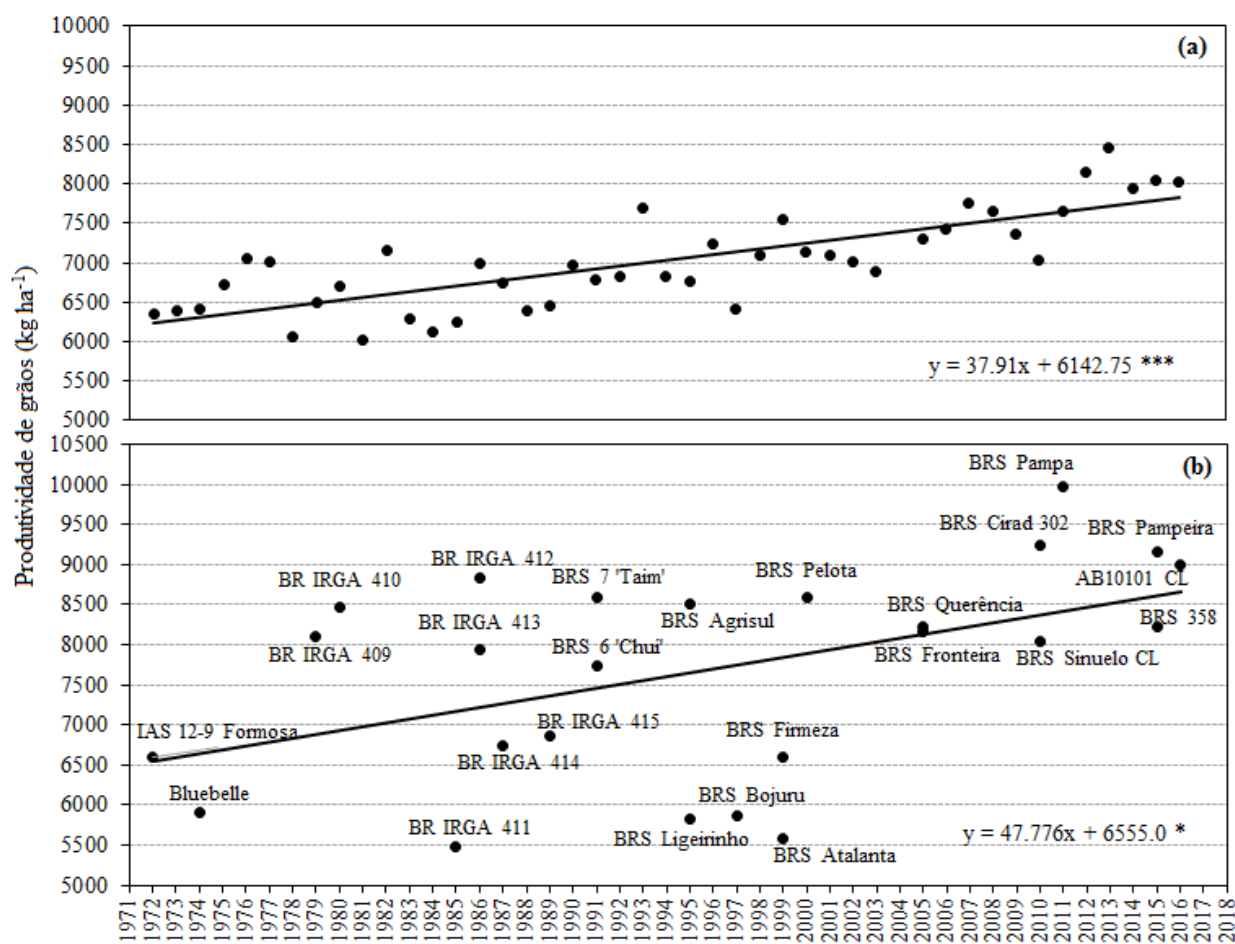


Figura 2. Progresso genético para produtividade de grãos através da regressão linear generalizada via (a) meta-análise de dados históricos e (b) cultivares lançadas em ensaios de campo no período de 1972 a 2016. *, significativo no nível de 5% probabilidade; ***, significativo no nível de 1% probabilidade.

Tabela 2. Estimativas dos parâmetros da regressão linear generalizada para produtividade de grãos, dias até a floração e estatura da plantas por meta-análise de dados históricos e análise comparativa de cultivares lançadas em ensaios de campo no período de 1972 a 2016.

Parâmetros	Meta-análise											
	Produtividade (kg ha ⁻¹)				Dias até a floração				Estatura (cm)			
	1972-2016	1972-1983	1983-2000	2000-2016	1972-2016	1972-1983	1983-2000	2000-2016	1972-2016	1972-1983	1983-2000	2000-2016
Intercepto	6142,75	6657,20	6239,84	7333,24	96,71	95,59	92,52	88,86	97,52	104,80	91,34	97,82
Ganho ano⁻¹)	37,91 ***	12,43 NS†	96,12 ***	116,31 ***	-0,21 ***	0,77 **	-0,70 **	0,13 NS†	-0,32 ***	-1,28 **	-0,10 NS†	-0,30 *
Teste t	8,82	0,53	5,66	4,98	-5,99	3,92	-3,18	0,87	-9,54	-4,06	-0,722	-2,83
Probabilidade	<0,0001	0,3041	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0014	0,0061	0,1999	<0,0001	0,0018	0,2979	0,0125
Ganho relativo	0,62%	-	1,54%	1,59%	-0,21%	0,81%	-0,76%	-	-0,32%	-1,22%	-	-0,31%
	Comparação de cultivares											
	Produtividade (kg ha ⁻¹)				Dias até a floração				Estatura (cm)			
	1972-2016				1972-2016				1972-2016			
Intercepto	6555,04				89				99,23			
Ganho ano⁻¹)	47,78*				-0,052 NS†				-0,193*			
Teste t	2,62				-0,46				-2,23			
Probabilidade	0,0145				0,6506				0,0341			
Ganho relativo	0,73%				-				-0,20%			

*Significativo a $\alpha = 0,05$ pelo teste t.

** Significativo a $\alpha = 0,01$ pelo teste t.

*** Significativo a $\alpha = 0,001$ pelo teste t.

†NS, não significativo.

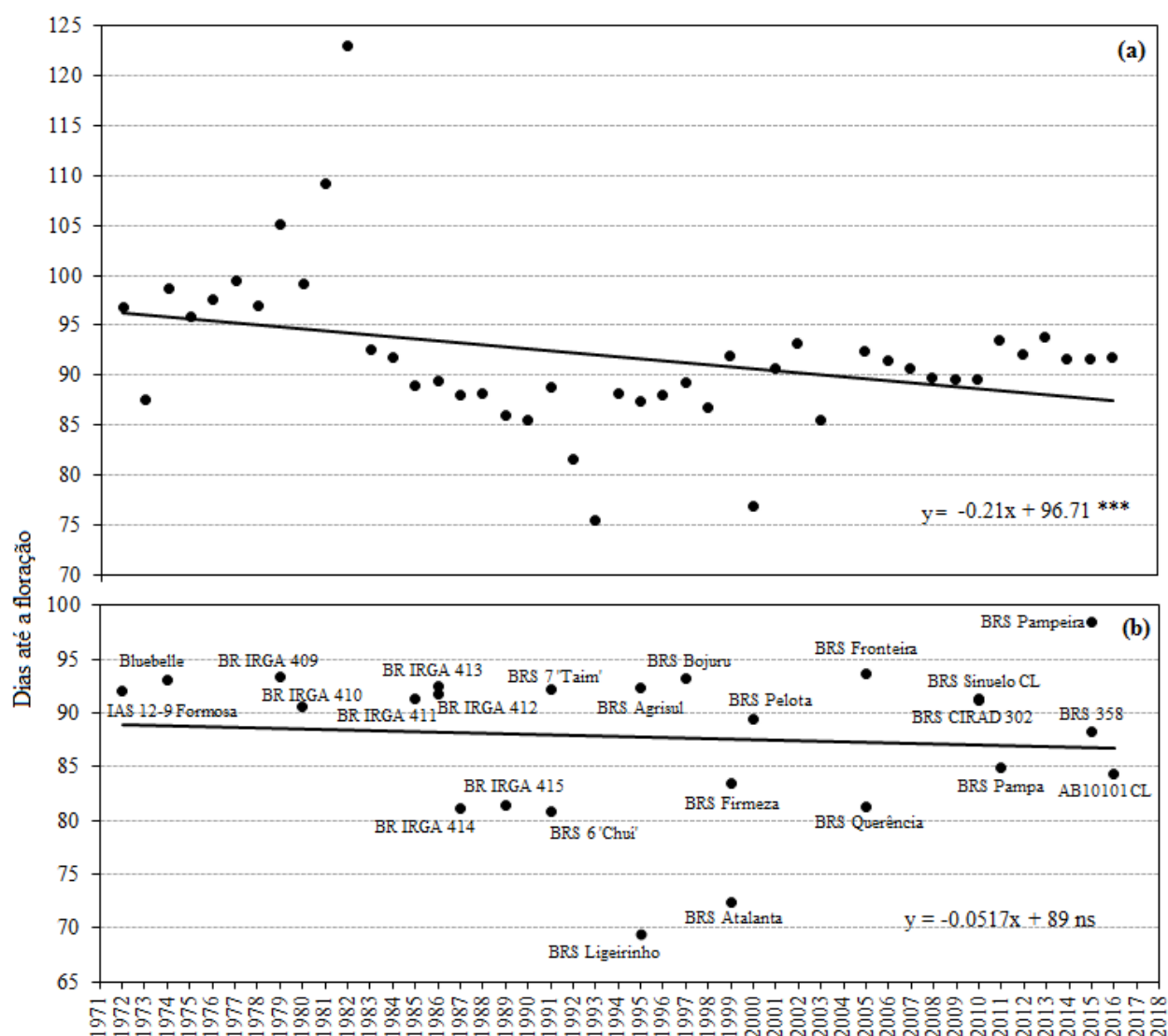


Figura 3. Progresso genético para dias até a floração via regressão linear generalizada por (a) meta-análise de séries históricas e (b) comparação de cultivares lançadas em ensaios de campo no período de 1972 a 2016. ***, significativo no nível de probabilidade de 0,001; Ns, não significativo.

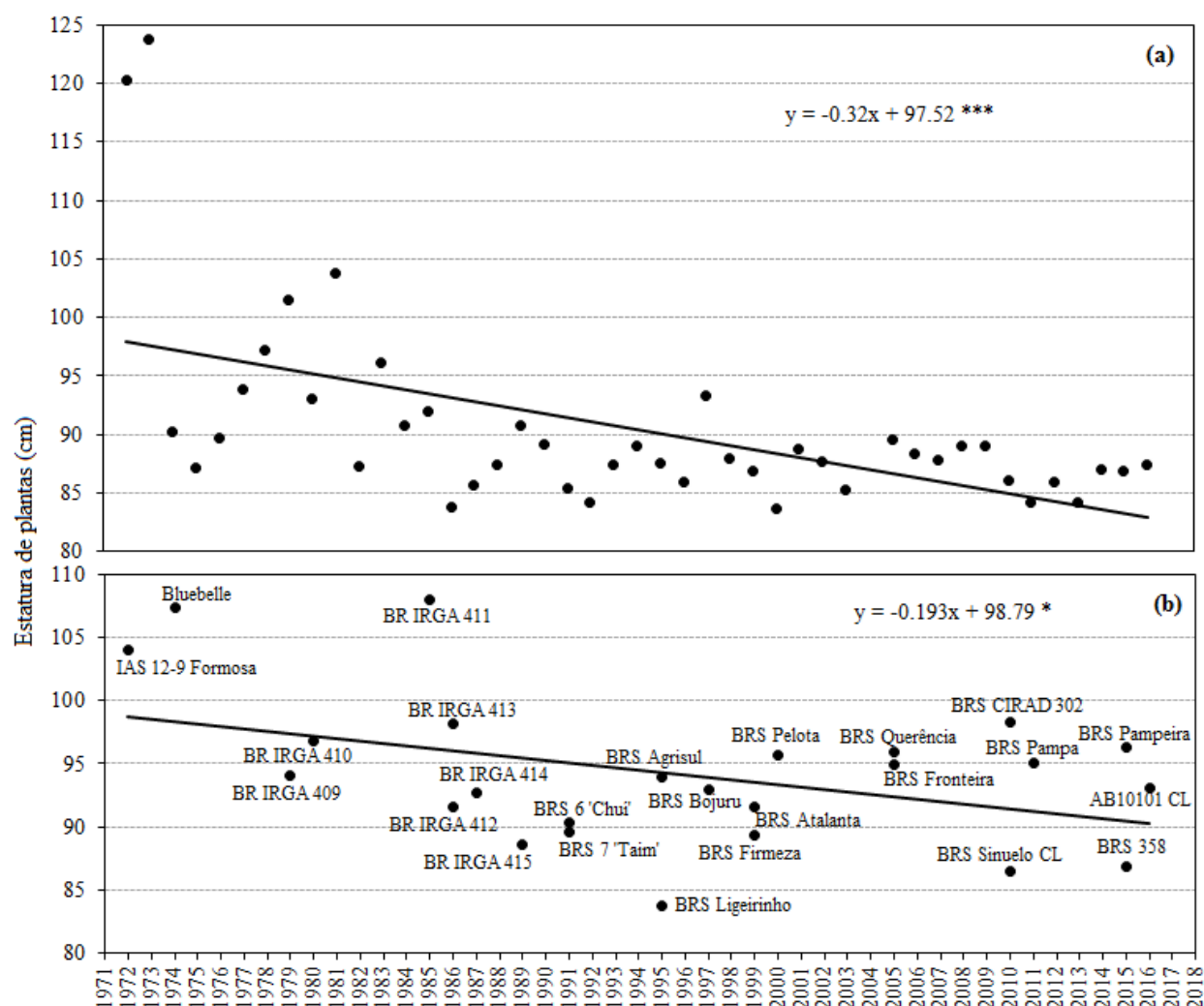


Figura 4. Progresso genético para estatura de plantas via regressão linear generalizada por (a) meta-análise de séries históricas e (b) comparação de cultivares lançadas em ensaios de campo no período de 1972 a 2016. *, significativo no nível de probabilidade de 0,05; ***, significativo no nível de probabilidade de 0.001.

Tabela 3. Características agronômicas das cultivares de arroz irrigado lançadas no período de 1972 a 2016.

Cultivar	Ano Lançamento	Espessura do colmo (mm)	Comprimento de panícula (cm)	Peso de panícula (g)	Comprimento do grão (mm)	Largura do grão (mm)	Espessura do grão (mm)	Massa de 1000 grãos (g)
IAS 12-9 Formosa	1972	2,84	20,35	3,23	4,82	2,93	2,07	29,35
BR-IRGA 409	1979	3,08	24,50	3,86	6,86	2,11	1,83	26,80
BR-IRGA 410	1980	3,62	26,55	3,22	7,57	2,15	1,94	29,25
BR-IRGA 411	1985	4,42	21,90	4,44	7,96	2,45	1,98	35,50
BR-IRGA 412	1986	3,02	23,60	3,30	6,95	2,12	1,83	29,00
BR-IRGA 413	1986	3,84	25,05	3,06	6,20	2,31	1,85	27,45
BR-IRGA 414	1987	3,46	22,75	3,49	7,04	2,34	1,90	29,20
BRS 6 “Chuí”	1991	3,26	24,55	3,19	6,54	2,11	1,72	23,90
BRS 7 “Taim”	1991	3,34	23,30	3,39	6,98	2,14	1,82	28,40
BRS Ligeirinho	1995	2,74	20,35	3,33	6,42	2,19	1,78	25,35
BRS Agrisul	1995	3,73	26,05	3,80	7,33	2,01	1,71	25,85
BRS Bojuru	1997	2,64	19,75	2,49	5,23	2,91	2,07	29,50
BRS Atalanta	1999	3,72	24,20	2,30	7,41	2,00	1,77	25,75
BRS Firmeza	1999	3,27	21,35	4,28	7,38	2,30	1,84	29,00
BRS Pelota	2000	3,43	25,60	3,84	7,15	2,10	1,88	28,25
BRS SCS 113 Tio Taka	2004	3,36	22,10	2,36	7,11	2,18	1,79	28,05
BRS Fronteira	2005	3,71	26,30	3,62	7,27	2,24	1,87	30,20
BRS Querência	2005	3,35	30,00	4,37	7,56	2,07	1,82	27,00
BRS Sinuelo CL	2010	3,17	20,50	3,27	7,17	2,18	1,81	29,25
BRS CIRAD 302	2010	3,41	25,25	3,49	7,12	2,14	1,75	26,05
BRS Pampa	2011	3,14	25,35	3,71	7,15	2,07	1,80	26,45
BRS AG	2014	4,60	23,15	6,76	7,99	3,79	2,63	60,20
BRS 358	2015	3,12	22,75	3,03	5,19	2,62	1,89	22,65
BRS Pampeira	2016	3,62	26,30	3,83	7,71	2,17	1,83	29,40
Média	-	3,41	23,81	3,57	6,92	2,32	1,88	29,62
DMS (0,05)		0,32	1,31	0,61	0,25	0,07	0,07	3,25
CV (%)	-	10,68	6,26	19,26	4,13	3,47	3,77	6,13

**5 Artigo 2: Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de arroz irrigado
lançadas para a região subtropical do Brasil**

(Artigo Submetido e Revisado Segundo Normas da Revista Pesquisa Agropecuária
Brasileira)

Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de arroz irrigado lançadas para a região subtropical do Brasil

Resumo – O objetivo deste trabalho foi estimar o potencial genotípico e os efeitos da interação genótipos x ambientes de cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 e 2017 para o Rio Grande do Sul. Os ensaios foram conduzidos a campo em todas as regiões agroclimáticas de cultivo de arroz irrigado do estado do Rio Grande do Sul, entre os anos agrícolas de 2005/06 e 2015/16, totalizando 60 ambientes, com 1961 unidades experimentais. Foram avaliadas 25 cultivares de arroz irrigado quanto aos caracteres produtividade de grãos, altura de plantas, dias para o florescimento e rendimento de grãos inteiros após o beneficiamento. Os valores de adaptabilidade e estabilidade foram estimadas com auxílio da abordagem de modelos mistos. As cultivares BRS Pampa, BRS Pampeira e BRSCIRAD 302 apresentaram, simultaneamente, alta produtividade genotípica de grãos, adaptabilidade, estabilidade e bons atributos agronômicos e bom rendimento de grãos inteiros após o beneficiamento. As cultivares BRSCIRAD 302 e BRS Pampa apresentam alta estabilidade produtiva, sendo indicada para cultivo em todas as regiões orizícolas do Rio Grande do Sul. Em contrapartida, a cultivar BRS Pampeira é altamente responsiva às melhorias do ambiente, sendo indicada para condições de alta tecnologia.

Termos para indexação: *Oryza sativa* L., interação genótipos x ambientes, modelos mistos, zoneamento de cultivares, melhoramento genético.

Adaptability and stability of irrigated rice cultivars released to the subtropical region of Brazil

Abstract – The objective of this study was to estimate the genotypic potential and the effects of genotypes x environments interaction in the irrigated rice cultivars released between 1972 and 2017 for the Rio Grande do Sul. The trials were carried out in the field in all agroclimatic regions of irrigated rice cultivation at Rio Grande do Sul State, between 2005/2006 and 2015/2016 year crops, totaling 60 trials, with 1961 experimental units. Twenty - five cultivars of irrigated rice were evaluated for characteristics of grain yield, height of plants, days to flowering and milling quality of grains after processing. The values of adaptability and stability were estimated with the aid of the mixed linear models. The BRS Pampa, BRS Pampeira and BRSCIRAD 302 have both high yield genotypic grain, adaptability, stability, with good agronomic traits and whole grains after processing. The cultivars BRSCIRAD 302 and BRS Pampa showed high yield stability, being indicated for cultivation in all rice regions of Rio Grande do Sul. On the other hand, a BRS Pampeira cultivar is highly responsive to environmental improvements, being indicated by high technology conditions.

Index terms: *Oryza sativa* L., genotypes x environments interaction, mixed models, zoning of cultivars, plant breeding.

Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é a base da dieta alimentar para metade da população mundial (Hao & Lin, 2010). No Brasil, o arroz irrigado tem elevada importância econômica e social, sendo principalmente produzido em terras baixas que, mesmo com elevados rendimentos produtivos, apresentam distintas regiões agroclimáticas e uso variado de tecnologia. Isso gera

uma resposta fenotípica distinta de genótipos nas diferentes regiões, o que é decorrente da interação genótipos x ambientes significativa ($G \times E$), que afeta particularmente características de herança quantitativas.

Para obtenção de estimativas mais precisas do efeito da interação $G \times E$, é necessária a condução dos experimentos no maior número possível de locais e anos, para se avaliar a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e recomendação de cultivares (Silva et al., 2013). Dessa forma, para obtenção do máximo desempenho produtivo das cultivares, devem-se realizar ensaios comparativos de cultivares em distintos ambientes, para determinação da sua produtividade, adaptabilidade e estabilidade nas distintas condições agroclimáticas. O conhecimento dessas exigências ambientais e peculiaridades das principais cultivares disponíveis para o cultivo permite a escolha do genótipo mais adequado à realidade de cada lavoura e/ou condição de cultivo. Assim, torna-se fundamental para a recomendação de cultivares, a determinação da adaptabilidade (ampla ou específica) e estabilidade para cada região de produção.

É possível estudar a interação genótipos x ambientes por meio de medidas de adaptabilidade e estabilidade, que permitem uma simples interpretação de um grande número de informações. No contexto de modelos mistos, o método da média harmônica do desempenho relativo dos valores genotípicos – MHPRVG – (Resende, 2007), tem demonstrado ser uma das raras alternativas eficientes para a avaliação simultânea dos genótipos quanto à produtividade, adaptabilidade e estabilidade, principalmente quando ocorrem dados desbalanceados (Balestre et al., 2010; Borges et al., 2010). Essa abordagem de modelos mistos tem sido usada com eficiência na análise de inúmeras culturas, como cana-de-açúcar (Bastos et al., 2007), cenoura (Silva et al., 2011), feijão (Torres et al., 2015), milho (Mendes et al., 2012; Faria et al., 2017) e arroz (Colombari Filho et al., 2013).

Atualmente, o desenvolvimento de novas cultivares com elevada produtividade para distintas condições de cultivo (condições intrínsecas de época de plantio, manejo e de clima), é um dos grandes desafios dos melhoristas para atender às exigências de desenvolvimento de tecnologias compatíveis com a realidade do arroz irrigado. Neste sentido, o programa de melhoramento genético da Embrapa tem desenvolvido inúmeras cultivares para atender a demanda dos diversos segmentos da cadeia produtiva do cereal. No entanto, existe um déficit de informações científicas quanto à resposta dessas cultivares de arroz irrigado lançadas para o Rio Grande do Sul e suas interações com o ambiente de cultivo.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi estimar o potencial genotípico e os efeitos da interação genótipos x ambientes de cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 e 2017 para o Rio Grande do Sul.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido à campo em todas as regiões agroclimáticas de cultivo de arroz irrigado do estado do Rio Grande do Sul (Fronteira Oeste, Campanha, Depressão Central, Planície Costeira Interna, Planície Costeira Externa e Zona Sul). Foram utilizadas 25 cultivares de arroz irrigado lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa para o Sul do Brasil nos anos de 1972 a 2017 (Tabela 1). Essas cultivares foram lançadas ao longo de 46 anos, para atender as principais necessidades da cadeia produtiva do cereal, cujas constituições genéticas que definem características morfológicas e finalidades de uso são variadas.

Os ensaios das cultivares recomendadas foram instalados durante o período compreendido entre os anos agrícolas de 2005/06 e 2015/16, o que totalizou onze anos de avaliação. Foram avaliados 60 ambientes, que abrangiam 1961 unidades experimentais. O

número de locais em cada um dos onze anos agrícolas variaram de dois a sete, conforme a disponibilidade de parcerias anuais com empresas ou produtores rurais.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados com quatro repetições, tendo sido as parcelas compostas por nove linhas de 5 m de comprimento e 0,20 m entre linhas. A área útil da parcela foi constituída por 4 m centrais das sete linhas internas, de modo a, excluir algum efeito incidente sobre a bordadura. A semeadura foi realizada em sistema convencional, com uma semeadora mecânica de parcelas. Os tratos culturais seguiram as recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Sul do Brasil. Utilizou-se o sistema de irrigação por inundação permanente até o estágio de final de maturação dos genótipos.

As características agronômicas avaliadas foram: produtividade de grãos (kg ha^{-1}) ajustada para 13% de umidade; altura de plantas (cm) na fase de maturação, tendo-se medindo o comprimento do colmo principal do solo até a extremidade da panícula; número de dias para o florescimento (dias), como número de dias da emergência até 50% das panículas expostas; e, percentual de grãos inteiros após o beneficiamento, obtidos pelo descascamento e polimento dos grãos em um mini engenho de prova.

Primeiramente, os ensaios foram agrupados, tendo-se considerado os ambientes como a relação entre o local e ano de cultivo. As cultivares avaliadas não foram contempladas em todos os locais e anos de cultivo, visto que, novas cultivares foram lançadas ao longo do período de avaliação. Assim, as estimativas dos componentes de variância foram obtidas pelo método de máxima verossimilhança residual (REML), e a predição dos valores genéticos de cada indivíduo foi realizada com o procedimento de melhor predição linear não viesada (BLUP). Os valores preditos dos efeitos aleatórios (EBLUP), associados a cada um dos acessos, incluiu uma parte atribuída à estimativa das médias μ_p constante (média comum das

cultivares livre dos desvios genotípicos aleatórios), e outra parte referente ao efeito genotípico particular de cada acesso.

As análises foram realizadas no programa software estatístico Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016), tendo sido os componentes de variância obtidos conforme o seguinte modelo linear misto:

$$y_{ijkn} = \mu + g_i + b_{j(kn)} + l_k + a_n + gl_{ik} + ga_{in} + la_{kn} + gla_{ikn} + \varepsilon_{ijkn}$$

em que, y_{ijkn} é o valor observado do i -ésimo genótipo, no j -ésimo bloco, no k -ésimo ambiente, na n -ésima safra; μ é o efeito da média geral; g_i é o efeito aleatório do genótipo i ; $b_{j(kn)}$ é o efeito fixo do bloco j dentro do local k e do ano n ; l_k é o efeito aleatório do local k ; a_n é o efeito aleatório do ano n ; gl_{ik} é o efeito aleatório da interação genótipos x locais; ga_{in} é o efeito aleatório da interação genótipos x anos; la_{kn} é o efeito aleatório da interação locais x anos de plantio; gla_{ikn} é o efeito aleatório da interação genótipos x locais x anos; ε_{ijkn} é o erro ou resíduo experimental.

A forma matricial estatística utilizada para estimativa pelo método média harmônica do desempenho relativo dos valores genotípicos (MHPRVG) foi a partir do modelo $y = Xr + Zg + Wi + \varepsilon$, em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de bloco, considerados como fixos, somados à média geral; g é o vetor dos efeitos genotípicos, considerados como aleatórios; i é vetor dos efeitos da interação genótipo x ambiente (aleatórios); ε é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios); e X , Z e W representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A média harmônica dos valores genotípicos (MHVG_i) foi obtida por $MHVG_i = n / [\sum_{j=1}^n (1/Vg_{ij})]$; a Performance Relativa dos Valores Genotípicos (PRVG) preditos foi calculada por $PRVG_i = (1/n) \times [\sum_{j=1}^n (Vg_{ij} / \mu_j)]$; e o modelo que considera simultaneamente a

produtividade, a adaptabilidade e a estabilidade obtido pela média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG) foi obtida por $MHPRVG_i = n / \sum_{j=1}^n (1/PRVG_j)$, em que, n é o número de ambientes onde se avaliou o genótipo i; V_{gij} o valor genotípico do genótipo i no ambiente j, expresso como proporção da média desse ambiente; e μ_j é a média geral de cada ambiente j (Resende, 2016).

Resultados e Discussão

Os caracteres produtividade de grãos, dias para o florescimento e altura de plantas, apresentaram grande parte da variação fenotípica total ($\hat{\sigma}_f^2$) de ordem genética ($\hat{\sigma}_g^2$), o que pode ser evidenciada pelos altos valores das estimativas de herdabilidade dos efeitos genotípicos totais (\hat{h}_g^2), mesmo se tratando de caracteres de herança genética quantitativa (Tabela 2). Em contrapartida, para o caráter de percentual de grãos inteiros após o beneficiamento, verificou-se elevada contribuição da interação genótipos x ambientes complexa (baixa correlação genotípica entre genótipos x anos x locais) e baixa herdabilidade. Caracteres relativos à qualidade dos grãos na cultura do arroz irrigado são muito relacionados ao ambiente (Cameron et al., 2008; Hakata et al., 2012; Lyman et al., 2013; Li et al., 2014; Xu et al., 2015).

Em ensaios comparativos de cultivares, para que tenhamos uma boa confiabilidade experimental, a abordagem genética e estatística deve evidenciar as proporções entre as variações de natureza genética e residual associadas ao caráter em avaliação, logo, a acurácia seletiva é o parâmetro mais indicado (Resende & Duarte, 2007). Nesse sentido, foram observadas acurácias de 0,97; 0,98; 0,99; e 0,77, para produtividade, ciclo, altura e percentual de grãos inteiros, respectivamente.

Deve-se ressaltar que, o elevado número de ensaios avaliados em distintos locais, no decorrer de onze anos agrícolas, conduziu a estimativas precisas do valor genotípico das cultivares e do efeito da interação G x E. Essa presença da interação dificulta a recomendação de uma única cultivar para todos os ambientes de produção, no entanto, possibilita a recomendação de cultivares altamente adaptadas a cada ambiente. Esta precisão pode ser verificada pelas estimativas dos componentes genéticos e de variância (Tabela 2).

Com base nos valores genotípico e nas medidas de adaptabilidade e estabilidade obtidos, destacaram-se, em potencial genético para produtividade de grãos (G_i), as cultivares BRS Pampa (9837 kg ha^{-1}), BRSCIRAD 302 (9247 kg ha^{-1}), BRS Pampeira (9216 kg ha^{-1}) e BRSCIRAD HA703 CL (9093 kg ha^{-1}), que apresentaram potenciais genéticos acima de 9000 kg ha^{-1} (Tabela 3). Ressalta-se que os valores genéticos preditos foram validados por alta acurácia.

Em relação à estabilidade genotípica (MHVG), as cultivares BR IRGA 412, BRS Pampa e BRS Agrisul apresentaram comportamento estável nos diferentes ambientes estudados. A que apresentou maior estabilidade às variações ambientais foi a BRSCIRAD 302 (Tabela 3), que é um híbrido lançado em 2010 e desenvolvido pela Embrapa em parceria com o CIRAD (Centro de Cooperação Internacional em Pesquisa Agrônômica da França). Essa maior estabilidade produtiva era esperada, pois o arroz híbrido apresenta menor influência das condições adversas de cultivo. Esse fato foi observado por Young & Virmani (1990) que avaliaram 140 cultivares híbridas submetidas a três níveis de nitrogênio (0 , 60 e 120 kg ha^{-1}) e observaram a existência de heterose positiva para o rendimento de grãos, independentemente do ambiente testado.

Quanto à adaptabilidade genotípica (PRVG), verificou-se que as cultivares que apresentaram os maiores potenciais genéticos para produtividade também foram consideradas mais adaptadas às regiões de cultivo no Rio Grande do Sul (Tabela 3), tendo sido as cultivares

BRS Pampa, BRS Pampeira, BRSCIRAD HA703 CL e BRSCIRAD 302 bastante produtivas e responsivas às condições de cultivo do Rio Grande do Sul.

O método MHPRVG, que é obtido pela penalização do efeito da instabilidade genotípica e capitalizado pela resposta favorável do genótipo ao ambiente, permitiu discriminar as cultivares de arroz irrigado tendo considerado, simultaneamente, a produtividade, adaptabilidade e estabilidade genotípica (Tabela 3). Assim, os destaques novamente foram as cultivares BRS Pampa, BRS Pampeira, BRSCIRAD HA703 CL e BRSCIRAD 302, o que evidencia o maior potencial destas cultivares para cultivo em regiões de terras baixas sob sistema irrigado. O elevado potencial produtivo da cultivar BRS Pampeira já havia sido destacado por Magalhães Júnior et al. (2017a).

A amplitude de flutuação das respostas genotípicas verificadas em cada cultivar entre ambientes, foi decorrente das variações relativas aos fatores dos anos de cultivo e dos locais dentro do ano. As inferências genéticas determinaram três regiões como favoráveis e três como desfavoráveis (Figura 1). A mais favorável foi a região de Campanha, com média de produtividade de 10389 kg ha⁻¹ e índice ambiental de +2344 kg ha⁻¹, e a menos favorável, a região de Depressão Central, com média de produtividade de 6752 kg ha⁻¹ e índice ambiental de -1293 kg ha⁻¹. Rosa et al. (2015) observaram respostas um pouco diferentes em experimentos nas regiões orizícolas da Depressão Central, Fronteira Oeste, Planície Costeira Externa e Interna à Lagoa dos Patos e Zona Sul, produtividades médias de 7938, 9774, 8501, 8314 e 9759 kg ha⁻¹, respectivamente. Esse contraste pode ser explicado pela distinção no grupo de cultivares avaliadas em cada estudo, o que demonstra a importância desses estudos de interação genótipo ambiente para definição de um zoneamento agrícola, com a finalidade de recomendação regionalizada de cultivares e seleção de locais testes.

Nesse sentido, torna-se importante a verificação da resposta em termos de produtividade genotípica das cultivares em condições de ambiente favorável e desfavorável (Tabela 4). Em

ambiente favorável, distinguiram-se três cultivares altamente responsivas, com produtividades superiores a 10000 kg ha⁻¹: BRS Pampa (10593 kg ha⁻¹), BRS Pampeira (10423 kg ha⁻¹) e BRS Pelota (10105 kg ha⁻¹). Além dessas, várias outras cultivares apresentaram potenciais produtivos satisfatórios em condições favoráveis de cultivo, com média genotípica geral de 8667 kg ha⁻¹. Em contrapartida, em ambiente de cultivo considerado desfavorável à média genotípica das cultivares foi bastante inferior (7298 kg ha⁻¹), em que, apenas a cultivar BRS Pampa manteve produtividades acima de 9000 kg ha⁻¹. Essa pequena diferença de produtividade genotípica ($\Delta\hat{G}_i$) nas distintas condições de cultivo, evidencia a excelente capacidade produtiva aliada a boa estabilidade dessa cultivar quanto ao caráter produtividade de grãos, o que torna 'BRS Pampa' indicada para cultivo em todas regiões orizícolas do Estado.

Com as inferências genotípicas dos atributos agronômicos de interesse para o melhoramento do arroz (Tabela 5) evidenciou-se que, dentre as cultivares lançadas após o final da década de 70, apenas as cultivares BR IRGA 411 e BRS AG apresentaram estaturas superiores a 100 cm. Deve-se ressaltar que, a cultivar BRS AG foi desenvolvida e lançada recentemente para uma finalidade distinta ao consumo humano, a produção de etanol de cereais ou alimentação animal (Magalhães Júnior et al., 2017b).

Com a descoberta do *gene sd-1*, responsável pelo porte baixo em arroz, a inclusão desse fenótipo associado a outros caracteres agronômicos de interesse nas cultivares de arroz irrigado permitiu elevar o potencial de produtividade, principalmente com os lançamentos das cultivares BR IRGA 409 e BR IRGA 410 no Rio Grande do Sul (Streck et al., 2017). Nesse contexto, verifica-se que grande parte das cultivares lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa, posteriormente a essas duas mencionadas, têm sido direcionadas para a obtenção de genótipos com baixa estatura.

Quanto ao caráter de dias para o florescimento (DPF), verifica-se que a maioria das cultivares lançadas apresenta ciclo entre precoce (entre 80 e 90 DPF) e médio (entre 91 e 100 DPF). No entanto, as cultivares BRS Ligeirinho e BRS Atalanta apresentam ciclo super-precoce (< 80 DPF), o que as classifica como alternativas para condições específicas de cultivo. No outro extremo, a cultivar BRS SCS 113 Tio Taka, obtida por seleção recorrente (Rangel et al., 2007), apresentou ciclo muito tardio (>101 dias para o florescimento) para as condições de cultivo no Rio Grande do Sul. Esta cultivar foi desenvolvida e lançada, em parceria com a Epagri, principalmente para o Estado de Santa Catarina. O prolongado ciclo até a floração pode explicar o baixo potencial produtivo apresentado pela cultivar no estado (Tabela 3), pois o Rio Grande do Sul apresenta elevada probabilidade de ocorrência de baixas temperaturas (Steinmetz et al., 2003) e baixa luminosidade (Klering et al., 2008) nos decêndios de final de fevereiro e início de março.

A qualidade dos grãos também é um parâmetro amplamente considerado no melhoramento da cultura do arroz irrigado, pois dita o valor de mercado do cereal. Nesse sentido, constata-se que a maioria das cultivares recentemente lançadas pelo programa de melhoramento apresentam altos índices de rendimento de grãos inteiros após o beneficiamento, que é o principal caráter referente à qualidade industrial dos grãos (Tabela 5). Ressalta-se que as cultivares BRS Pampa, BRS Pampeira e BRSCIRAD 302 que foram destaques em termos de produtividade de grãos, também apresentaram boa qualidade dos grãos, com respectivamente 62,19%, 60,28% e 60,91% de rendimento de inteiros após o beneficiamento.

Nesse contexto, pode-se considerar uma ampla gama de cultivares de arroz irrigado desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético da Embrapa, apresentam bons atributos agronômicos para distintas condições de cultivo no Rio Grande do Sul.

Conclusões

1. As cultivares BRS Pampa, BRS Pampeira e BRSCIRAD 302 apresentam, simultaneamente, alta produtividade genotípica de grãos, adaptabilidade, estabilidade, bons atributos agronômicos e rendimento de grãos inteiros após o beneficiamento.

2. As cultivares BRSCIRAD 302 e BRS Pampa apresentam alta estabilidade produtiva, sendo indicada para cultivo em todas as regiões orizícolas do Rio Grande do Sul. Em contrapartida, a cultivar BRS Pampeira é altamente responsiva às melhorias do ambiente, sendo indicada para condições de alta tecnologia.

Agradecimentos

À Embrapa Clima Temperado pelo aporte técnico, científico e de infraestrutura, para a realização dos experimentos.

Referências

- BALESTRE, M.; SANTOS, V.B.; SOARES, A.A.; REIS, M.S. Stability and adaptability of upland rice genotypes. **Crop breeding and applied biotechnology**, v.10, p.357-363, 2010. DOI: 10.1590/S1984-70332010000400011.
- BASTOS, I.T.; BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; PETERNELLI, L.A.; SILVEIRA, L.C.I.; DONDA, L.R.; FORTUNATO, A.A.; COSTA, P.M.A.; FIGUEIREDO, I.C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p.195-203, 2007.
- BORGES, V.; SOARES, A.A.; REIS, M.S.; RESENDE, M.D.V.; CORNÉLIO, V.M.O.; LEITE, N.A.; VIEIRA, A.R. Genotypic performance of lines of the upland rice using mixed model. **Bragantia**, v.69, p.833–841, 2010. DOI: 10.1590/S0006-87052010000400008.

CAMERON, D.K.; WANG, Y.J.; MOLDENHAUER, K.A. Comparison of physical and chemical properties of medium-grain rice cultivars grown in California and Arkansas. **Journal of Food Science**, v.73, c.72–78, 2008. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00631.x.

COLOMBARI FILHO, J.M.; RESENDE, M.D.V.; MORAIS, O.P.; 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, p.117–129, 2013. DOI 10.1007/s10681-013-0922-2.

FARIA, S.V.; LUZ, L.S.; RODRIGUES, M.C.; CARNEIRO, J.E.S.; CARNEIRO, P.C.S.; DELIMA, R.O. Adaptability and stability in commercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.2, p.347-357, 2017. DOI: 10.5935/1806-6690.20170040.

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**, v.10, p.1110–1117, 2012. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2012.00741.x.

HAO, W.; LIN, H.X. Toward understanding genetic mechanisms of complex traits in rice. **Journal of Genetics and Genomics**, v.37, p.653–666, 2010. DOI:10.1016/S1673-8527(09)60084-9.

KLERING, E.V.; FONTANA, D.C., BERLATO, M.A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.5, p.549-558, 2008. DOI: 10.1590/S0100-204X2008000500001.

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, p.398–404, 2014. DOI: 10.1038/ng.2923.

LOPES, M.A.; FALEIRO, F.G.; FERREIRA, M.E.; LOPES, D.B.; VIVIAN, R.; BOITEUX, L.S. Embrapa's contribution to the development of new plant varieties and their impact on Brazilian agriculture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, S2, p.31-46, 2012. DOI: 10.1590/S1984-70332012000500005.

LYMAN, N.B.; JAGADISH, K.S.; NALLEY, L.L.; DIXON, B.L.; SIEBENMORGEN, T. Neglecting rice milling yield and quality underestimates economic losses from high-temperature stress. **Plos One**, v.8, n.8, e72157, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0072157.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; FAGUNDES, P.R.R.; FRANCO, D.F.; MORAIS, O.P.; STRECK, E.A.; AGUIAR, G.A.; FACCHINELLO, P.H.K.; SIQUEIRA, F.G. BRS AG: first cultivar of irrigated rice used for alcohol production or animal feed. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.72-77, 2017b. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n1c12.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; MORAIS, O.P.; FAGUNDES, P.R.R.; COLOMBARI FILHO, J.M.; FRANCO, D.F.; CORDEIRO, A.C.C.; PEREIRA, J.A.; RANGEL, P.H.N.; MOURA NETO, F.P.; STRECK, E.A.; AGUIAR, G.A.; FACCHINELLO, P.H.K. BRS Pampeira: new irrigated rice cultivar with high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.78-83, 2017a. DOI: 10.1590/1984-70332017v17n1c13.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; MORAIS, O.P.; FAGUNDES, P.R.R.; MOURA NETO, F.P.; FRANCO, D.F.; NEVES, P.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**. 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: 17 jan. 2017.

MENDES, F.F. GUIMARÃES, L.J.M.; SOUZA, J.C.; GUIMARÃES, P.E.O.; PACHECO, C.A.P.; MACHADO, J.R.A.; MEIRELLES, W.F.; SILVA, A.R.; PARENTONI, S.N. Adaptability and stability of maize varieties using mixed model methodology. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.12, n.2, p.111-117, 2012. DOI: 10.1590/S1984-70332012000200003.

RANGEL, P.H.N.; BONDANI, C.; MORAIS, O.P.; SCHIOCCHET, M.A.; BORBA, T.C.O.; RANGEL, P.N.; BRONDANI, R.P.V.; YOKOYAMA, S.; BACHA, R.E.; ISHY, T. Establishment of the irrigated rice cultivar SCSBRS Tio Taka by recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, p.103-110, 2007. DOI: 10.12702/1984-7033.v07n01a17.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561p.

RESENDE, M.D.V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.16, p.330-339, 2016. DOI: 10.1590/1984-70332016v16n4a49.

RESENDE, M.D.V.; 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.

ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; STRECK, N.A.; CARLI, C.; RIBAS, G.G.; MARCHESAN, E. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.12, p.1159–1165, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1159-1165.

SILVA, G.A.P.; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARBONELL, S.A.M. Análise da adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo. **Revista Ceres**, v.60, n.1, p.059-065, 2013.

SILVA, G.O.; CARVALHO, A.D.F.; VIEIRA, J.V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v.70, n.3, p.494-501, 2011. DOI: 10.1590/S0006-87052011005000003.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F.N.; BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; AMARAL, A.G.; FERREIRA, J.S.A. Mapeamento das probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas do ar, durante o período reprodutivo do arroz irrigado, na metade no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p.169-179, 2003.

STRECK, E.A.; AGUIAR, G.A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; FACCHINELLO, P.H.K.; OLIVEIRA, A.C. Variabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado via análise multivariada. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.1, p.101-109, 2017. DOI: 10.5935/1806-6690.20170011.

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, p.255-260, 2015. DOI: 10.1590/1678-4499.0099.

XU, Q.; CHEN, W.; XU, Z. Relationship between grain yield and quality in rice germplasms grown across different growing areas. **Breeding Science**, v.65, p.226–232, 2015. DOI: 10.1270/jsbbs.65.226.

YOUNG, J.B.; VIRMANI, S.S. Heterosis in rice over environments. **Euphytica**, v.51, p.87-93, 1990. DOI: 10.1007/BF00022896.

Tabela 1. Cultivares utilizadas, com seus respectivos anos de lançamento, na experimentação de onze anos agrícolas em distintos locais do Rio Grande do Sul.

Cultivar	AL	Anos Agrícolas										
		2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16
IAS 12-9 Formosa	1972											*
BR IRGA 409	1979	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
BR IRGA 410	1980	*	*	*	*	*	*	*	*			*
BR IRGA 411	1985											*
BR IRGA 412	1986											*
BR IRGA 413	1986											*
BR IRGA 414	1987											*
BRS 6 “Chuí”	1991	*	*	*	*	*						*
BRS 7 “Taim”	1991	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
BRS Ligeirinho	1995											*
BRS Agrisul	1995											*
BRS Bojuru	1997											*
BRS Atalanta	1999	*	*	*	*							*
BRS Firmeza	1999	*	*	*	*							*
BRS Pelota	2000	*	*	*	*	*						*
BRS SCS 113 Tio Taka	2004											*
BRS Fronteira	2005	*	*	*	*	*	*	*				*
BRS Querência	2005	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
BRS Cirad 302	2010						*					*
BRS Sinuelo CL	2010						*	*	*	*	*	*
BRS Pampa	2011						*	*	*	*	*	*
BRS 358	2015											*
BRS AG	2015											*
BRS Pampeira	2016									*	*	*
BRSCIRAD HA703 CL	2017								*	*	*	*
Nº de genótipos		9	9	9	9	7	8	7	7	7	7	25
Nº de locais		2	6	7	7	6	3	5	6	7	4	7

Tabela 2. Estimativas dos componentes de variância e de parâmetros genéticos para os caracteres de produtividade de grãos (Prod), dias para o florescimento (DAF), altura de plantas (Alt), percentual de grãos inteiros após o beneficiamento industrial (GI), de 25 cultivares de arroz irrigado, conduzidos em onze anos e diversos locais do Rio Grande do Sul.

Componentes de Variância	Prod (kg ha ⁻¹)	DAF (dias)	Alt (cm)	GI (%)
$\hat{\sigma}_g^2$	1787804,963	75,644	39,733	4,704
$\hat{\sigma}_{ga}^2$	12678,722	3,187	3,341	0,250
$\hat{\sigma}_{gl}^2$	273379,473	0,622	0,620	0,111
$\hat{\sigma}_{gla}^2$	771868,191	11,557	4,981	11,185
$\hat{\sigma}_e^2$	856431,061	9,082	17,437	7,801
$\hat{\sigma}_f^2$	3702162,410	100,093	66,112	24,051
\hat{h}_g^2	0,483 ± 0,04	0,756 ± 0,06	0,601 ± 0,05	0,196 ± 0,03
\hat{c}_{ga}^2	0,003	0,032	0,051	0,010
\hat{c}_{gl}^2	0,074	0,006	0,009	0,005
\hat{c}_{gla}^2	0,208	0,115	0,075	0,465
\hat{A}_g^c	0,970	0,990	0,980	0,770
\hat{r}_{gl}	0,867	0,992	0,985	0,977
\hat{r}_{ga}	0,993	0,960	0,922	0,950
\hat{r}_{gl-a}	0,868	0,992	0,986	0,978
\hat{r}_{ga-l}	0,994	0,960	0,924	0,951
\hat{r}_{gla}	0,628	0,831	0,816	0,289
$\hat{\mu}$	7718,20	89	94,17	60,57

$\hat{\sigma}_g^2$, $\hat{\sigma}_{ga}^2$, $\hat{\sigma}_{gl}^2$, $\hat{\sigma}_{gla}^2$, $\hat{\sigma}_e^2$, $\hat{\sigma}_f^2$ - respectivamente, são as estimativas das variâncias genotípica, da interação genótipos x anos, da interação genótipos x locais, da interação genótipos x locais x anos, variância residual e - fenotípica individual; \hat{h}_g^2 - estimativa do coeficiente de herdabilidade referente a parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais; \hat{c}_{ga}^2 e \hat{c}_{gl}^2 - respectivamente, as estimativas dos coeficientes de determinação dos efeitos da interação genótipos x anos e dos efeitos da interação genótipos x locais; \hat{c}_{gla}^2 - estimativa do coeficiente de herdabilidade no sentido amplo em nível de médias de genótipos; \hat{A}_g^c - estimativa da acurácia da seleção em nível de médias de genótipos; \hat{r}_{gl} , \hat{r}_{ga} , \hat{r}_{gl-a} , \hat{r}_{ga-l} , \hat{r}_{gla} - respectivamente, as estimativas das correlações genotípica entre

genótipos x locais;, entre genótipos x anos,, entre genótipos x locais com o ano,-entre genótipos x anos com o local entre genótipos x anos x locais; $\hat{\mu}$ – estimativa da média geral do experimento.

Tabela 3. Valor genotípico predito (\hat{G}_i), acurácia seletiva (\hat{r}_{gg}), estabilidade genotípica (MHVG), adaptabilidade genotípica (PRVG) e adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos (MHPRVG) para o caráter de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 25 cultivares de arroz irrigado conduzidos em 60 ambientes no Rio Grande do Sul.

Cultivar	AL	\hat{r}_{gg}	R°	\hat{G}_i	R°	MHVG	R°	PRVG	R°	MHPRVG
BRS Pampa	2011	0,97	1°	9837	3°	9455	1°	1,302	1°	1,287
BRSCIRAD 302	2010	0,93	2°	9247	1°	10280	4°	1,187	4°	1,177
BRS Pampeira	2016	0,96	3°	9216	5°	8625	2°	1,209	2°	1,193
BRSCIRAD HA703 CL	2017	0,96	4°	9093	6°	8590	3°	1,198	3°	1,188
BR IRGA 412	1986	0,91	5°	8783	2°	9514	5°	1,144	5°	1,141
BRS 7 ‘Taim’	1991	0,97	6°	8641	9°	8322	6°	1,123	6°	1,117
BRS Pelota	2000	0,97	7°	8557	8°	8482	8°	1,108	8°	1,093
BRS Agrisul	1995	0,90	8°	8533	4°	9253	7°	1,113	7°	1,108
BR IRGA 410	1980	0,97	9°	8377	12°	8070	9°	1,080	10°	1,070
BRS Fronteira	2005	0,97	10°	8280	11°	8122	11°	1,075	11°	1,066
BRS 358	2015	0,93	11°	8259	10°	8234	12°	1,074	9°	1,070
BRS Querência	2005	0,97	12°	8239	13°	7930	10°	1,075	12°	1,060
BR IRGA 409	1979	0,97	13°	8185	14°	7909	13°	1,066	13°	1,060
BRS Sinuelo CL	2010	0,97	14°	8058	16°	7589	14°	1,056	14°	1,047
BR IRGA 413	1986	0,91	15°	7963	7°	8563	15°	1,035	15°	1,026
BRS 6 ‘Chuí’	1991	0,97	16°	7779	15°	7806	16°	1,012	16°	1,002
BRS AG	2015	0,93	17°	7290	19°	6914	17°	0,935	17°	0,905
BR IRGA 414	1987	0,90	18°	6765	17°	7273	18°	0,874	18°	0,872
IAS 12-9 Formosa	1972	0,91	19°	6689	18°	7005	20°	0,864	20°	0,839
BRS Firmeza	1999	0,96	20°	6672	20°	6538	19°	0,867	19°	0,845
BRS Bojuru	1997	0,91	21°	5958	21°	6273	21°	0,764	21°	0,753
BRS SCS 113 Tio Taka	2004	0,88	22°	5831	23°	5826	23°	0,733	23°	0,710
BRS Atalanta	1999	0,96	23°	5679	24°	5766	22°	0,748	22°	0,721
BR IRGA 411	1985	0,91	24°	5574	22°	5856	24°	0,715	24°	0,701
BRS Ligeirinho	1995	0,90	25°	5067	25°	5275	25°	0,649	25°	0,629

R°- classificação das cultivares conforme os parâmetros de análise; AL- ano de lançamento da cultivar.

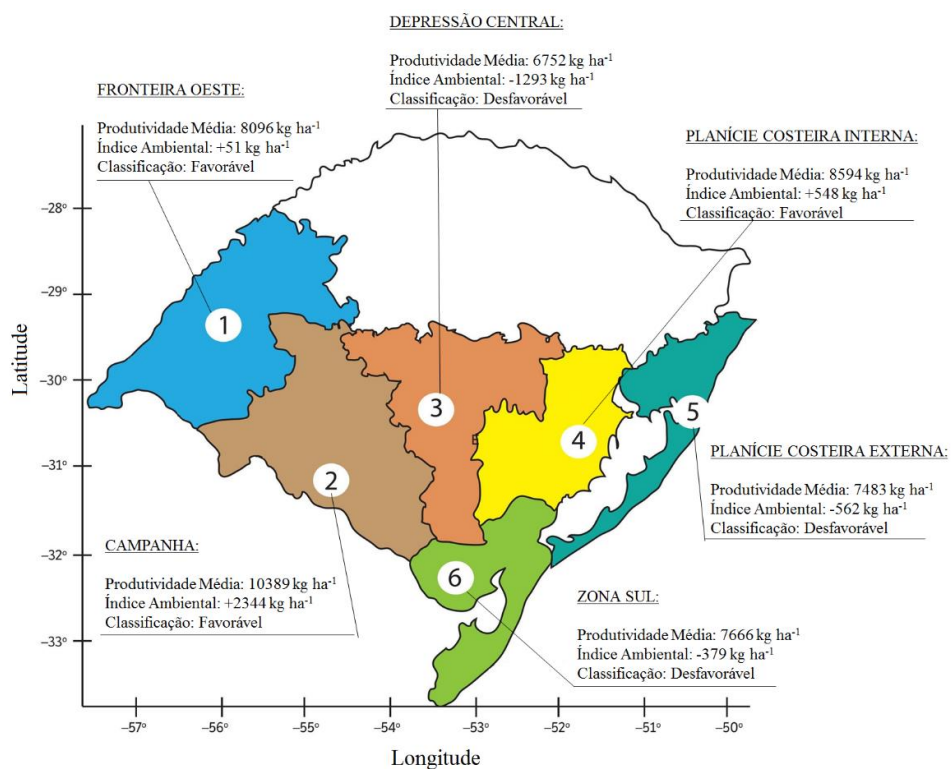


Figura 1. Produtividade média, índice e classificação ambiental na experimentação das cultivares de arroz irrigado conduzidas em onze safras agrícolas, nas seis regiões orizícolas do Rio Grande do Sul.

Tabela 4. Classificação das cultivares (R^o) conforme a resposta do valor genotípico predito para produtividade de grãos (kg ha^{-1}) e a diferença de produtividade da média ($\Delta \hat{G}_i$) de 25 cultivares de arroz irrigado em ambientes com índice ambiental favorável e desfavorável no Rio Grande do Sul.

Cultivar	R^o	Favorável	R^o	Desfavorável	R^o	$\Delta \hat{G}_i$
BRS Pampa	1°	10593	1°	9436	15°	1157
BRS Pampeira	2°	10423	3°	8651	8°	1772
BRS Pelota	3°	10105	6°	8185	4°	1920
BR IRGA 410	4°	9980	9°	7946	2°	2033
BRS 7 'Taim'	5°	9895	8°	8109	7°	1786
BRSCIRAD 302	6°	9741	2°	8971	23°	771
BRS Querência	7°	9600	14°	7776	5°	1824
BRSCIRAD HA703 CL	8°	9595	4°	8517	16°	1078
BR IRGA 412	9°	9559	5°	8488	17°	1072
BRS Agrisul	10°	9528	7°	8159	14°	1369
BRS Fronteira	11°	9352	10°	7873	11°	1478
BR IRGA 409	12°	9272	13°	7792	10°	1480
BRS 6 'Chuí'	13°	9097	16°	7378	9°	1719
BRS 358	14°	8757	11°	7844	20°	913
BRS Sinuelo CL	15°	8546	12°	7812	24°	734
BR IRGA 413	16°	8525	15°	7728	21°	797
BRS Firmeza	17°	7955	20°	6136	6°	1819
BR IRGA 414	18°	7824	19°	6348	12°	1476
BRS AG	19°	7730	17°	6959	22°	771
BRS Atalanta	20°	7587	23°	5204	1°	2383
IAS 12-9 Formosa	21°	7073	18°	6496	25°	577
BRS SCS 113 Tio Taka	22°	6999	24°	5061	3°	1938
BRS Bojuru	23°	6605	21°	5668	19°	937
BR IRGA 411	24°	6281	22°	5260	18°	1022
BRS Ligeirinho	25°	6044	25°	4656	13°	1388
Média	-	8667	-	7298	-	1368

Tabela 5. Estimativas do valor genotípico predito (\hat{G}_i) e acurácia seletiva (\hat{r}_{gg}) para os caracteres número de dias para o florescimento (DAF), altura de plantas (Alt), percentual de grãos inteiros após o beneficiamento industrial (GI) de 25 cultivares de arroz irrigado conduzidos em 60 ambientes no Rio Grande do Sul.

Cultivar	Lançamento	DAF (dias)		Alt (cm)		GI (%)	
		\hat{G}_i	\hat{r}_{gg}	\hat{G}_i	\hat{r}_{gg}	\hat{G}_i	\hat{r}_{gg}
BRS Ligeirinho	1995	69	0,94	83,23	0,94	60,50	0,70
BRS Atalanta	1999	72	0,97	91,54	0,97	58,99	0,88
BR IRGA 414	1987	81	0,94	92,72	0,94	62,40	0,73
BRS 6 'Chuí'	1991	81	0,97	90,32	0,97	60,80	0,92
BRS Querência	2005	81	0,98	96,01	0,98	59,05	0,94
BRS Firmeza	1999	84	0,97	89,13	0,97	61,99	0,90
BRSCIRAD HA703 CL	2017	84	0,97	93,02	0,97	62,85	0,88
BRS Pampa	2011	85	0,97	95,33	0,97	62,19	0,92
BRS 358	2015	88	0,96	86,42	0,96	62,04	0,78
BRS Pelota	2000	89	0,97	95,58	0,97	60,51	0,92
BR IRGA 410	1980	91	0,98	96,81	0,98	61,66	0,94
BRS Sinuelo CL	2010	91	0,97	86,51	0,97	61,45	0,92
BRSCIRAD 302	2010	91	0,96	98,31	0,96	60,91	0,82
BR IRGA 411	1985	92	0,94	108,83	0,94	58,20	0,75
BRS AG	2015	92	0,96	109,50	0,96	56,21	0,78
BR IRGA 412	1986	92	0,94	91,51	0,94	60,89	0,75
IAS 12-9 Formosa	1972	92	0,94	104,55	0,94	58,17	0,74
BRS 7 'Taim'	1991	92	0,98	89,60	0,98	61,14	0,94
BRS Agrisul	1995	93	0,94	94,03	0,94	56,91	0,75
BR IRGA 413	1986	93	0,94	98,38	0,94	62,86	0,75
BRS Bojuru	1997	93	0,94	92,98	0,94	59,49	0,75
BR IRGA 409	1979	94	0,98	93,95	0,98	62,49	0,94
BRS Fronteira	2005	94	0,97	95,08	0,97	63,32	0,93
BRS Pampeira	2016	99	0,97	96,07	0,97	60,28	0,88
BRS SCS 113 Tio Taka	2004	114	0,94	86,05	0,94	61,16	0,70

**6 Artigo 3: Qualidade genética dos grãos de cultivares de arroz irrigado
lançadas pela Embrapa no Rio Grande do Sul**

(Artigo Aceito para Publicação na Língua Inglesa Segundo Normas da Revista
Pesquisa Agropecuária Brasileira)

Qualidade genética dos grãos de cultivares de arroz irrigado lançadas pela Embrapa no Rio Grande do Sul

Resumo – O trabalho objetivou determinar o progresso genético para os atributos de qualidade dos grãos das cultivares de arroz irrigado lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa no Rio Grande do Sul no período entre 1972 a 2016. As estimativas genéticas seguiram a abordagem baseada na análise comparativa das 25 cultivares lançadas pela Embrapa ao longo desses anos. A experimentação foi implementada em quatro regiões produtoras do estado do Rio Grande do Sul: região Sul, Campanha, Planície Costeira Interna e Planície Costeira Externa. Observaram-se ganhos genéticos significativos para percentual de grãos inteiros após o beneficiamento (0,20% ao ano); percentual de grãos gessados e barriga branca (-1,38% ao ano); área gessada total (-0,77% ao ano); brancura total (-0,08% ao ano) e brancura não vítrea dos grãos (-0,82% ao ano). A maioria das cultivares lançadas apresentam alto teor de amilose e baixa temperatura de gelatinização. Logo, o programa de melhoramento genético apresentou progressos genéticos anuais significativos no período entre 1972 a 2016 para os principais atributos de qualidade dos grãos, disponibilizando cultivares em consonância com a demanda nacional para qualidade dos grãos nos diversos segmentos da cadeia produtiva do cereal.

Termos para indexação: *Oryza sativa* L., rendimento industrial, grãos gessados, área gessada, ganho genético, melhoramento genético.

Grain quality genetic in irrigated rice cultivars released by Embrapa for the Rio Grande do Sul State

Abstract – The objective of this study was to determine the genetic progress for grain quality attributes of irrigated rice cultivars released by the breeding program of Embrapa in Rio

Grande do Sul between 1972 and 2016. The genetic estimates followed the approach based on the comparative analysis of the 25 cultivars released by Embrapa over those years. The experiment was implemented in four producing regions of the state of Rio Grande do Sul: South, Campaign, Internal Coastal Plain and External Coastal Plain. There were significant genetic gains for milling quality after processing (0.20% per year); percentage of chalkiness (-1.38% per year); chalky area (-0.77% per year); total whiteness (-0.08% per year) and non-vitreous grain whiteness (-0.82% per year). Most cultivars released have high amylose content and low gelatinization temperature. Therefore, the breeding program presented significant annual genetic progresses between 1972 and 2016 for the main attributes of grain quality, make available cultivars in consonance with the national demand for grain quality in the various segments of the rice industry.

Index terms: *Oryza sativa* L., milling quality, chalkiness, chalky area, genetic gain, breeding.

Introdução

O arroz (*Oryza sativa* L.) é a base da dieta alimentar e a principal fonte energética para mais da metade da população mundial (Lee et al., 2011). Assim, cada vez mais torna-se necessário sustentar altas produções do cereal, de modo a manter a segurança alimentar mundial (Zeigler & Barclay, 2008). No Brasil, esta cultura apresenta extrema importância social e econômica, com produção anual de aproximadamente 12 milhões de toneladas na safra 2016/2017, abastecendo a demanda de consumo nacional do cereal. O estado do Rio Grande do Sul, cujo cultivo é sob sistema irrigado, atende por mais de 70% da produção nacional (Conab, 2017).

O consumidor no cenário nacional é muito exigente na qualidade dos grãos, tendo por base o consumo de arroz branco polido da classe longo e fino (subespécie *Indica*), que apresentam grãos com elevada maciez e soltos após o processo de cocção. Este padrão de

consumo encontra-se condicionado principalmente pela incidência de defeitos físicos ou bioquímicos indesejáveis nos grãos.

Os atributos físicos relacionados ao grão nos fornecem parâmetros importantes para o conhecimento da aparência do cereal após o processo de cocção. Sendo que, a maior parte dos componentes do arroz polido é composta por amido (até 95% do peso seco), proteína (5% a 7%) e lipídeos (0,5% a 1%), logo, a quantidade desses compostos afeta as propriedades sensoriais do cereal (Fitzgerald et al., 2008a).

A composição do grão e de suas frações está sujeita a diferenças genéticas, variações ambientais, de manejo, de processamento e de armazenamento (Zhou et al., 2002), que podem conferir alterações às características nutricionais do grão.

No processo de comercialização do arroz é necessário considerar as exigências específicas dos diversos segmentos envolvidos no processo produtivo e comercial desse cereal. Podendo-se destacar a qualidade física do grão expressa por renda no benefício, rendimento de inteiros, aspecto e dimensões dos grãos (Mingotte et al., 2012). Outra propriedade física importante relacionada com a qualidade do grão de arroz é a translucidez (Edwards et al., 2017). Em muitos grãos, a translucidez é interrompida por áreas opacas no endosperma denominadas centro branco, barriga branca ou gesso (Smiderle & Dias, 2008). Essa opacidade que se verifica nos grãos ocorre pelo arranjo entre os grânulos de amido e proteína, desenvolvida sob condições adversas de clima e de cultivo, bem como devido a fatores genéticos (Fitzgerald et al., 2008b). Esses parâmetros encontram-se vinculados aos defeitos associados aos grãos do arroz conjuntamente às características de qualidade desses grãos, logo, ditam o valor de mercado e possuem um papel fundamental na adoção e, consequentemente, no desenvolvimento de novas cultivares.

O desenvolvimento de novas cultivares com caracteres superiores, que proporcionem máxima produtividade e qualidade, é o grande desafio dos melhoristas para atender às

exigências de desenvolvimento de tecnologias compatíveis com a realidade do cultivo de arroz irrigado. Em nível de produtividade, os programas de melhoramento de arroz irrigado encontram-se em estágios avançados, sendo que, existem vários trabalhos em nível mundial evidenciando a contribuição do melhoramento para este caráter (Breseghello et al., 1999; Tabien et al., 2008; DoVale et al., 2012).

A intensificação da pressão de seleção para os caracteres de qualidade dos grãos ainda é muito recente nos programas de melhoramento, logo, ainda não existem técnicas consolidadas de melhoramento e estudos da contribuição genética para este caráter. Neste sentido, este estudo do progresso genético para os atributos físicos de qualidade dos grãos apresenta grande contribuição para a área científica e a cadeia produtiva do cereal.

A Embrapa tem desenvolvido trabalhos de pesquisa com melhoramento dessa cultura para o Sul do Brasil, disponibilizando 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. Os lançamentos mais destacados recentemente pela Embrapa de cultivares com essas características são a BRS Pampa (Magalhães Júnior et al., 2012) e BRS Pampeira (Magalhães Júnior et al., 2017). A cultivar BR IRGA 409 também merece destaque por ser uma cultivar antiga (lançada em 1979) que ainda encontra-se em cultivo no Rio Grande do Sul pela sua qualidade dos grãos.

O objetivo do trabalho foi estimar o progresso genético para os atributos de qualidade dos grãos das cultivares de arroz lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa para o Rio Grande do Sul, no período entre 1972 a 2016.

Material e Métodos

A experimentação foi implementada na safra 2015/2016 em quatro locais do estado do Rio Grande do Sul: I) Estação de Terras Baixas da Embrapa Clima Temperado no município

de Capão do Leão (latitude S 31°48'59" e longitude O 52°27'48") - região orizícola da Zona Sul, sob Planossolo Háplico Eutrófico solódico; II) Propriedade Rural em Nova Esperança do Sul (latitude S 29°27'16" e longitude O 54°46'27") - região orizícola da Campanha, constituída de um Planossolo Háplico Eutrófico; III) Estação Experimental do Arroz da Associação dos Usuários do Perímetro de Irrigação do Arroio Duro em Camaquã (latitude S 30°51'58" e longitude O 51°47'48") - região orizícola da Planície Costeira Interna em Planossolo Háplico Eutrófico solódico; IV) Propriedade Rural de Mostardas (latitude S 31°03'08" e longitude O 50°54'29") - região orizícola da Planície da Costeira Externa, sob um Planossolo Háplico Eutrófico solódico.

O delineamento para todos os ambientes de estudo foi de blocos casualizados com três repetições, sendo as unidades experimentais constituídas de parcelas compostas por 4 linhas 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 2 fileiras internas, de modo a, excluir algum efeito indesejável incidente sobre a bordadura. A irrigação foi realizada sob sistema por inundação permanente até o estágio de final de maturação dos genótipos. A densidade de semeadura foi de 100 kg ha⁻¹ de sementes viáveis, utilizando-se uma semeadora mecânica de parcelas, sob sistema de plantio convencional. As adubações de base e nitrogenada foram realizadas conforme uma análise prévia do solo, sendo que, a adubação nitrogenada foi via ureia, aplicado 50% da dose no estágio V4 (início do perfilhamento) e o restante no estágio R0 (diferenciação do primórdio floral). O manejo de pragas e doenças foi realizado conforme as recomendações técnicas para a cultura do arroz irrigado no Sul do Brasil.

A colheita dos grãos foi realizada manualmente, evitando possíveis misturas indesejadas entre as cultivares, quando atingida uma umidade média dos grãos de 22%. Posteriormente, os grãos foram acondicionados em um secador, com a finalidade de reduzir a umidade relativa para aproximadamente 13%. Posteriormente, os grãos passaram por um beneficiamento em

um mini engenho de prova Suzuki (Modelo MT 2012, Máquinas Suzuki S/A) para o processo de descasque e polimento, assim, obtendo-se o rendimento de grãos inteiros (%) após o beneficiamento. Os atributos físicos de qualidade intrínsecos dos grãos foram avaliados através do analisador estatístico de grãos Modelo S21 (S21 Solutions), baseado na análise de imagens digitais de cada amostra. Cada amostra contemplando 100 g de arroz descascado e polido passou por um capturador de imagens digitais, onde capturava o vídeo dos grãos sendo movimentados internamente e transmitia as imagens para um software automático de processamento de dados (citar o software). Foram determinados os seguintes parâmetros: comprimento e largura dos grãos polidos (mm); percentual de grãos gessados e barriga branca (%); área gessada total (%); defeitos gerais de coloração dos grãos (grãos ardidos, mofados, rajados, manchados e amarelos) (%); e brancura total (escala de brancura do S21), brancura vítrea (escala de brancura do S21) e brancura não vítrea dos grãos (escala de brancura do S21). Esta escala de brancura do S21 vai de 0 a 200, no qual 200 é o valor de brancura máxima, sendo que, na brancura vítrea é descartada a massa considerada gessada.

Além desses atributos físicos, foram avaliados ainda a massa de 1000 grãos (g) e os parâmetros químicos de qualidade como teor de amilose (%) e temperatura de gelatinização (%), ambos avaliados pelo Laboratório de Pós-Colheita, Industrialização e Qualidade de Grãos da Universidade Federal de Pelotas. O teor de amilose foi determinado por método colorimétrico adaptado por Martínez & Cuevas (1989), por medida da absorbância do complexo amilose-iodo em Espectofotômetro (Femto, Modelo 600 Plus). A estimativa da faixa de temperatura de gelatinização foi realizada conforme Martinez & Cuevas (1989), com solução de hidróxido de potássio. Após a obtenção dos dados fenotípicos, realizaram-se as estimativas genéticas das características em análise através dos modelos lineares mistos, devido a perdas de unidades experimentais. Os componentes de variância e parâmetros genéticos foram estimados através da máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição

dos valores genéticos por BLUP (“Best Linear Unbiased Predictor”). O modelo estatístico representado foi:

$$Y = X_r + Z_g + W_i + \varepsilon ;$$

em que, “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 o vetor dos efeitos da interação genótipo x ambiente (aleatórios) e “ε” é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). Para esta inferência das médias genotípicas utilizou-se o software estatístico Selegen-REML/BLUP (Resende, 2016).

As estimativas do progresso genético seguiram a abordagem baseada na análise comparativa de cultivares lançadas ao longo dos anos, sendo obtida pela avaliação de 25 cultivares de arroz irrigado desenvolvidas e lançadas para o RS pelo programa de melhoramento genético da Embrapa exclusivamente ou em parceria com outras instituições de pesquisa (Tabela 1) no período entre os anos de 1972 a 2016 (excetuando-se a cultivar BR IRGA 415 que não foram encontradas sementes disponíveis). A cultivar Bluebelle (cultivar de origem americana) introduzida na década de 1970 e muito utilizada na época no sul do Brasil, também foi adicionada no ensaio para aumentar a acurácia da experimentação. A partir das estimativas genéticas de cada característica, foram obtidos os progressos genéticos médios anuais via regressão linear generalizada. O progresso genético relativo foi estimado como a relação entre o ganho anual e o intercepto inicial, em porcentagem, na qual o intercepto inicial representa o estágio inicial do programa de melhoramento.

Resultados e Discussão

As estimativas dos parâmetros genéticos (Tabela 2) para os caracteres de qualidade dos grãos demonstraram elevada variabilidade genética, onde os altos índices de variância genética aliados aos altos coeficientes de herdabilidade (exceto para percentual de grãos

inteiros e defeitos de coloração dos grãos) demonstram que grande parte da variância fenotípica é explicada pela variância de ordem genética, com minimização dos efeitos de ambiente. Além disso, a elevada acurácia experimental (acima de 0,90) obtida para todos os caracteres avaliados, evidenciou elevada confiabilidade nas inferências das médias genotípicas. Ensaio que apresentam valores de acurácia acima de 0,90 podem ser considerados de excelente precisão experimental. Segundo Resende & Duarte (2007), a inferência da acurácia experimental é recomendada em ensaios de avaliação de cultivares, pois aborda perspectivas do ponto de vista genético e estatístico, considerando as proporções entre as variações de natureza genética e residual associadas ao caráter em avaliação, além da magnitude da variação residual.

Os progressos genéticos obtidos pela atuação do programa de melhoramento genético da Embrapa no Rio Grande do Sul pela comparação de cultivares são apresentados na Tabela 3. No decorrer do período entre 1972 a 2016, verifica-se que o programa de melhoramento obteve progressos genéticos significativos para os atributos de percentual de grãos inteiros após o beneficiamento, percentual de grãos gessados e barriga branca, área gessada dos grãos e nos atributos relacionados à brancura dos grãos. Para defeitos de coloração, não foram constatados progressos significativos para o referido período. Os níveis de progressos genéticos obtidos encontram-se em consenso com Lopes et al. (2012), que relataram o empenho da Embrapa em desenvolver cultivares produtivas e com elevada qualidade.

Para o percentual de grãos inteiros após o beneficiamento (Tabela 3 e Figura 1), pode-se constatar que houve um ganho genético de 0,113% de grãos inteiros ao ano, representando um progresso genético de 0,20% para esse caráter considerado o mais importante dentre os quesitos de qualidade de grãos.

Nesse caráter, destacaram-se geneticamente as três cultivares recentemente lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa, sendo elas: BRS Pampeira, BRS Pampa e BRS

358. A BRS Pampeira apresentou rendimento médio de 63% de grãos inteiros, confirmando dados de Magalhães Júnior et al. (2017) que verificaram rendimentos superiores à 62% de grãos inteiros polidos. A cultivar BRS Pampa apresentou 65% de rendimento de grãos inteiros, e é considerada no Rio Grande do Sul uma cultivar de excelência quanto à qualidade de grãos (Magalhães Júnior et al., 2012), sendo que, apresenta base genética similar à cultivar IRGA 417, que é conhecida nacionalmente pela indústria por apresentar grãos do tipo “premium” ou “nobre” (Champagne et al., 2010). Já a BRS 358 se destacou por evidenciar 66% de rendimento industrial de grãos inteiros, o que era de se esperar devido ao fato de ser cultivar de grão curto, destinada a culinária oriental.

Cabe ressaltar que as cultivares de arroz irrigado BR IRGA 409 e BR IRGA 410, mesmo sendo cultivares antigas lançadas nos anos de 1979 e 1980, apresentaram altos rendimentos de beneficiamento. Essas cultivares proporcionaram naquele período a denominada revolução verde do arroz no Brasil, devido a uma nova arquitetura de planta que permitiu elevar o potencial de produtividade no Rio Grande do Sul (Streck et al., 2017), conjuntamente a bons atributos de qualidade dos grãos.

Borges et al. (2009) mencionaram que atributos de qualidade dos grãos foram os principais objetivos de seleção a partir do final da década de 1980, sendo intensificada a pressão de seleção para fatores relacionados à estes caracteres.

O percentual de barriga branca e de grãos gessados são atributos afetados pela atuação de distúrbios fisiológicos, podendo impedir o enchimento normal dos grãos. Logo, esses caracteres são de grande preocupação no melhoramento de arroz, pois são fatores-chave na determinação da qualidade e no preço do arroz (Yoshioka et al., 2007). Nesta tendência, o programa de melhoramento obteve um elevado progresso genético de -1,38% para o período de 45 anos, representando uma tendência de redução anual de -0,031% na incidência desses atributos indesejados na cultura do arroz irrigado (Tabela 3).

A resposta das cultivares quanto ao percentual de gessados e barriga branca (Figura 2A) foram similares ao ranqueamento para a qualidade de rendimento de grãos inteiros após o beneficiamento. Demonstraram assim, a elevada particularidade das cultivares BRS Pampeira, BRS Pampa e BRS 358 quanto aos quesitos de qualidade. Além dessas, a cultivar BRS Sinuelo CL, lançada em 2010, também apresentou baixa incidência de grãos gessados e barriga branca.

Em consequência a essa redução de grãos gessados e com barriga branca, a área gessada total dos grãos também reduziu, resultando no progresso genético relativo de -0,77% (Tabela 3). Essa redução de -0,138% ao ano, direcionou a pesquisa à obtenção de cultivares superiores geneticamente para este caráter (Figura 2B).

Entre os caracteres que fazem parte na determinação da qualidade dos grãos, como a coloração e parâmetros relacionados a aparência dos grãos, encontram-se intrinsecamente relacionados à aceitabilidade do consumidor, o que pode resultar na depreciação do produto no mercado.

Conforme a Tabela 3, não houve ganhos significativos para os defeitos de coloração. Contudo, essa é uma característica muito peculiar, pois cada cultivar de arroz responde de forma distinta à incidência de fatores bióticos e abióticos que podem ocasionar danos metabólicos aos grãos, fato esse que irá acarretar em defeitos de coloração.

No entanto, para brancura total e brancura não vítrea (Tabela 3, Figuras 3A e 3B) obtiveram-se ganhos genéticos significativos, representados por uma redução anual de -0,103% e -0,094%, respectivamente. Nesse sentido, o programa obteve êxito no progresso de melhoramento, acarretando em progresso genético anual de -0,08% para brancura total e -0,82% para brancura não vítrea, ou seja, obteve-se uma redução da opacidade total dos grãos. Logo, as cultivares lançadas recentemente apresentam os grãos mais vítreos, parâmetro, amplamente buscado atualmente na cultura do arroz irrigado.

Ressalta-se que, outros parâmetros relacionados à constituição e aparência dos grãos também necessitam de uma ênfase minuciosa, pois podem determinar influências no mercado consumidor. Na Tabela 4, depreende-se que existe uma grande variação tanto nas dimensões dos grãos, que acarretam em distintas formas do grão, como na massa desses grãos das cultivares. Quanto às dimensões dos grãos, verificou-se que três cultivares enquadram-se no formato de grão mais arredondado, ou seja, apresentaram a relação entre o comprimento e a largura inferior a 2,0 ($<1,50$ = arredondado; $1,50-2,00$ = semi-arredondado), característico da subespécie *Japonica*. As demais cultivares são consideradas da subespécie *Indica*, apresentando grãos com formato alongado. Essas variações físicas dos grãos quanto ao formato e às diferenças na constituição bioquímica são responsáveis pela grande variabilidade genética para massa de 1000 grãos, demonstrando uma flutuação entre 23,65g para a BRS 358 e 35,50g para a BR IRGA 411.

Além dos atributos físicos do grão, as características bioquímicas são fundamentais para se determinar as características sensoriais e culinárias do arroz. O teor de amilose é um dos parâmetros amplamente utilizados para determinação da qualidade tecnológica e de consumo do arroz, logo, deve ser considerada no melhoramento de cultivares (Walter et al., 2008). Os dados demonstrados na Tabela 4 revelam a busca do programa de melhoramento da Embrapa por teores de amilose altos ou, no mínimo, intermediários, propiciando grãos soltos e macios após o processo de cocção, que atendam as exigências do mercado. Assim, apenas as cultivares desenvolvidas para nichos de mercado, relacionados à culinária japonesa, apresentam baixo teor de amilose.

Além do teor de amilose, a temperatura de gelatinização (TG) também é um parâmetro indireto extremamente importante na qualidade do arroz, pois avalia o índice de resistência à cocção, e está relacionada com a determinação do tempo de cocção. Conforme Tabela 4, verificou-se que a maioria das cultivares apresentaram TG entre baixa (63°C e 68°C) à

intermediária (69°C e 73°C). Isso demonstra que a maioria das cultivares lançadas requer menos água e menos tempo para o processo de cocção.

Neste contexto, pode-se destacar que o programa de melhoramento genético de arroz da Embrapa no Rio Grande do Sul vem obtendo elevado êxito no desenvolvimento de cultivares com uma ampla gama de atributos de interesse para os mais variados setores da cadeia do arroz irrigado.

No entanto, vale salientar que os atributos relacionados à qualidade dos grãos na cultura do arroz irrigado encontram-se altamente relacionado não apenas à fatores genéticos, mas também de ambiente (Cameron et al., 2008; Hakata et al., 2012; Lyman et al., 2013; Li et al., 2014; Xu et al., 2015). Os atributos físicos são traços quantitativos muito complexos, pois são controlados por efeitos maternos e citoplasmáticos, logo, muitos mecanismos genéticos e interações com o ambiente ainda permanecem obscuros (Shi et al., 2002; Zhou et al., 2009).

As condições ambientais e de manejo adversos à cultura afetam diretamente o processo de formação e enchimentos dos grãos, e conseqüentemente, podem acarretar em danos aos grãos, decorrentes de metabolismo alterado. Esses danos podem ser atribuídos à incidência de fatores prejudiciais à planta, podendo ser tanto devido a fatores bióticos (incidência de pragas, plantas daninhas e doenças), quanto fatores abióticos (condições climáticas e de solo). Além disso, o manejo no momento e procedimentos na colheita, bem como o processo de beneficiamento na pós-colheita, também são importantes para a obtenção da máxima expressão das características de qualidade de uma cultivar.

Assim, cabe ressaltar os inúmeros avanços em tecnologias de manejo e pós-colheita obtidos nos últimos anos pelos mais variados setores produtivos, permitindo assim, que as cultivares de arroz expressem com maior facilidade seu potencial genético para os atributos de qualidade dos grãos.

Conclusões

1. O programa de melhoramento da Embrapa de arroz irrigado no Rio Grande do Sul – 1972 a 2016 - propiciou progressos genéticos quanto aos atributos de qualidade de grãos: 0,20% do percentual de grãos inteiros após o beneficiamento; -1,38% do percentual de grãos gessados ou com barriga branca; - 0,77% de área gessada; -0,08% de brancura total e – 0,82% de brancura não vítrea dos grãos.
2. As cultivares de ciclo médio BRS Pampeira (2016) e Sinuelo CL (2010) e as cultivares de ciclo precoce BRS 358 (2015) e BRS Pampa (2011) se destacam com resposta genotípica favorável aos principais atributos físicos de qualidade dos grãos.
3. A maioria das cultivares lançadas pelo programa de melhoramento da Embrapa apresentam alto teor de amilose e baixa temperatura de gelatinização.

Agradecimentos

À Embrapa Clima Temperado pelo aporte técnico, científico e de infraestrutura, para a realização dos experimentos.

Referências

- BORGES, V.; SOARES, A.A.; RESENDE, M.D.V.; REIS, M.S.; CORNÉLIO, V.M.O.; SOARES, P.C. Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de minas gerais utilizando modelos mistos. **Revista Brasileira de Biometria**, v.27, n.3, p.478-490, 2009.
- BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P.H.N.; MORAIS, O.P. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v34, p.399–407, 1999.

CAMERON, D.K.; WANG, Y.J.; MOLDENHAUER, K.A. Comparison of physical and chemical properties of medium-grain rice cultivars grown in California and Arkansas. **Journal of Food Science**, v.73, c.72-78, 2008. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00631.x.

CHAMPAGNE, E.T.; BETT-GARBER, K.L.; FITZGERALD, M.A.; GRIMM, C.C.; LEA, J.; OHTSUBO, K.; JONGDEE, S.; XIE, L.; BASSINELLO, P.Z.; RESURRECCIÓN, A.; AHMAD, R.; HABIBI, F.; REINKE, R. Important sensory properties differentiating premium rice varieties. **Rice**, v.3, p.270-281, 2010. DOI: 10.1007/s12284-010-9057-4.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra: Grãos. Brasília: 2016. Available at: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_boletim_graos_abr_2017.pdf>. Accessed on May 05, 2017.

DOVALE, J.C.; SOARES, P.C.; CORNÉLIO, V.M.O.; REIS, M.S.; BORGES, V.; BISI, R.B.; SOARES, A.A.; FRITSCHÉ-NETO, R. Contribuição genética na produtividade do arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1998 a 2010. **Bragantia**, v.71, n.4, p.460-466, 2012. DOI: 10.1590/S0006-87052012000400002

EDWARDS, J.D.; JACKSON, A.K.; MCCLUNG, A.M. Genetic architecture of grain chalk in rice and interactions with a low phytic acid locus. **Field Crops Research**, v.205, n.2, p. 116-123, 2017. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.01.015.

FITZGERALD, M.A.; HAMILTON, N.R.S.; CALINGACION, M.N.; VERHOEVEN, H.A.; BUTARDO, V. M. Is there a second gene for fragrance in rice? **Plant Biotechnology Journal**, Oxford, v. 6, n. 4, p.416-423, 2008a. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2008.00327.x.

FITZGERALD, M.A.; MCCOUCH, S.R.; HALL, R.D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science**, v.14, p.133-139, 2008b. DOI: 10.1016/j.tplants.2008.12.004.

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**, v.10, p.1110-1117, 2012. DOI: 10.1111/j.1467-7652.2012.00741.x.

LEE, I.; SEO, Y.S.; COLTRANE, D.; HWANG, S.; OH, T.; MARCOTTE, E.M.; RONALD, P.C. Genetic dissection of the biotic stress response using a genome-scale gene network for rice. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108, p.18548-18553, 2011. DOI:10.1073/pnas.1110384108.

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, p.398-404, 2014. DOI: 10.1038/ng.2923.

LOPES, M.A.; FALEIRO, F.G.; FERREIRA, M.E.; LOPES, D.B.; VIVIAN, R.; BOITEUX, L.S. Embrapa's contribution to the development of new plant varieties and their impact on Brazilian agriculture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, S2, p.31-46, 2012. DOI: 10.1590/S1984-70332012000500005.

LYMAN, N.B.; JAGADISH, K.S.; NALLEY, L.L.; DIXON, B.L.; SIEBENMORGEN, T. Neglecting rice milling yield and quality underestimates economic losses from high-temperature stress. **Plos One**, v.8, e72157, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0072157.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de; MORAIS, O.P. de; FAGUNDES, P.R.R.; COLOMBARI FILHO, J.M.; FRANCO, D.F.; CORDEIRO, A.C.C.; PEREIRA, J.A.; RANGEL, P.H.N.; MOURA NETO, F.P.; STRECK, E.A.; AGUIAR, G.A.; FACCHINELLO, P.H.K. 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. de; MORAIS, O.P. de; FAGUNDES, P.R.R.; MOURA NETO, F.P.; FRANCO, D.F.; NEVES, P.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**. 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: 17 jan. 2017.

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 75 p.

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, suplemento 1, p.2605-2618, 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33Sup1p2605.

RESENDE, M.D.V. Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.16, p.330-339, 2016. DOI: 10.1590/1984-70332016v16n4a49.

RESENDE, M.D.V.; 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 filling stages of rice (*Oryza sativa* L.). **Field Crops Research**, v.76, p.1-9, 2002. DOI: 10.1016/S0378-4290(02)00011-4.

SMIDERLE, O.J.; DIAS, C.T.S. Época de colheita e qualidade fisiológica de sementes em arroz irrigado (*Oryza sativa* L. cv. BRS Roraima). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 3, p. 188-194, 2008.

STRECK, E.A.; AGUIAR, G.A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de; FACCHINELLO, P.H.K.; OLIVEIRA, A.C. de. Variabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado via análise multivariada. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.1, p.101-109, 2017. DOI: 10.5935/1806-6690.20170011.

TABIEN, R.E.; SAMONTE, S.O.P.B.; MCCLUNG, A.M.. Forty-eight years of rice improvement in Texas since the release of cultivar Bluebonnet in 1944. **Crop Science**, v.48, p.2097–2106, 2008. DOI: 10.2135/cropsci2007.12.0680.

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

XU, Q.; CHEN, W.; XU, Z. Relationship between grain yield and quality in rice germplasms grown across different growing areas. **Breeding Science**, v.65, p.226–232, 2015. DOI: 10.1270/jsbbs.65.226.

YOSHIOKA, Y.; IWATA, H.; TABATA, M.; NINOMIYA, S.; OHSAWA, R. Chalkiness in rice: Potential for evaluation with image analysis. **Crop Science**, v.47, p.2113–2120, 2007. DOI: 10.2135/cropsci2006.10.0631sc.

ZEIGLER, R.S.; BARCLAY, A. The Relevance of Rice. **Rice**, v.1, n.1, p.3-10, 2008. DOI: 10.1007/s12284-008-9001-z.

ZHOU, L.J.; JIANG, L.; ZHAI, H.Q.; WAN, J.M. Current status and strategies for improvement of rice grain chalkiness. **Hereditas**, v.31, n.6, p.563-572, 2009. DOI: 10.3724/SP.J.1005.2009.00563.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v.37, p.849-868, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2621.2002.00625.x.

Tabela 1. Cultivares lançadas, ciclo cultural e ano de lançamento pelo programa de melhoramento genético de arroz irrigado da Embrapa para o Rio Grande do Sul.

Cultivar	Lançamento	Ciclo Cultural
IAS 12-9 Formosa	1972	Tardio
BR IRGA 409	1979	Médio
BR IRGA 410	1980	Médio
BR IRGA 411	1985	Médio
BR IRGA 412	1986	Médio
BR IRGA 413	1986	Médio
BR IRGA 414	1987	Precoce
BRS 6 “Chuí”	1991	Precoce
BRS 7 “Taim”	1991	Médio
BRS Ligeirinho	1995	Super Precoce
BRS Agrisul	1995	Médio
BRS Bojuru	1997	Médio
BRS Atalanta	1999	Super Precoce
BRS Firmeza	1999	Precoce
BRS Pelota	2000	Médio
BRS SCS 113 Tio Taka	2004	Tardio
BRS Fronteira	2005	Médio
BRS Querência	2005	Precoce
BRS Cirad 302	2010	Médio
BRS Sinuelo CL	2010	Médio
BRS Pampa	2011	Precoce
BRS 358	2015	Precoce
BRS Pampeira	2016	Médio

Tabela 2. Componentes de variância, obtidos via REML individual, considerando a análise conjunta de 25 cultivares de arroz irrigado avaliadas em quatro locais no Rio Grande do Sul para os caracteres de qualidade dos grãos: percentual de grãos inteiros após o beneficiamento (GI), percentual de área gessada (AG), percentual de barriga branca (BB), defeitos de coloração nos grãos (DC), brancura total dos grãos (BT) e brancura não vítrea (BNV).

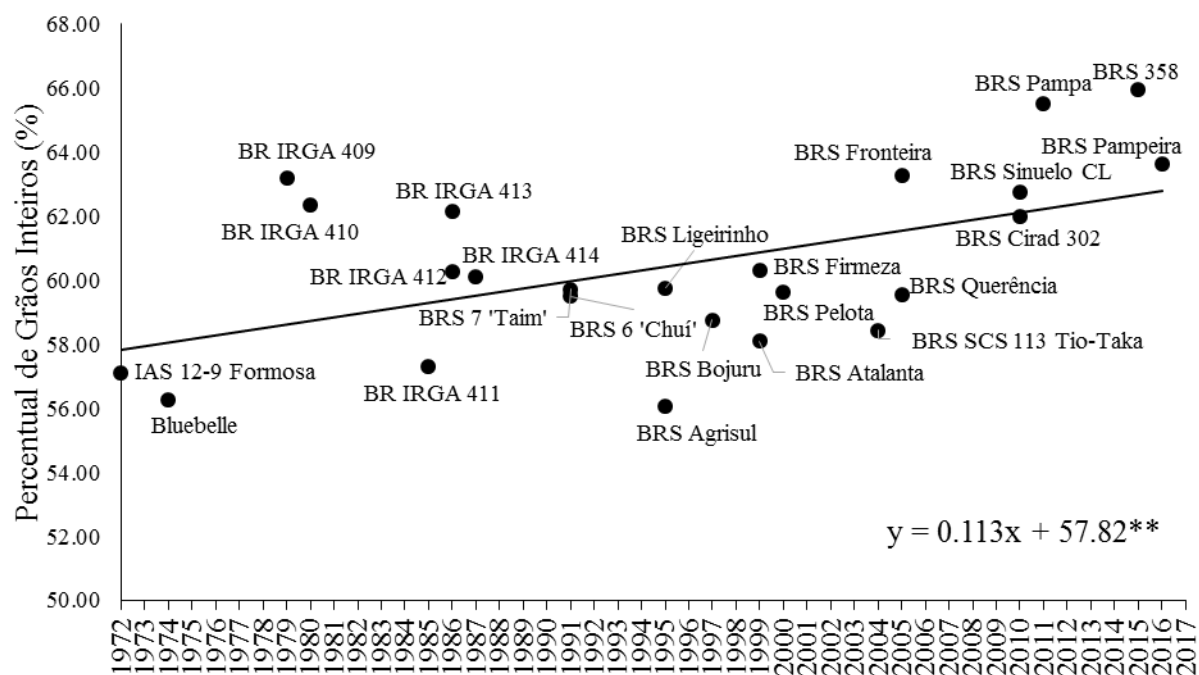
Componentes de Variância	GI (%)	AG (%)	BB (%)	DC (%)	BT ⁽¹⁾	BNV ⁽¹⁾
V _g	12,80	72,46	90,91	11,23	25,25	66,24
V _{int}	9,15	5,98	3,19	3,23	2,51	6,19
V _e	9,11	10,45	11,50	4,63	5,42	10,42
V _f	31,06	88,88	105,61	19,08	33,18	82,86
h ² _g	0,41 +- 0,11	0,82 +- 0,15	0,86 +- 0,16	0,59 +- 0,13	0,76 +- 0,15	0,80 +- 0,15
c ² _{int}	0,29	0,07	0,03	0,17	0,08	0,07
h ² _{mg}	0,81	0,97	0,98	0,90	0,96	0,96
A ^c _g	0,90	0,98	0,99	0,95	0,98	0,98
r ^g _a	0,58	0,92	0,97	0,78	0,91	0,91
μ	60,12	16,29	3,40	5,04	132,53	10,89

V_g- variância genotípica; V_{int}- variância da interação genótipo x ambiente; V_e- variância residual; V_f- variância fenotípica; h²_g- herdabilidade dos efeitos genotípicos totais; c²_{int}- coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente; h²_{mg}- herdabilidade no sentido amplo ao nível de média de genótipos; A^c_g- Acurácia da seleção ao nível de média de genótipos; r^g_a- correlação genotípica entre genótipo x ambiente; μ- média geral; ⁽¹⁾ Unidade de escala do S21.

Tabela 3. Estimativas dos parâmetros de regressão linear e progresso genético para percentual de grãos inteiros após o beneficiamento (GI), percentual de área gessada (AG), percentual de barriga branca (BB), defeitos de coloração nos grãos (DC), brancura total dos grãos (BT) e brancura não vítrea (BNV), através da análise comparativa das 25 cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 a 2016.

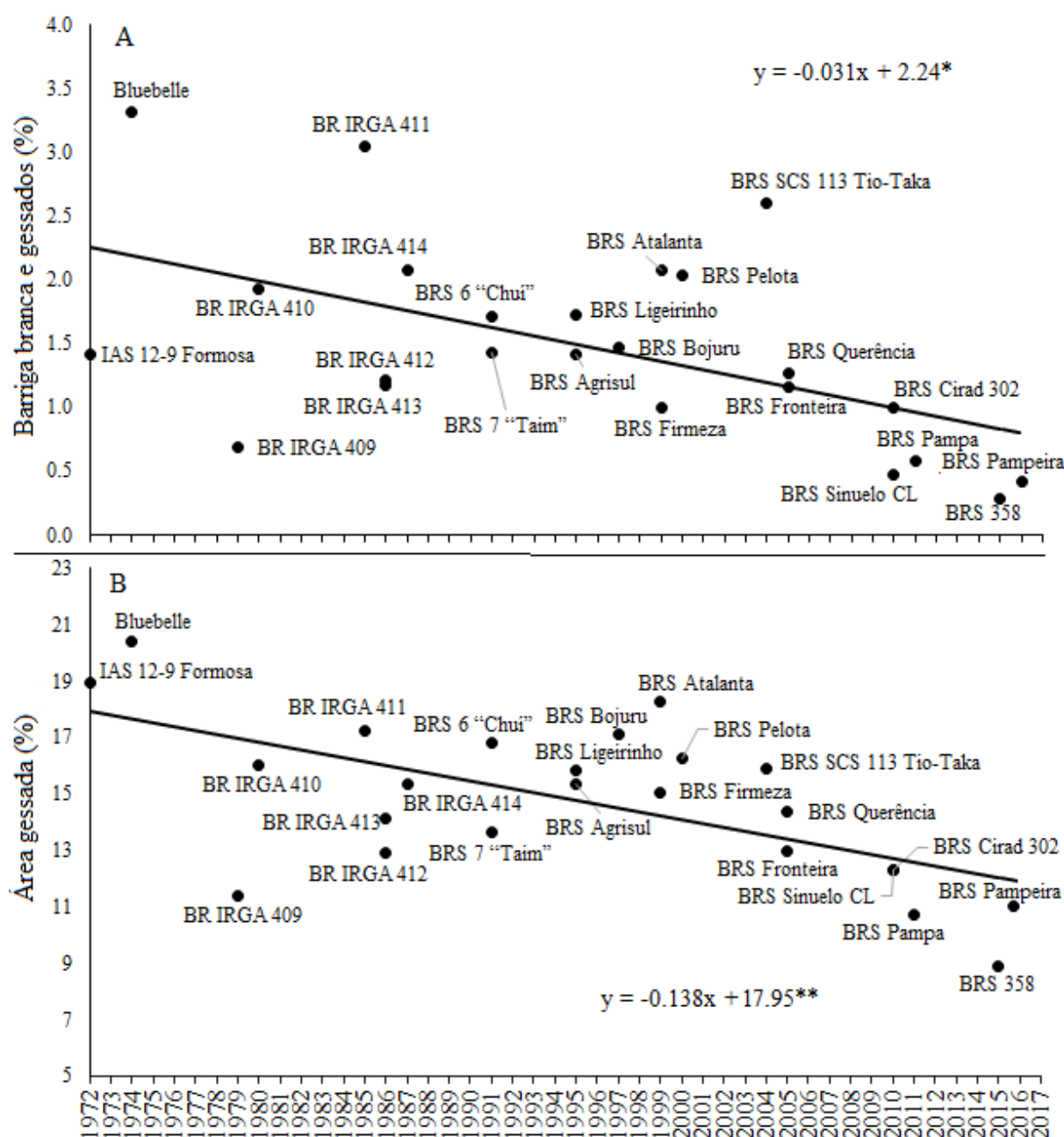
Parâmetros	GI (%)	BB (%)	AG (%)	DC (%)	BT	BNV
Intercepto inicial	57,82	2,24	17,95	6,1	134,07	11,53
Ganho ano ⁻¹	0,113**	-0,031*	-0,138**	-0,052 ^{ns}	-0,103**	-0,094**
Teste t	2,91	-2,34	-3,70	-0,99	-3,23	-3,80
Probabilidade	0,008	0,028	0,001	0,664	0,004	0,001
Progresso relativo	0,20%	-1,38%	-0,77%	-	-0,08%	-0,82%

^{ns} não significativo; * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.



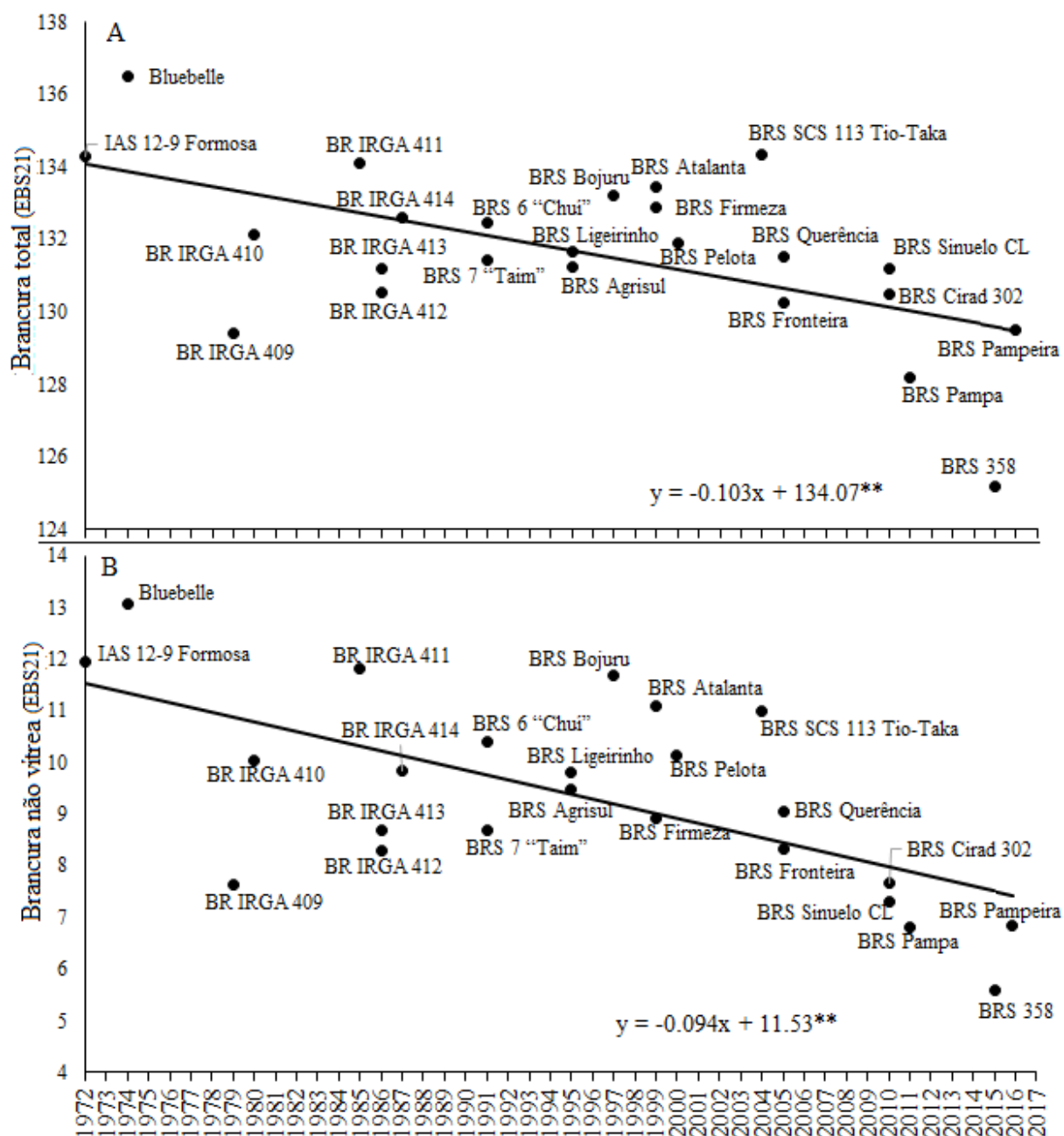
** significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Figura 1. Progresso genético para percentual de grãos inteiros após o beneficiamento, obtido pela regressão linear de ensaios comparativos das cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 a 2016.



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

Figura 2. Progresso genético para percentual de grãos com barriga branca e gessados (A) e área gessada total dos grãos (B) após o beneficiamento, obtido pela regressão linear de ensaios comparativos das cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 a 2016.



** significativo ao nível de 1% de probabilidade;

Figura 3. Progresso genético para brancura total (A) e brancura não vítrea (B) após o beneficiamento, obtido pela regressão linear de ensaios comparativos das cultivares de arroz irrigado lançadas entre 1972 a 2016.

Tabela 4. Resposta das cultivares de arroz irrigado lançadas pela Embrapa para o Rio Grande do Sul entre 1972 a 2016 frente aos atributos de comprimento dos grãos (CG), largura dos grãos (LG), relação entre o comprimento e a largura dos grãos (RCLG), massa de 1000 grãos (MMG), teor de amilose (TA) e temperatura de gelatinização (TG).

Cultivar	CG (mm)	LG (mm)	RCLG (¹)	MMG (g)	TA (²)	TG (³)
IAS 12-9 Formosa	4,93	2,59	1,90	29,35	B	B
BR IRGA 409	6,38	2,03	3,14	26,80	A	B
BR IRGA 410	6,69	2,10	3,18	29,25	A	B
BR IRGA 411	6,76	2,19	3,08	35,50	-	-
BR IRGA 412	6,51	2,05	3,17	29,00	A	B
BR IRGA 413	6,12	2,15	2,85	27,45	I	I/B
BR IRGA 414	6,61	2,16	3,06	29,20	A	B
BRS 6 “Chuí”	6,10	2,05	2,97	23,90	A	I/B
BRS 7 “Taim”	6,46	2,05	3,15	28,40	I	I/B
BRS Ligeirinho	6,03	2,09	2,88	25,35	-	-
BRS Agrisul	6,69	1,94	3,45	25,85	-	-
BRS Bojuru	5,20	2,60	2,00	29,50	B	B
BRS Atalanta	6,55	1,99	3,29	25,75	A	I
BRS Firmeza	6,79	2,09	3,25	29,00	I/B	I
BRS Pelota	6,49	2,08	3,11	28,25	I	I/B
BRS SCS 113 Tio Taka	6,73	2,09	3,23	28,05	A	I
BRS Fronteira	6,66	2,10	3,17	30,20	A	B
BRS Querência	6,59	1,98	3,33	27,00	I	I/B
BRS Sinuelo CL	6,65	2,11	3,16	29,25	A	A
BRS Cirad 302	6,61	2,00	3,30	26,05	I	I/A
BRS Pampa	6,62	2,01	3,29	26,45	A	B
BRS 358	5,08	2,55	1,99	23,65	B	I
BRS Pampeira	6,88	2,01	3,43	29,40	A	B

(¹) Formato do grão na relação entre comprimento e largura da cariopse: <1,50 = arredondado; 1,50 a 2,00 = semi-arredondado; 2,01 a 2,75 = meio-alongado; 2,76 a 3,50 = alongado; >3,50 = muito-alongado; (²) B= baixa (<22%), I=intermediária (23 a 27%), A= alta (>28 a 33%); (³)B= baixa (63 a 68°C), I= intermediária (69 a 73°C), A= alta (74 a 80°C).

7 Considerações Finais

O programa de melhoramento genético de arroz irrigado da Embrapa no Sul do Brasil apresentou incrementos significativos na produtividade de grãos, redução no ciclo cultural até a floração e redução na estatura de plantas no período de 1972 à 2016.

Além disso, propiciou progressos genéticos quanto aos principais atributos físicos de qualidade de grãos: percentual de grãos inteiros após o beneficiamento; percentual de grãos gessados ou com barriga branca; percentual de área gessada; brancura total e brancura não vítrea dos grãos.

Ressalta-se que existem diferenças nas estimativas do progresso genético de um programa de melhoramento via meta-análise de séries históricas e avaliação das cultivares lançadas ao longo do período, logo, devem ser consideradas conjuntamente.

O conhecimento desses parâmetros são de extrema importância para o monitoramento da eficiência do programa de melhoramento. Assim, esta tese apresenta uma análise crítica da eficiência do programa e do processo de melhoramento genético no Rio Grande do Sul, de modo a, planejar novas ações e estratégias para o desenvolvimento e lançamento de novas cultivares.

Referências

ALVES, E.R. Embrapa: um caso bem-sucedido de inovação institucional. **Revista de Política Agrícola**, v. 19, p.65-73, 2010.

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, p.357-363, 2010.

BASTOS, I.T.; BARBOSA, M.H.P.; RESENDE, M.D.V.; PETERNELLI, L.A.; SILVEIRA, L.C.I.; DONDA, L.R.; FORTUNATO, A.A.; COSTA, P.M.A.; FIGUEIREDO, I.C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p.195-203, 2007.

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

BORGES, V.; SOARES, A.A.; RESENDE, M.D.V.; REIS, M.S.; CORNÉLIO, V.M.O.; SOARES, P.C. Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de minas gerais utilizando modelos mistos. **Revista Brasileira de Biometria**, v.27, n.3, p.478-490, 2009.

BOTELHO, C. O Arroz. **Typografia Levi**, 525 p. 1914.

BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O.P.; PINHEIRO, P.V.; SILVA, A.C.S.; CASTRO, E.M.; GUIMARÃES, E.P.; CASTRO, A.P.; PEREIRA, J.A.; LOPES, A.M.; UTUMI, M.M.; OLIVEIRA, J.P. Results of 25 Years of Upland Rice Breeding in Brazil. **Crop Science**, v. 51, 2011.

BRESEGHELLO, F.; MORAIS, O.P.; RANGEL, P.H.N. A new method to estimate genetic gain in annual crops. **Genetics and Molecular Biology**, v. 21, p.551–555, 1998.

BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P.H.N.; MORAIS, O.P. Ganho de produtividade pelo melhoramento genético do arroz irrigado no nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v34, p.399–407, 1999.

BRESEGUELLO, F.; COELHO, A.S.G. Traditional and Modern Plant Breeding Methods with Examples in Rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 8277–8286, 2013.

BUENO, L.G.; VIANELLO, R.P.; RANGEL, P.H.N.; UTUMI, M.M.; CORDEIRO, A.C.C.; PEREIRA, J.A.; FRANCO, D.F.; MOURA NETO, F.; MENDONÇA, J.A.; COELHO, A.S.G.; OLIVEIRA, J.P. de; BRONDANI, C. Adaptabilidade e estabilidade de acessos de uma coleção nuclear de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.2, p.216-226, 2012.

CAMERON, D.K.; WANG, Y.J.; MOLDENHAUER, K.A. Comparison of physical and chemical properties of medium-grain rice cultivars grown in California and Arkansas. **Journal of Food Science**, v.73, c.72–78, 2008.

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; FRONZA, V. Progress in breeding of irrigated wheat for the Cerrado region of Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.8, p.39–46, 2008.

CASTRO, E.M.; BRESEGHELLO, F.; RANGEL, P.H.; MORAES, O.P. Melhoramento do arroz. In: Borém, A. (Ed.) **Melhoramento de espécies cultivadas**. UFV, Viçosa, p. 95-130. 1999.

CHAMPAGNE, E.T.; BETT-GARBER, K.L.; FITZGERALD, M.A.; GRIMM, C.C.; LEA, J.; OHTSUBO, K.; JONGDEE, S.; XIE, L.; BASSINELLO, P.Z.; RESURRECCIÓN, A.; AHMAD, R.; HABIBI, F.; REINKE, R. Important sensory properties differentiating premium rice varieties. **Rice**, v.3, p.270-281, 2010.

CHENG, S., L. CAO, J. ZHUANG, S. CHEN, X. ZHAN, Y. FAN, D. ZHU; S. MIN. Super hybrid rice breeding in China: achievements and prospects. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.49, p.805–810, 2007.

CHIORATO, A.F.; CARBONELL, S.A.M.; VENCOVSKY, R.; FONSECA JÚNIOR, N.S.; PINHEIRO, J.B. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC

from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.329-336, 2010.

COLOMBARI FILHO, J.M.; RESENDE, M.D.V.; MORAIS, O.P.; 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, p.117–129, 2013.

CONAB 2015. Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos: Sexto Levantamento – Março/ 2015. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_03_10_09_00_11_boletim_graos_marco_2015.pdf. Acesso em: 01 de abril de 2015.

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. 2016. Séries históricas: Arroz.
<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&>. (accessed on June 21, 2016).

CONAB Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. Acompanhamento de safra: Grãos.
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_boletim_graos_abr_2017.pdf. (accessed on May 05, 2017).

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra: Grãos. Brasília: 2016. Available at:
 <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_04_17_17_20_55_boletim_graos_abr_2017.pdf>. Accessed on May 05, 2017.

DE LA VEGA, A.J.; DELACY, I.H.; CHAPMAN, S.C. Progress over 20 years of sunflower breeding in central Argentina. **Field Crops Research**, v.100, p.61–72, 2007.

DE VITA, P.; NICOSIA, O.L.D.; NIGRO, F.; PLATANI, C.; RIEFOLO, C.; DI FONZO, N.; CATTIVELLI, L. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, v.26, p.39–53, 2007.

DOVALE, J.C.; SOARES, P.C.; CORNÉLIO, V.M.O.; REIS, M.S.; BORGES, V.; BISI, R.B.; SOARES, A.A.; FRITSCHÉ-NETO, R. Contribuição genética na produtividade

do arroz irrigado em Minas Gerais no período de 1998 a 2010. **Bragantia**, v.71, n.4, p.460-466, 2012.

EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, p.36-40, 1966.

EDWARDS, J.D.; JACKSON, A.K.; MCCLUNG, A.M. Genetic architecture of grain chalk in rice and interactions with a low phytic acid locus. **Field Crops Research**, v.205, n.2, p. 116-123, 2017. DOI: 10.1016/j.fcr.2017.01.015.

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: 20 de março de 2015.

FAO, 2017. FAO Rice Market Monitor, December 2017, Volume XX - Issue No. 2. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/est/publications/rice-publications/rice-market-monitor-rmm/en/>. Acesso em: 01 de agosto de 2017.

FARIA, S.V.; LUZ, L.S.; RODRIGUES, M.C.; CARNEIRO, J.E.S.; CARNEIRO, P.C.S.; DELIMA, R.O. Adaptability and stability in commercial maize hybrids in the southeast of the State of Minas Gerais, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.2, p.347-357, 2017.

FITZGERALD, M.A.; HAMILTON, N.R.S.; CALINGACION, M.N.; VERHOEVEN, H.A.; BUTARDO, V. M. Is there a second gene for fragrance in rice? **Plant Biotechnology Journal**, v.6, n.4, p.416-423, 2008a.

FITZGERALD, M.A.; MCCOUCH, S.R.; HALL, R.D. Not just a grain of rice: the quest for quality. **Trends in Plant Science**, v.14, p.133-139, 2008b.

FONSECA, J.R.; BRONDANI, C.; BRONDANI, R.P.V.; RANGEL, P.H.N. Recursos genéticos. In: **A cultura do arroz no Brasil**. SANTOS, A.B.; STONE, L.F.; VIEIRA, N.R.A. (eds). 2 ed. ver. Ampl. – Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. p. 285-320.

GOMES, A.S.; MAGALHÃES JR., A. M. **Arroz Irrigado no Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 899p.

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**, v.10, p.1110–1117, 2012.

HAO, W.; LIN, H.X. Toward understanding genetic mechanisms of complex traits in rice. **Journal of Genetics and Genomics**, v.37, p.653–666, 2010.

JENNINGS, P.R.; COFFMAN, W.R.; KAUFFMAN, H.E. **Rice improvement**. Philippines: International Rice Research Institute, Los Baños, 1979. 186p.

JIANG, H., GUO, L.B.; QIAN, Q. Recent Progress on Rice Genetics in China. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.49, p.776–790, 2007.

KLERING, E.V.; FONTANA, D.C., BERLATO, M.A.; CARGNELUTTI FILHO, A. Modelagem agrometeorológica do rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.5, p.549-558, 2008.

LEE, I.; SEO, Y.S.; COLTRANE, D.; HWANG, S.; OH, T.; MARCOTTE, E.M.; RONALD, P.C. Genetic dissection of the biotic stress response using a genome-scale gene network for rice. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.108, p.18548-18553, 2011.

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, p.398-404, 2014.

LOPES, M.A.; FALEIRO, F.G.; FERREIRA, M.E.; LOPES, D.B.; VIVIAN, R.; BOITEUX, L.S. Embrapa's contribution to the development of new plant varieties and their impact on Brazilian agriculture. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, S2, p.31-46, 2012.

LYMAN, N.B.; JAGADISH, K.S.; NALLEY, L.L.; DIXON, B.L.; SIEBENMORGEN, T. Neglecting rice milling yield and quality underestimates economic losses from high-temperature stress. **Plos One**, v.8, n.8, e72157, 2013.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; OLIVEIRA, A. C. Arroz. In: **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Rosa Lia Barbieri; Elisabeth Regina Tempel Stumpf – Editores Técnicos. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.187-218, 2008.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de; MORAIS, O.P. de; FAGUNDES, P.R.R.; MOURA NETO, F.P.; FRANCO, D.F.; NEVES, P.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**. 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: 17 jan. 2017.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; FAGUNDES, P.R.R.; FRANCO, D.F.; MORAIS, O.P.; STRECK, E.A.; AGUIAR, G.A.; FACCHINELLO, P.H.K.; SIQUEIRA, F.G. BRS AG: first cultivar of irrigated rice used for alcohol production or animal feed. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.72-77, 2017b.

MAGALHÃES JÚNIOR, A.M.; MORAIS, O.P.; FAGUNDES, P.R.R.; COLOMBARI FILHO, J.M.; FRANCO, D.F.; CORDEIRO, A.C.C.; PEREIRA, J.A.; RANGEL, P.H.N.; MOURA NETO, F.P.; STRECK, E.A.; AGUIAR, G.A.; FACCHINELLO, P.H.K. BRS Pampeira: new irrigated rice cultivar with high yield potential. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, p.78-83, 2017a.

MAGALHÃES JÚNIOR., 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 prognósticoclimático. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, p.13-33, 2003. (Embrapa Clima Temperado: Documentos, 113).

MARTÍNEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1989. 75p.

MASON, S.C.; KATHOL, D.; ESKRIDGE, K.M.; GALUSHA, T.D. Yield increase has been more rapid for maize than for grain sorghum. **Crop Science**, v.48, p.1560–1568, 2008.

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.

MENDES, F.F. GUIMARÃES, L.J.M.; SOUZA, J.C.; GUIMARÃES, P.E.O.; PACHECO, C.A.P.; MACHADO, J.R.A.; MEIRELLES, W.F.; SILVA, A.R.; PARENTONI, S.N. Adaptability and stability of maize varieties using mixed model methodology. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.12, n.2, p.111-117, 2012.

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, suplemento 1, p.2605-2618, 2012.

MORAIS JÚNIOR, O.P. de; MELO, P.G.S.; MORAIS, O.P. de; CASTRO, A.P. de; BRESEGHELLO, F.; UTUMI, M.M.; PEREIRA, J.A.; WRUCK, F.J.; COLOMBARI FILHO, J.M. Genetic progress after cycles of upland rice recurrent selection. **Scientia Agrícola**, v.72, n.4, p.297-305, 2015.

MORISHIMA, H. et al. Evolutionary studies in cultivated rice and its wild relatives. **Oxford Surveys in Evol. Biol.** v.8, p.135-184, 1992.

MURALIDHARAN, K.; PRASAD, G.S.V.; RAO, C.S. Yield performance of rice genotypes in international multi-environment trials during 1976– 97. **Current Science** v.83, n.5, p.610–619, 2002.

PATTERSON, H.D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, v.58, p.545-554, 1971.

PENG, S.; KHUSH, G.S.; CASSMAN, K.G. **Evaluation of a new plant ideotype for increased yield potential.** p. 5–20. In: CASSMAN, K.G. Breaking the yield barrier: Proceedings of a workshop on rice yield potential in favourable environments. Philippines: International Rice Research Institute, Los Baños. 1994.

PENG, S.; LAZA, R.C.; VISPERAS, R.M.; SANICO, A.L.; CASSMAN, K.G.; KHUSH, G.S. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. **Crop Science**, v.40, p.307–314, 2000.

PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil: subsídios para a sua história**. Teresina, Embrapa Meio-Norte, 2002, 226p.

RANGEL, P.H.N.; BONDANI, C.; MORAIS, O.P.; SCHIOCCHET, M.A.; BORBA, T.C.O.; RANGEL, P.N.; BRONDANI, R.P.V.; YOKOYAMA, S.; BACHA, R.E.; ISHY, T. Establishment of the irrigated rice cultivar SCSBRS Tio Taka by recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.7, p.103-110, 2007.

RANGEL, P.H.N.; GUIMARÃES, E.P.; NEVES, P.C.F.N. Base genética das cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) irrigado no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.5, p.349-357, 1996.

RANGEL, P.H.N.; PEREIRA, J.A.; MORAIS, O.P.; GUIMARAES, E.P.; YOKOKURA, T. Ganhos na produtividade de grãos pelo melhoramento genético do arroz irrigado no meio-norte do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1595–1604, 2000.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561p.

RESENDE, M.D.V. 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.; 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.

ROSA, H.T.; WALTER, L.C.; STRECK, N.A.; CARLI, C.; RIBAS, G.G.; MARCHESAN, E. Simulação do crescimento e produtividade de arroz no Rio Grande do Sul pelo modelo SimulArroz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.12, p.1159–1165, 2015.

SAS Institute Inc. 2014. SAS® 9.4 Language Reference: Concepts, Third Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SAS Institute. SAS/STAT 9.1 user's guide. SAS Inst., Cary, NC. 2004.

SHI, C.H.; WU, J.G.; LOU, X.B.; ZHU, J.; WU, P. 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.

SILVA, G.A.P.; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARBONELL, S.A.M. Análise da adaptabilidade e estabilidade de produção em ensaios regionais de feijoeiro para o Estado de São Paulo. **Revista Ceres**, v.60, n.1, p.059-065, 2013.

SILVA, G.O.; CARVALHO, A.D.F.; VIEIRA, J.V.; BENIN, G. Verificação da adaptabilidade e estabilidade de populações de cenoura pelos métodos AMMI, GGE biplot e REML/BLUP. **Bragantia**, v.70, n.3, p.494-501, 2011.

SILVA, M. V. **O melhoramento do arroz em Portugal**. Vida Agrícola, Lisboa, v.19, não paginado, 1956.

SMIDERLE, O.J.; DIAS, C.T.S. Época de colheita e qualidade fisiológica de sementes em arroz irrigado (*Oryza sativa* L. cv. BRS Roraima). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 3, p. 188-194, 2008.

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

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas de pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí: SOSBAI, 2012. 179p.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F.N.; BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; AMARAL, A.G.; FERREIRA, J.S.A. Mapeamento das probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas do ar, durante o período reprodutivo do arroz irrigado, na metade no Estado

do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, p.169-179, 2003.

STRECK, E.A.; AGUIAR, G.A.; MAGALHÃES JÚNIOR, A.M. de; FACCHINELLO, P.H.K.; OLIVEIRA, A.C. de. Variabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado via análise multivariada. **Revista Ciência Agronômica**, v.48, n.1, p.101-109, 2017.

TABIEN, R.E.; SAMONTE, S.O.P.B.; MCCLUNG, A.M.. Forty-eight years of rice improvement in Texas since the release of cultivar Bluebonnet in 1944. **Crop Science**, v.48, p.2097–2106, 2008.

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, p.255-260, 2015.

VAUGHAN, D.A. **The genus *Oryza* L.** Current status of taxonomy. Philippines: IRRI Research Paper Serial, Number 138. 1989.

WALTER, M.; MARCHEZAN, E.; AVILA, L.A. de. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência Rural**, v.38, n.4, p.1184-1192, 2008.

XU, Q.; CHEN, W.; XU, Z. Relationship between grain yield and quality in rice germplasms grown across different growing areas. **Breeding Science**, v.65, p.226–232, 2015.

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

YOUNG, J.B.; VIRMANI, S.S. Heterosis in rice over environments. **Euphytica**, v.51, p.87-93, 1990.

ZEIGLER, R.S.; BARCLAY, A. The Relevance of Rice. **Rice**, v.1, n.1, p.3-10, 2008.

ZHOU, L.J.; JIANG, L.; ZHAI, H.Q.; WAN, J.M. Current status and strategies for improvement of rice grain chalkiness. **Hereditas**, v.31, n.6, p.563-572, 2009.

ZHOU, Y., H.Z. ZHU, S.B. CAI, Z.H. HE, X.K. ZHANG, X.C. XIA, AND G.S. ZHANG. Genetic improvement of grain yield and associated traits in the southern China winter wheat region: 1949 to 2000. **Euphytica**, v.157, p.465–473, 2007.

ZHOU, Z.; ROBARDS, K.; HELLIWELL, S.; BLANCHARD, C. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v.37, p.849-868, 2002.

Apêndices

Apêndice A. Descrição das cultivares utilizadas nos artigos 1, 2 e 3.

IAS 12-9 Formosa: cultivar pertencente à subespécie Japônica, lançada em 1972, pelo Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Sul do Ministério da Agricultura (Atual Embrapa Clima Temperado) para o cultivo no Rio Grande do Sul. Foi introduzida de Taiwan, denominada originalmente de Kaoshiung 21,

BR IRGA 409: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1979 pela parceria IRGA – Embrapa. Originária do CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) da Colômbia, sendo introduzida no Rio Grande do Sul, como P 790 -B4-4-1T (cruzamento IR 930 - 2/IR 665-31-2-4).

BR IRGA 410: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1980 pela parceria IRGA – Embrapa. Originária do CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) da Colômbia, sendo introduzida no Rio Grande do Sul, como P798 -B4 -4-1T (cruzamento IR 930 -53/ IR 665 -3 -1-2-4).

BR IRGA 411: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1985 pela parceria IRGA – Embrapa. Oriunda do cruzamento entre as cultivares Dawn e IRGA 407.

BR IRGA 412: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1986 pela parceria IRGA – Embrapa. Oriunda de uma seleção na cultivar BR IRGA 409.

BR IRGA 413: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1986 pela parceria IRGA – Embrapa. Oriunda de uma seleção na cultivar BR IRGA 409.

BR IRGA 414: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1987 pela parceria IRGA – Embrapa. Oriunda de uma seleção na linhagem P793-B4-38-1T (cruzamento IR 930-2/IR665-31-7-4).

BRS 6 “Chuí”: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1991 pela Embrapa. Oriunda de uma seleção na cultivar BR IRGA 410.

BRS 7 “Taim”: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1991 pela Embrapa. Oriunda de cruzamento desconhecido (envolveu genes da cultivar Tetep) realizado na Embrapa Clima Temperado.

BRS Ligeirinho: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1995 pela Embrapa. Oriunda de uma seleção em população segregante da cultivar BR IRGA 410.

BRS Agrisul: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1995 pela Embrapa. Oriunda de cruzamento entre as linhagens CL Seleção 62 e CL Seleção 49-2, realizado na Embrapa Clima Temperado.

BRS Bojuru: cultivar pertencente à subespécie Japônica, lançada em 1997 pela Embrapa. Oriunda de um cruzamento natural da cultivar TY 12 do Japão com um pai desconhecido.

BRS Atalanta: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1999 pela Embrapa. Oriunda de cruzamento entre a linhagem TF 147 (cruzamento múltiplo Down/Hayayuki//BR IRGA 410) e Colombia 1 realizado na Embrapa Clima Temperado.

BRS Firmeza: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 1999 pela Embrapa. Oriunda de cruzamento múltiplo entre as cultivares BR IRGA 411, Bluebelle e Lemont, realizado na Embrapa Clima Temperado.

BRS Pelota: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 2000 pela Embrapa. Oriunda de uma seleção na cultivar BR IRGA 410., realizado na Embrapa Clima Temperado.

BRS SCS 113 Tio Taka: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 2004 pela parceria Embrapa - Epagri. Oriunda do intercruzamento de dez variedades da subespécie Indica, através do método de Seleção recorrente.

BRS Fronteira: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 2005 pela Embrapa. Oriunda de originou-se do cruzamento múltiplo entre os genitores CNA 6183, BR IRGA 409 e IRI 344.

BRS Querência: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 2005 pela Embrapa. Oriunda do cruzamento entre a linhagem CL 246 e a variedade Zho Fee.

BRS CIRAD 302: cultivar híbrida pertencente à subespécie Indica, lançada em 2010 pela parceria Embrapa - CIRAD.

BRS Sinuelo CL: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 2010 pela Embrapa. Oriunda do retrocruzamento entre a cultivar BRS 7 Taim e a fonte de tolerância ao herbicida da classe das imidazolinonas AS 3510.

BRS Pampa: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 2011 pela Embrapa. Oriunda do cruzamento entre as cultivares IRGA 417 e BRS Jaburu.

BRS 358: cultivar pertencente à subespécie Japônica, lançada em 2015 pela Embrapa. Oriunda do cruzamento entre as variedades GIZA 175 e MILYANG 49.

BRS AG: cultivar desenvolvida para produção de etanol e alimentação animal, lançada em 2015 pela Embrapa. Oriunda do cruzamento entre a as variedades Gulfmont e a linhagem SLG1.

BRS Pampeira: cultivar pertencente à subespécie Indica, lançada em 2016 pela Embrapa. Oriunda do cruzamento entre a cultivar IR22 e a linhagem CNA8502.

BRS CIRAD HA 703 CL: cultivar híbrida pertencente à subespécie Indica, registrada em 2017 pela parceria Embrapa - CIRAD.

Apêndice B. Comandos estatísticos utilizados no SAS (Statistical Analysis System) para estimação do progresso genético do Artigo 1.

- As médias ajustadas dos grupos de genótipos em cada ano e a matriz de covariâncias foram obtidas por:

```
proc mixed;
class group line year trial block;
model GY DTF PH= group;
random year trial(year) block(year trial) line(group)/solution;
lsmeans group/cov;
run;
```

- A estimativa do ganho médio anual pela análise de regressão linear generalizada, considerando a matriz de covariâncias associada às médias ajustadas, foi obtida por:

Operações matriciais:

```
options formdlm='*' ls=80;
```

```
proc iml; title 'Estimativa do vetor b e de sua matriz de covariância V(b)';
```

```
/*****"Estimação do vetor b (b0 e b1)"*****/
```

```
X = {1      1,
      1      2,
      1      3,
      1      4,
      1      5,
      1      6,
      1      7,
      1      8,
      1      9,
      1     10,
      1     11,
      1     12,
      1     13,
      1     14,
      1     15,
      1     16,
      1     17,
      1     18,
      1     19,
      1     20,
      1     21,
      1     22,
```

```

1      23,
1      24,
1      25,
1      26,
1      27,
1      28,
1      29,
1      30,
1      31,
1      32,
1      33,
1      34,
1      55,
1      36,
1      37,
1      38,
1      39,
1      40,
1      41,
1      42,
1      43,
1      44,
1      45);

```

```
print X;
```

/* A matriz X corresponde à matriz de incidência para as médias BLUE observadas, obtidas da análise do modelo linear misto envolvendo todos os grupos de anos. A matriz é composta por duas colunas, uma coluna correspondente ao intercepto b_0 , e outra correspondente ao eixo das abscissas */

```

y={ y1,
    y2,
    y3,
    .
    .
    .
    y45};

```

```
print y;
```

/* O vetor y corresponde à matriz com as médias BLUE observadas, referentes ao efeito de grupo, obtidas da análise do modelo linear misto. */

```

V={σ²y1      COVy1y2      COVy1y3      ...      COVy1y45,
   COVy1y2   σ²y2         COVy2y3      ...      COVy2y45,
   COVy1y3   COVy2y3     σ²y3         ...      COVy2y45,
   .          .           .             .
   .          .           .             .
   .          .           .             .
   COVy1y45  COVy2y45     COVy3y45      ...      σ²y45};

```

```
print V;
```

/* A matriz V corresponde à matriz de covariâncias 45x45 das médias BLUE observadas, referentes ao efeito Grupo. Sendo obtida da análise do modelo misto por meio do comando “cov” associada ao efeito Grupo*/

/*Considerando o vetor β igual a Best (B estimado)*/

```
b=inv(x`*inv(V)*X)*X`*inv(V)*y;
```

```
print b;
```

/* O vetor \hat{b} possui as estimativas b_0 e b_1 */

/* Considerando a matriz de covariância $\hat{V}(\hat{b})$ igual a Vbest (Covariância do b estimado)*/

```
vbest=inv(x`*inv(v)*x);
```

```
print vbest;
```

```
run;
```

```
quit;
```

- A significância do modelo de regressão linear generalizada, pelo teste t, foi obtida por:

$$t = b_1 / \sqrt{\sigma^2} b_1$$

Após a obtenção do valor t, obteve-se a função de probabilidade com g^2 , sendo “g” o número de grupos de anos de análise.