**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Avaliação de linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.) suscetíveis e tolerantes a baixas temperaturas em cruzamentos dialélicos parciais

Edgar Alonso Torres Toro

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Genética e
Melhoramento de Plantas

**Piracicaba
2006**

Edgar Alonso Torres Toro
Engenheiro Agrônomo

Avaliação de linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.) suscetíveis e tolerantes a baixas temperaturas em cruzamentos dialélicos parciais

Orientador:
Prof. Dr. **Isaias Olívio Geraldi**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Genética e Melhoramento de Plantas

Piracicaba
2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Torres Toro, Edgar Alonso

Avaliação de linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.) suscetíveis e tolerantes a baixas temperaturas em cruzamentos dialélicos parciais / Edgar Alonso Torres Toro. - - Piracicaba, 2006.
143 p.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
Bibliografia.

1. Arroz 2. Baixa temperatura – Tolerância 3. Controle genético 4. Cruzamentos dialélicos 5. Heterose 6. Linhagens vegetais 7. Melhoramento genético vegetal I. Título

CDD 633.18

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

Aos arroteiros que fizeram possível minha
formação como melhorista.

DEDICO

Ao Deus todo-poderoso

À minha esposa

À memória do meu pai

À minha mãe

Aos meus irmãos

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

O autor deseja agradecer sinceramente a todas aquelas pessoas e instituições que com seu apoio contribuíram na realização deste trabalho, especialmente a:

Ao Engenheiro Agrônomo Pedro Luis Cordeiro presidente da Fundação Nacional do Arroz - FUNDARROZ, à diretoria, à Lic. Gioconda Rivas, Silvana e Daimar, pelo apoio constante nestes anos de formação e pelos recursos financeiros investidos.

Ao Dr. Peter Randolph Jennings, pelos seus ensinamentos e conselhos para o arroz e a vida.

Ao Prof. Dr. Isaias Olívio Geraldi, por ter aceitado meu pedido de orientação e por sua valiosa contribuição para minha formação profissional.

À ESALQ, e especialmente ao departamento de Genética, aos professores e funcionários pelos seus ensinamentos e apoio.

Ao Fundo Latino-americano para Arroz Irrigado - FLAR, ao Dr. Luis Sanint ex-diretor executivo e aos colegas Maribel Cruz, Luis Eduardo Berrío e Edgar Corredor pela amizade e os conselhos. Da mesma forma a todos os funcionários, pela amizade, ajuda e assistência.

Ao Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT e aos seus funcionários por ter me aceitado como pesquisador visitante durante estes longos anos.

Aos meus colegas do curso e amigos Luiz Ricardo Hanai, Marco Antonio Acevedo, Marcelo Fernandes de Oliveira, Jose Manoel Colombari, Jair Unfried, Walter Bernardi, Francisco Jose Farias, Geovani Ferreira Alves, Sidney Netto Parentoni, Tassiano Marinho Câmara, Mateus Figueiredo Santos, Eulália Soler Hoogerheide, Camila Motta e outros tantos pelo apoio e a amizade.

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTAS DE FIGURAS	9
LISTAS DE TABELAS	10
1 INTRODUÇÃO	16
2 DESENVOLVIMENTO	19
2.1 Revisão bibliográfica	19
2.1.1 Origem, classificação botânica e dispersão do arroz <i>Oryza sativa</i> L.	19
2.1.2 Efeitos das baixas temperaturas	22
2.1.3 O problema do frio na cultura do arroz no Cone Sul	26
2.1.4 Estudos genéticos da tolerância ao frio na fase de germinação-emergência.....	28
2.1.5 Estudos genéticos da tolerância ao frio na fase de plântula	36
2.1.6 Heterose e capacidade de combinação em arroz	39
2.1.7 A metodologia de cruzamentos dialélicos parciais	47
2.2 Material e Métodos.....	50
2.2.1 Material genético	50
2.2.2 Métodos.....	51
2.2.2.1 Procedimentos de campo.....	51
2.2.2.1.1 Execução dos cruzamentos	51
2.2.2.1.2 Avaliação dos caracteres agronômicos	53
2.2.2.2 Procedimentos do laboratório.....	55
2.2.2.2.1 Avaliação da tolerância às baixas temperaturas	55
2.2.2.3 Procedimentos biométricos	57
2.2.2.3.1 Análises de variância por experimento e conjunta	57
2.2.2.3.2 Análise estatístico-genética.....	59
2.3 Resultados e Discussão	64
2.3.1 Caracteres agronômicos	64
2.3.1.1 Análises de variância por experimento e conjunta	64
2.3.1.2 Heterose para os caracteres agronômicos.....	68
2.3.1.3 Análise estatístico-genética.....	70

2.3.1.4 Considerações sobre a análise genética dos caracteres agronômicos	77
2.3.2 Caracteres tolerância a baixas temperaturas	79
2.3.2.1 Análises de variância por experimento e conjunta	79
2.3.2.2 Análise estatístico-genética	83
2.3.2.3 Considerações sobre a análise genética da tolerância ao frio	86
2.3.3 Considerações finais	90
3 CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS	94
ANEXOS	102

RESUMO

Avaliação de linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.) suscetíveis e tolerantes a baixas temperaturas em cruzamentos dialélicos parciais

A obtenção de cultivares de arroz de alta produtividade e com tolerância a baixas temperaturas para a zona temperada da América Latina é um dos mais importantes desafios para a agricultura local. Neste trabalho buscou-se estimar parâmetros genéticos visando o entendimento do controle genético de tais caracteres para fins de melhoramento genético. Foram avaliadas 13 linhagens de arroz, separados em dois grupos: Grupo 1 composto de seis linhagens suscetíveis ao frio, e Grupo 2 composto de sete linhagens tolerantes ao frio. Os dois grupos foram cruzados de acordo com o delineamento em dialelo parcial (MIRANDA FILHO; GERALDI, 1984) originando 42 combinações híbridas. Os 55 tratamentos (42 híbridos e 13 genitores) foram avaliados no campo em 2005, em duas épocas de plantio, no Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. Utilizou-se um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições e parcelas constituídas de uma linha com 17 plantas. Os mesmos tratamentos foram avaliados para tolerância ao frio em câmara de crescimento, em três experimentos, utilizando solo como substrato, temperaturas de 16 °C e 12 °C durante o dia e noite, respectivamente, e fotoperíodo de 12 horas com luz artificial. Utilizou-se o mesmo delineamento experimental, com três repetições e parcelas constituídas de uma linha com 20 sementes. Os resultados mostraram a existência de heterose para todos os caracteres agrônômicos (altura da planta, número de perfilhos, comprimento da panícula, número de grãos por panícula, porcentagem de esterilidade e peso de 1.000 grãos) e de tolerância ao frio (índice de emergência e produção de matéria seca). O sentido da dominância foi negativo para dias para florescimento e positivo para os demais caracteres, com contribuições desiguais dos genitores para a heterose média. Os efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e da capacidade específica de combinação (CEC) foram importantes para todos os caracteres; entretanto, a CGC foi mais importante que a CEC. Os dois grupos de genitores têm alelos favoráveis para os caracteres agrônômicos e para a tolerância. Algumas linhagens como Irga 417 e FL03188 do Grupo 1, FL04423, FL04402, e FL04452 do Grupo 2 apresentaram os menores índices de esterilidade nos cruzamentos intra-grupos. Os genótipos CT6748, Quilla 173201 e Quilla 145601 foram os mais tolerantes a baixas temperaturas e, portanto, promissores para serem utilizados em programas de melhoramento genético de arroz para condições de baixas temperaturas.

Palavras-chave: Arroz; Dialelo parcial; Heterose; Capacidade de combinação; Tolerância a baixas temperaturas

ABSTRACT

Evaluation of cold tolerant and cold susceptible rice inbred lines (*Oryza sativa* L.) in partial diallel crosses

The development of high yielding and cold tolerant rice cultivars for the temperate region of Latin America is one of the most important challenges for the local agriculture. The objective of the present work was to estimate the genetic and phenotypic parameters related to the control of cold tolerance and agronomic traits, in order to obtain a better understanding of the genetic control of these traits for breeding purposes. The genetic material comprised two sets of rice lines: Group 1 composed by six cold susceptible lines and Group 2 composed by seven cold tolerant lines. The two groups were crossed according a partial diallel design (MIRANDA FILHO; GERALDI, 1984) giving rise to 42 hybrid combinations. The 55 entries (42 crosses plus 13 parents) were evaluated in 2005 under field conditions, at the International Center for Tropical Agriculture – CIAT, in a randomized complete block design with four replicates, in two planting dates; plots were single-rows with 17 plants. The same entries were evaluated for cold tolerance in growth chambers, in three experiments, using soil as substrate, temperature of 16 °C and 12 °C during the day and night, respectively, and photoperiod of 12 hours using artificial lights. The experimental design was the same with three replications per experiment; and plots were single-rows with 20 seeds. General results revealed the presence of heterosis for the agronomic traits (plant height, tiller number, days to flowering, panicle length, grains by panicle, sterility and one-thousand grain weight) as well as for cold tolerance traits (emergence index and dry matter production), with different contributions of the parents to the mean heterosis effect. The direction of the dominance was negative for days to flowering and positive for all others traits. General combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) were important for all traits; however, the GCA was more important than SCA. Both groups showed the presence of favorable alleles for agronomic and cold tolerance traits. Several lines such as Irga 417 and FL03188 from the Group 1, FL04423, FL04402, and FL04452 from the Group 2, presented lower sterility in the inter-group crosses. The tolerant lines, CT6748, Quilla 173201 and Quilla 145601 were considered the best parents to be used as cold tolerant donors in rice breeding programs.

Keywords: Rice; Partial diallel; Heterosis; Combining ability; Cold tolerance

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Panícula super-comprida obtida na geração F_3 do cruzamento 4x4' (Br-Irga 410 x L201) 103
- Figura 2 - Diferenças fenotípicas entre materiais suscetíveis e tolerantes às baixas temperaturas avaliados em 12 °C no escuro e 16 °C em luz em fotoperíodo de 12 horas..... 103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeitos das baixas temperaturas sobre a cultura do arroz	25
Tabela 2 - Genealogia e reação às baixas temperaturas dos genitores suscetíveis (Grupo 1)	50
Tabela 3 - Genealogia e reação às baixas temperaturas dos genitores tolerantes (Grupo 2)	51
Tabela 4 - Esquema da análise de variância para o modelo de blocos casualizados, com efeitos de tratamentos fixos, e decomposição da soma de quadrados dos tratamentos	104
Tabela 5 - Esquema da análise de variância conjunta dos experimentos, com decomposição da soma de quadrados dos tratamentos	105
Tabela 6 - Esquema da análise de variância conjunta pelo método de Gardner e Eberhart (1966) adaptado para dialelos parciais, envolvendo i e j genitores e seus ij cruzamentos	106
Tabela 7 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise de variância, média geral, média dos cruzamentos, média dos genitores e coeficiente de variação experimental (CV%) do experimento 1, para os caracteres agronômicos	107
Tabela 8 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise de variância, média geral, média dos cruzamentos, média dos genitores e coeficiente de variação experimental (CV%) do experimento 2, para os caracteres agronômicos	108

Tabela 9 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise de variância conjunta, média geral, e coeficiente de variação experimental (CV%) para os caracteres agronômicos	109
Tabela 10 - Valores médios (quatro repetições) dos caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) obtidos no experimento 1	110
Tabela 11 - Valores médios (quatro repetições) dos caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) obtidos no experimento 2	112
Tabela 12 - Correlações entre as médias dos caracteres agronômicos obtidas nos experimentos 1 e 2	114
Tabela 13 - Valores médios (oito repetições) através dos dois experimentos para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG).....	115
Tabela 14 - Valores da heterose (%) em relação à média dos genitores para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)	117

- Tabela 15 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise dialélica conjunta pelo método de Gardner e Eberhart (1966) adaptado para dialelos parciais para os caracteres agronômicos..... 119
- Tabela 16 - Estimativas dos efeitos média das médias dos grupos de genitores (u), diferença entre os grupos de genitores (d), e heterose média ($\bar{h}$) para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) 120
- Tabela 17 - Estimativas dos efeitos de variedades (v_i , e v_j) e da heterose de variedades (h_i e h_j) associadas aos grupos 1 e 2, respectivamente, para os caracteres: dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP) 121
- Tabela 18 - Estimativas dos efeitos de variedades (v_i , e v_j) e da heterose de variedades (h_i e h_j) associadas aos grupos 1 e 2, respectivamente, para os caracteres: número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) 122
- Tabela 19 - Estimativas dos efeitos de heterose específica (s_{ij}) para os caracteres agronômicos dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) 123
- Tabela 20 - Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (g_i e g_j), média nos dois experimentos, e correlações entre estes valores; para os caracteres: dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP) 125

- Tabela 21 - Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (g_i e g_j), média nos dois experimentos, e correlações entre estes valores; para os caracteres: número de grãos (NG), porcentagem de esterilidade (PE), e peso de 1.000 grãos (PG) 126
- Tabela 22 - Estimativas dos componentes quadráticos associados aos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (ϕ_{cgCG1}), capacidade geral de combinação do grupo 2 (ϕ_{cgCG2}) e capacidade específica de combinação (ϕ_{cec}) para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) 127
- Tabela 23 - Valores das médias observadas dos dois experimentos, valores das médias estimadas e coeficientes de correlação entre estes valores, para os caracteres: dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP) e comprimento da panícula (CP) 128
- Tabela 24 - Valores das médias observadas dos dois experimentos, valores das médias estimadas e coeficientes de correlação entre estes valores, para os caracteres: número de grãos (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 de grãos (PG) 130
- Tabela 25 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) das análises de variância, média geral, média dos cruzamentos, média dos genitores e coeficiente de variação experimental (CV%) nos experimentos 1, 2 e 3, para os caracteres de tolerância às baixas temperaturas: índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS) 132

Tabela 26 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise de variância conjunta, média geral, e coeficiente de variação experimental (CV%) para os caracteres de tolerância às baixas temperaturas: índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)	133
Tabela 27 - Valores médios dos caracteres índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS) obtidos nos experimentos realizados em laboratório	134
Tabela 28 - Valores da heterose (%) em relação à média dos genitores para os caracteres índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)	136
Tabela 29 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise dialélica (nove repetições) pelo método de Gardner e Eberhart (1966) adaptado para dialelos parciais para os caracteres de tolerância às baixas temperaturas.....	137
Tabela 30 - Estimativas dos efeitos média das médias dos grupos de genitores (u), diferença entre os grupos de genitores (d), e heterose média ($\bar{h}$) para os caracteres: índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS).....	137
Tabela 31 - Estimativas dos efeitos de variedades (v_i e v_j), da heterose de variedades (h_i e h_j) associadas aos grupos 1 e 2 respectivamente; e da heterose específica (s_{ij}) dos híbridos para o caráter índice de emergência (IE)	138

Tabela 32 - Estimativas dos efeitos de variedades (v_i e v_j) e da heterose de variedades (h_i e h_j) associadas aos grupos 1 e 2 respectivamente; e da heterose específica (s_{ij}) dos híbridos para o caráter produção de matéria seca (MS)	139
Tabela 33 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores dos grupos 1 e 2, valores médios dos três experimentos, e correlações entre estes para os caracteres: índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)	140
Tabela 34 - Estimativas dos componentes quadráticos associados aos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (ϕ_{cgG1}), capacidade geral de combinação do grupo 2 (ϕ_{cgG2}), e capacidade específica de combinação (ϕ_{cec}) para os caracteres da tolerância às baixas temperaturas	141
Tabela 35 - Estimativas das médias observadas dos três experimentos, das médias estimadas segundo o modelo reduzido, e correlações entre estes valores para os caracteres: índice de emergência e produção de matéria seca.....	142

1 INTRODUÇÃO

Um desafio do melhoramento para as regiões arrozeiras da zona temperada da América Latina é desenvolver novas cultivares tolerantes às baixas temperaturas e com elevada produtividade. No sul da América Latina (Sul do Brasil, Uruguai, Argentina e Chile) são cultivadas atualmente um milhão e quatrocentas mil hectares com arroz irrigado, e ainda existe uma grande área com possibilidade para ser utilizada com essa cultura. Duas alternativas complementares para incrementar a produtividade têm sido propostas: a) adiantar o plantio (final de Setembro e início de Outubro) para aproveitar os altos níveis de radiação solar dos meses de Dezembro e Janeiro, bem como escapar dos dias frios no final de Março e b) incorporar o potencial de maior rendimento presente no germoplasma elite tropical (Índica).

Entretanto, nos meses de Setembro e Outubro ocorrem baixas temperaturas em toda a área. No Rio Grande do Sul ocorrem regularmente períodos com temperaturas abaixo de 18 °C durante a safra, especialmente na região sul (TERRES, 1991). Alvarado e Grau (1991) relatam que no Chile apresentam-se temperaturas abaixo do nível crítico durante as fases de germinação, plântula, meiose e floração. A presença de baixas temperaturas neste período reduz a germinação e o crescimento das plântulas em genótipos suscetíveis, e desta forma, limitam a adaptação do germoplasma tropical de alta produtividade e o plantio no cedo.

A estratégia apropriada para desenvolver novas cultivares tolerantes às baixas temperaturas e com elevado potencial de produtividade é a utilização cruzamentos entre as subespécies Índica e japônica (¹Jennings, P.R. comunicação pessoal). A maioria das cultivares utilizadas em regiões de clima temperado pertence à subespécie japônica, e são tolerantes ao frio nos estádios vegetativo e reprodutivo (MACKILL; LEI, 1997). Porém, em geral estas apresentam baixa capacidade produtiva, tipo de planta pouco adequado, e susceptibilidade às doenças. Em contrapartida, as linhagens elites Índicas tropicais possuem maior potencial de rendimento, tipo adequado de planta, resistência ao acamamento e às doenças. No entanto, são suscetíveis ao frio e apresentam ciclo muito longo em condições subtropicais.

¹JENNINGS, PR. Melhorista FLAR.

Porém, a combinação da tolerância ao frio e a produtividade utilizando cruzamentos entre as subespécies índica e japônica, apresenta varias dificuldades. Estes grupos diferem em muitos caracteres e possuem barreiras reprodutivas que dificultam o processo de melhoramento (KATO, 1930 apud YANAGINARA et al., 1995). Outros problemas como esterilidade das progênes, tipo de planta resultante e ligação gênica, limitam a transferência de genes úteis das cultivares índicas para as japônicas por métodos convencionais (JEUNG et al., 2005). E alem disso, segundo Kobayashi et al. (2003), os caracteres relacionados com rendimento (número de perfilhos, número de grãos por panícula, porcentagem de grãos cheios, e peso dos grãos) e caracteres agrônômicos (altura da planta, duração do ciclo) são herdados quantitativamente, estão relacionados entre si, e influenciados pelo ambiente.

O conhecimento do controle gênico, do tipo de ação gênica envolvida e da herdabilidade, pode facilitar o desenvolvimento ou aprimoramento das estratégias utilizadas no melhoramento para um determinado caráter. Esta informação permite decidir a estratégia geral do programa de melhoramento, a seleção adequada dos genitores e o método de condução das populações segregantes, aspectos de fundamental importância para a obtenção de maior eficiência em programas que envolvem hibridações. Neste sentido, as metodologias de análise dialélica permitem um melhor entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação dos caracteres e a escolha mais segura de genitores para cruzamentos.

Apesar da importância para o melhoramento, na América Latina, praticamente não existem informações com relação a parâmetros genéticos de caracteres de interesse (tanto agrônômicos como de tolerância a frio) em cruzamentos envolvendo genitores tolerantes e suscetíveis às baixas temperaturas. A maioria dos estudos genéticos acerca da tolerância do arroz às baixas temperaturas na fase de germinação-emergência tem sido realizada na Ásia e nos USA (ANDAYA; MACKILL, 2003; FUJINO et al., 2004), embora possam ser mencionados os trabalhos de Cruz R.P. (2001), e Cruz M. (2004), no Rio Grande do Sul e Colômbia, respectivamente. Quanto aos caracteres agrônômicos podem mencionar-se a pesquisa de Meirelles (1989), que estudou a heterose e a capacidade de combinação para caracteres agrônômicos, más em arroz de sequeiro, e a de Moraes (1992) que estimou parâmetros

genéticos como variâncias, correlações entre caracteres e herdabilidade numa população obtida com macho esterilidade, más utilizando germoplasma tropical. Entretanto, nenhuma dessas pesquisas considera de forma conjunta, tanto tolerância a baixas temperaturas quanto caracteres agronômicos.

Portanto, o objetivo principal deste trabalho foi estudar o comportamento de linhagens de arroz em cruzamentos dialélicos parciais com ênfase em caracteres agronômicos e tolerância às baixas temperaturas para a obtenção de informações referentes ao controle genético, que permitam orientar o melhoramento direcionado à obtenção de novas cultivares comerciais que combinem tais caracteres.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

Dentro da linha de pesquisa proposta pelo trabalho a revisão de literatura abordará os seguintes assuntos: origem, classificação botânica e dispersão do arroz, efeitos das baixas temperaturas, o problema do frio no Cone Sul, estudos genéticos da tolerância ao frio no estágio de germinação-emergência, estudos genéticos da tolerância ao frio no estágio de plântula, capacidade de combinação e heterose e a metodologia da análise dialélica parcial.

2.1.1 Origem, classificação botânica e dispersão do arroz (*Oryza sativa* L.)

O gênero *Oryza* L. pertence à família *Poaceae* (gramíneas), subfamília *Oryzoideae*, tribo *Oryzeae*. Este gênero apresenta duas espécies cultivadas *O. sativa* L. e *O. glaberrima* Steud (LU, 1999). A *Oryza sativa* tem uma distribuição mundial, sendo que todas as variedades cultivadas no Brasil, pertencem a essa espécie. Entretanto, a espécie *O. glaberrima* possui uma distribuição mais restrita, e é cultivada somente na África.

Existem 21 espécies selvagens do gênero *Oryza*, nove são tetraplóides, e as restantes diplóides. As espécies selvagens *O. rufipogon*, *O. nivara*, *O. glumaepatula*, *O. meridionalis*, *O. breviligulata*, *O. longistaminata*, *O. glaberrima* e *O. sativa* compartilham o genoma AA e constituem o conjunto gênico primário, sendo a transferência de genes possível por cruzamentos convencionais. As espécies que formam o complexo *O. Officinalis*, representam o conjunto gênico secundário. Já outras espécies dos complexos *O. meyeriana*, *O. ridleyi*, e *O. schlechteri* pertencem ao conjunto gênico terciário (KHUSH, 1997).

O. sativa L. é uma espécie autógama diplóide, com flores hermafroditas, possuindo um número de cromossomos de $x=12$ e $2n=24$. Seu ancestral selvagem *Oryza rufipogon*, está amplamente distribuído na área compreendida entre a Ásia subtropical e tropical, e possui formas anuais, perenes e intermediárias. Não há um

consenso sobre qual destas formas é o ancestral do arroz cultivado, mas, seguramente, ele evoluiu de alguma destas por domesticação do homem (MATSUO, 1997). Assim mesmo, é difícil apontar um local específico como o local de origem do arroz cultivado. A hipótese do local único de origem, denominada monofilética propõe que a domesticação teria ocorrido em lugares como a Índia, China, e a região das montanhas do sudoeste da Ásia. Ao contrário, a hipótese da origem polifilética propõe que a domesticação ocorreu de forma independente em vários locais, como as planícies do rio Ganges na Índia, a parte superior da Burma, o norte da Tailândia, Laos, o norte de Vietnam, e o sul e sudeste da China (MATSUO, 1997).

O arroz cultivado pode ser dividido em dois grandes grupos de cultivares, índica (Hsien) e japônica (Kêng) que diferem em vários caracteres como: tolerância às baixas temperaturas, tolerância à seca, tolerância ao acamamento, resposta a adubação em cultivares não melhoradas, habilidade para competir, temperatura mínima para germinar, taxa de crescimento, longevidade da semente, e eficiência de fotossíntese em folhas com o mesmo conteúdo de proteínas (MATSUO, 1997).

As variedades antigas ou “landraces” ocorrem numa distribuição clinal. Em geral, as variedades japônicas são predominantes no norte da Ásia e locais elevados nas montanhas, e as variedades índicas são predominantes nas zonas tropicais deste continente (OKA; MORISHIMA, 1997). No entanto, atualmente, no grupo das japônicas são reconhecidos dois subgrupos temperado e tropical, neste último são incluídas as Javânicas ou Bulus (OKA; MORISHIMA, 1997). Entretanto, dentro do grupo índica são reconhecidos vários ecótipos como Aus, Aman, Boro e Tjereth que representam adaptações às condições específicas da cultura na Índia e Bangladesh (TAKAHASHI, 1997).

É provável que nos dois grupos exista um processo de diferenciação. Entre os grupos índica e japônica existem barreiras de isolamento reprodutivo, que incluem: genes duplicados que causam esterilidade gametofítica na F_1 (sistema S^i , S^j , S^n e outros alelos), esterilidade esporofítica na F_2 , e genes complementares para debilidade da F_2 . (OKA; MORISHIMA, 1997). Dentro da subespécie índica, os ecótipos Aus, Aman, Boro e Tjereth mostram uma alta afinidade sexual, com fertilidade maior de 70%. O grupo japônica, tem certa afinidade com o grupo Bulu e Aus, com fertilidade de entre 30

a 70%, e nenhuma afinidade com Aman, Boro e Tjereth, com fertilidade menor que 30%. Finalmente, o grupo Javânica possui afinidade com japônica, Aus e Boro e a fertilidade em cruzamentos varia de entre 30 a 70%. (TAKAHASKI, 1997). No entanto, tem-se demonstrado a existência de alelos neutros que permitem a superação da esterilidade na F_1 , Ikehashi e Araki (1986), apud Yanagihara et al. (1995) e a heterose dos híbridos F_1 índica/japônica é amplamente utilizada ao nível comercial (YUAN, 2003).

Após de sua domesticação o arroz tomou várias rotas de dispersão. Segundo Watabe (1977), apud Matsuo (1997), houve quatro rotas de dispersão do arroz, denominadas séries, iniciando-se nos locais de origem na Ásia Tropical. A série Yangtze dispersou-se pelo norte da China até Coréia e Japão, e deu origem ao tipo japônica temperado após da seleção por tolerância ao frio e forma do grão. A série Bengal dispersou-se pelas áreas tropicais quentes da Índia e deu origem ao subgrupo índica que logo formou os ecótipos Aus, Aman, Boro e Tjereth. A série Bramaputra-Gangetic disseminou-se nas áreas ao norte do rio Ganges, e deu origem a um tipo similar ao japônica com grãos longos adaptado às condições de sequeiro. Esta série posteriormente dispersou-se nas áreas da costa do mar Cáspio, Rússia, Síria, Egito e a península Balcânica. E a série Mekong, com um tipo similar ao japônica, adaptou-se às áreas montanhosas e também às condições de sequeiro.

A maioria das variedades tradicionais adaptadas às condições de sequeiro é um tipo de japônica tropical. O arroz foi introduzido na península Balcânica, via Turquia durante o período de Alexandre o Grande. Depois, durante os séculos oito a treze, os árabes forçaram os habitantes da Europa a plantar arroz, que foi introduzido na Espanha no ano de 711, e na Itália nos séculos nove e dez (MATSUO, 1997). Do sudoeste da Ásia, foram introduzidos tipos japônicas e índicas na Malásia, Filipinas e Indonésia, e das Filipinas ao Taiwan. Os portugueses introduziram japônicas tropicais a partir da Indonésia em Guiné Bissau, de onde se espalharam para os países da África Ocidental. Igualmente os portugueses introduziram japônicas tropicais no Brasil, e os espanhóis levaram japônicas tropicais a outros países da América Latina. Portanto, a maioria das variedades de sequeiro cultivadas na África Ocidental, e as antigas variedades do Brasil e da América Latina, são japônicas tropicais (KHUSH, 1997).

2.1.2 Efeitos das baixas temperaturas

O arroz *Oryza sativa* L. originado dos trópicos, é cultivado nas mais diversas condições ambientais. Porém, comparado com outras culturas de cereais como a aveia ou o trigo é muito mais sensível às baixas temperaturas (OKUNO, 2003). A faixa de temperatura ótima para a cultura encontra-se entre 25 e 30°C, sendo que temperaturas inferiores a 20°C dependendo do estágio fenológico, são prejudiciais (YOSHIDA, 1981).

Não existe uma característica única na planta que possa diagnosticá-la como danificada pelo frio ou afetada por “chilling injury”. Os sintomas visuais variam dependendo da temperatura, do período de exposição, da fase de desenvolvimento, e de outras condições ambientais tais como luz, presença de vento, disponibilidade de água e nutrientes. A maioria dos sintomas necessita de tempo para aparecer. As plantas podem mostrar uma perda do vigor e uma redução nas taxas de crescimento, na ausência de outros sintomas visíveis. Um estresse mais severo provoca autólise celular e senescência. Pode ocorrer perda de clorofila, visível pelo amarelecimento, na presença da luz, como consequência da foto-oxidação. Outro efeito é a perda da integridade da célula, que dá aos tecidos uma aparência aquosa produto de mudanças na membrana celular que permitem a perda de fluídos nos espaços intercelulares (apoplasto). Esta perda proporciona um excelente meio de cultura para fungos ou bactérias que podem crescer como agentes patogênicos oportunistas (McKERSIE, 2006).

A germinação e o rápido desenvolvimento das plântulas são fases críticas na transição bem sucedida de uma semente para uma plântula autotrófica. A semente sem absorver umidade é altamente tolerante às baixas temperaturas, mas este estado é revertido com o início da germinação. Uma vez reativado o metabolismo inicia-se o processo de crescimento e desenvolvimento da plântula, e a semente torna-se muito sensível a condições de estresse como baixa temperatura ou baixa umidade (DE LOS REYES et al., 2003).

No processo de germinação, a severidade dos danos por frio depende de fatores como: cultivar utilizado, conteúdo inicial de água da semente, temperatura de exposição, duração do estresse, e a fase do processo de germinação. Geralmente, os

danos são mais severos em sementes com baixo conteúdo de umidade, taxas rápidas de absorção de água, e temperaturas baixas. A perda da integridade da membrana celular, como consequência da resposta física dos lipídeos ao frio, é o componente crítico, e a capacidade de síntese de ácidos graxos insaturados ou um maior conteúdo destes, seria fundamental na resistência (BEDI; BASRA, 1993).

O arroz, uma planta de origem tropical, é suscetível às baixas temperaturas nas fases iniciais do estabelecimento das plântulas. Em cultivares muito sensíveis, o frio causa danos irreversíveis aos componentes da célula e ao metabolismo. Geralmente, a membrana celular é o alvo primário, ocorre uma transição física de um estado flexível líquido-cristalino a uma fase de gel sólido. Esta mudança afeta as funções celulares em várias formas. O efeito mais imediato é um incremento na permeabilidade da membrana celular, que provoca uma perda de solutos e desbalanceamento iônico. Como consequência do metabolismo anormal, as células danificam-se e acumulam compostos tóxicos e radicais livres de oxigênio que causam em caso extremo, a morte das células (MORSY et al., 2005).

Em plantas de arroz, a taxa de crescimento e o metabolismo são inibidos por temperaturas entre 15 a 20 °C, porém, o mecanismo fisiológico do estresse por baixas temperaturas e as mudanças metabólicas não estão claros. Reconhece-se que os padrões da síntese de proteínas e os níveis de mRNA mudam quando as plantas são expostas às baixas temperaturas. No estágio inicial, a fosforilação de proteínas celulares ou ativação de kinases tem sido detectada (KOMATSU, 1999). Outras mudanças como a síntese de novas proteínas, alterações na saturação dos lipídeos e clorose nas folhas novas pela falta de clorofila, têm sido reportadas (KAZEMITABAR et al., 2003).

Na presença de baixas temperaturas, a assimilação de CO₂ e a fotorespiração são suprimidas. Nesta situação, como a capacidade de utilização dos fótons de luz diminui, aumenta-se a susceptibilidade à foto inibição, que causa o aparecimento de radicais livres de oxigênio que são tóxicos para a célula. Além disso, tem-se relatado um incremento dos pigmentos derivados do ciclo da xantofila e uma maior atividade das enzimas do ciclo da água (HIROTSU et al., 2004).

As respostas adaptativas dos genótipos menos suscetíveis ao frio, envolvem uma série de reações fisiológicas. A mais importante é o ajuste osmótico via síntese de osmoles compatíveis utilizando enzimas como Δ -pirrolina, 5-carboxilase sintase (P5CS). Também ocorrem aumentos na estabilidade das membranas por incrementos na desaturação dos ácidos graxos nos lipídeos da membrana, aumentos na estabilidade das proteínas e outras macromoléculas por chaperonas moleculares e detoxificação celular eliminando os efeitos perigosos dos radicais livres de oxigênio via antioxidantes. Também ocorre a ativação de genes relacionados com a resposta a estresse como desidratação e salinidade (MORSY et al., 2005).

Terres (1991), numa perspectiva agrônômica, resume as conseqüências das baixas temperaturas de acordo com o estágio de desenvolvimento do arroz.

- Fase vegetativa:

A presença de baixas temperaturas no final de setembro e o início de outubro, retarda a germinação e a emergência das plântulas nos genótipos sensíveis. As folhas das plântulas apresentam uma taxa de desenvolvimento diária muito pequena e tornam-se cloróticas. Além disso, o perfilhamento é baixo e lento, e em geral, o estande inicial é muito pobre e o desenvolvimento da cultura é lento. Nas mesmas condições, o desenvolvimento das ervas daninhas, é mais acelerado do que o arroz, sendo preciso então a utilização de maiores quantidades de herbicidas e repetidas aplicações. Há um maior consumo da água de irrigação em função do maior ciclo vegetativo da cultura.

- Fase reprodutiva:

As baixas temperaturas durante a fase de prefloração (microsporogênese) têm maiores efeitos sobre o rendimento de grãos devido ao aumento da esterilidade das espiguetas. Tem-se observado outros efeitos como exercício ruim da panícula, deformação dos ápices das panículas, e emissão muito lenta das mesmas. Na fase de floração ocorre considerável esterilidade das espiguetas, aumento do tempo entre o início e final da floração, e maior incidência de doenças de final de ciclo como manchado do grão.

Na Tabela 1 é apresentado um resumo dos efeitos das baixas temperaturas na cultura do arroz. Esta é adaptada dos trabalhos apresentados por Yoshida (1981), e por Alvarado e Grau (1991).

Tabela 1 - Efeitos das baixas temperaturas sobre a cultura do arroz

FASE	TEMPERATURA CRITICA (°C)	TIPO DE DANIFICAÇÃO
Germinação	16 – 19	Baixa porcentagem, e alongamento do período de germinação.
Emergência e Estabelecimento	12	Diminuição da taxa de emergência e do número de plantas emergidas
Enraizamento	16	Poucas raízes pequenas
Alongamento das folhas e aparelho fotossintético	7 – 12	Diminuição do crescimento e descoloração das folhas
Perfilhamento	9 – 16	Diminuição do número e da velocidade de crescimento.
Primórdio floral	15	Inibição da formação do grão de pólen e das espiguetas. Engrossamento do tapetum.
Formação da panícula	15 – 20	Má exerceção da panícula, e deformidades nas espiguetas.
Antese	22	Retardamento da abertura das flores.
Fertilização do estigma	22	Não há polinização, porem há esterilidade.
Maduração e formação do grão	12 -18	Alongamento da fase de enchimento do grão. Manchado do grão

2.1.3 O problema do frio na cultura do arroz no Cone Sul

No arroz a maior produtividade pode ser relacionada diretamente com radiação solar num período entre os estádios de início de primórdio e floração (PULVER; MENEZES 2003). Entretanto, segundo os mesmos autores os melhores níveis de radiação solar nas regiões arrozeiras no sul do Brasil estão acima de 500 cal/cm² num período entre finais de Novembro até mediados de Janeiro, e para aproveitar essa oportunidade, necessita-se de cultivares com capacidade de se estabelecer em temperaturas baixas para semeá-los já nas últimas duas semanas de Setembro. Porém, atualmente esses genótipos não existem, e a susceptibilidade ao frio nas fases iniciais da cultura limita a utilização de cultivares modernas de alta produtividade nesta estratégia.

No Rio Grande do Sul o arroz é plantado nos meses de outubro e novembro, e em algumas regiões são normais temperaturas abaixo dos 20°C, durante o estabelecimento da lavoura (OLIVEIRA, 1997). A ocorrência destas temperaturas nas etapas iniciais da cultura diminui o estande inicial de plantas, e, mais tardiamente, na etapa reprodutiva, pode provocar perdas no rendimento devido à esterilidade das espiguetas. Neste estado tal situação ocorre uma vez a cada três anos causando prejuízos no rendimento de grãos superiores a 25% (TERRES; GALLI; GASTAL, 1985). Apesar dos bons níveis de produtividade, há uma grande variabilidade ao longo dos anos, causada fundamentalmente pelas condições climáticas. A ocorrência de baixas temperaturas e a disponibilidade de radiação solar durante fases críticas da planta, são os dois elementos climáticos relacionados com a variabilidade nos níveis de produtividade (STEINMETZ et al., 1996).

O custo de produção e a produtividade da lavoura são afetados pelo frio tanto de forma direta quanto indireta. Quando ocorre no período vegetativo inicial das plântulas, os efeitos incidem diretamente sobre o custo e indiretamente sobre a produtividade. Quando ocorre no período reprodutivo e da maturação, os reflexos são maiores e diretos sobre o rendimento (TERRES, 1991).

No Uruguai, as frentes frias provenientes do sudoeste, são comuns na época de cultivo. Na região leste, nos meses do verão há uma média de dez noites com

temperaturas mínimas embaixo de 15 °C. A situação é pior na medida em que existem primaveras com muita chuva, que atrasam o plantio e provocam que a fase reprodutiva ocorra num período no qual a probabilidade de ocorrência de baixas temperaturas é maior (INIA, 2003).

No Chile, Alvarado (1999) apud Castillo e Alvarado (2002) mencionam que às temperaturas menores de 20 °C por cinco dias após da semeadura causam uma diminuição na população inicial por morte das plântulas. Igualmente quando ocorrem temperaturas menores do que 16 °C desde a semeadura até o florescimento, o ciclo da planta prolonga-se por mais de 120 dias e a porcentagem de esterilidade que normalmente flutua entre 10 a 12%, pode chegar até 60%.

Marassi et al. (2000) relatam que na Argentina existem duas regiões para a orizocultura. A região norte localizada entre 25° a 30 ° de latitude sul que compreende as províncias de Chaco, Formosa e Corrientes onde os problemas do frio não são muito importantes e os genótipos tropicais adaptam-se bem. E a região compreendida entre os 30 ° e 33 ° de latitude sul, que abarca as províncias de Entre Rios e Santa Fé, nesta área apresentam-se períodos de baixas temperaturas no início do ciclo e no mês de fevereiro.

Terres; Galli e Gastal (1985) mencionam que as cultivares tradicionais como Caloro, IAS-12-9 Formosa, EEA 404, EEA 406, devido ao seu alto vigor inicial mesmo em condições de solo frio, podiam competir com as invasoras, razão pela qual eram adaptadas às semeaduras no cedo, quando geralmente ocorrem baixas temperaturas de solo. As cultivares intermediárias ou tipo americano, com exceção do IRGA 411, possuem vigor inicial baixo, e não são úteis para semeaduras de cedo. Já as cultivares do grupo moderno, semi-anão em condições de solo frio apresentam um vigor inicial intermediário, tendo pouca capacidade de competição com as ervas daninhas.

No início da década de 1970, todas as cultivares que se utilizavam no Rio Grande do Sul eram de tipo tradicional, de porte alto, possuíam grãos de qualidade ruim, eram suscetíveis a doenças, e acamavam com facilidade. A partir de 1971 a 1975, as cultivares tradicionais foram rapidamente substituídas pela cultivar americano precoce Bluebelle. Logo, já nos inícios da década de oitenta, Bluebelle foi substituída, pelas cultivares de tipo moderno como Br-Irga 409 e 410 de origem tropical. Estes

novas cultivares constituíram-se em um importante avanço, e atribui-se um acréscimo médio de 15% na produtividade somente pela substituição das cultivares antigas. Porém, mostraram deficiências em características como sensibilidade às baixas temperaturas e excesso de ferro. Desta forma, a substituição das variedades tradicionais apesar das muitas vantagens trouxe a dificuldade da susceptibilidade às baixas temperaturas, tanto na fase da germinação-emergência em plantios no cedo, como na fase da plântula pela ocorrência de frentes frias (CARMONA, 1989).

2.1.4 Estudos genéticos da tolerância ao frio na fase de germinação-emergência

Conforme o arroz foi estendendo-se em áreas cada vez maiores, as plantas foram diferenciando-se com relação à resposta às temperaturas, devido à adaptação a diferentes regiões sendo que a subespécie japônica adaptou-se em áreas de alta latitude e elevada altitude, e a subespécie índica às condições tropicais. Assim as diferenças genotípicas no que se refere à tolerância ao frio na fase de germinação-emergência estão relacionadas com a adaptação a condições específicas de cultivo.

Existem relatos mostrando que a germinação em condições de baixas temperaturas de cultivares provenientes de áreas de altas latitudes foi mais rápida do que a germinação de cultivares provenientes de baixas latitudes. Por exemplo, um estudo comparando variedades índicas e japônicas, encontrou que as últimas podiam germinar em temperaturas tão baixas como 8 °C, sendo que as variedades índicas não conseguiram (TAKAHASHI, 1997).

Jones e Peterson (1976) reportaram que cultivares japônicas da Hungria, da antiga URSS e da Califórnia apresentaram um maior índice de emergência em condições de baixas temperaturas (15 °C) sendo mais tolerantes ao frio na germinação, do que os acessos índica. Mejia (1988) verificou que algumas cultivares japônicas originárias do Chile como Diamante e várias linhagens Quillas conseguiam germinar em temperaturas tão baixas como 13 °C. Redoña e Mackill (1996a) realizaram um extensivo estudo sobre a variação genética do vigor da plântula e reportaram que as variedades japônicas temperadas e as índicas foram mais vigorosas do que as japônicas tropicais. Neste estudo a avaliação foi realizada utilizando duas temperaturas

18°C e 25°C, no teste de “slantboard” numa câmara de crescimento utilizando papel, na casa de vegetação usando solo, e no campo por dois anos. Estes autores reportam que segundo a análise de correlação o peso da plântula, o comprimento do colmo, e o comprimento do coleóptilo no “slantboard test” seriam os melhores indicadores do vigor das plântulas na casa de vegetação e no campo. Por outro lado, utilizando temperaturas mais baixas (9 °C e 13 °C, com um fotoperíodo de 12 horas), Mackill e Lei (1997) estudaram 117 cultivares previamente classificados como índicas, japônicas e japônicas tropicais em câmaras de crescimento utilizando solo, e no campo numa estação experimental na Califórnia; os resultados indicaram que as japônicas e japônicas tropicais foram mais tolerantes do que as índicas. Cruz et al. (2001), encontraram que alguns genótipos de tipo japônica, como Diamante e Quilla 64117 foram os mais tolerantes ao frio na germinação. Cruz M. (2004), reportou que os genótipos CT6748-CA-17P, CT6750-9-2-4-2-M-3, Quilla 154905, Quilla 16602, Quilla 145601, H305-84, CT6742-10-10-1-M, Quilla 154908, Quilla 66304, Cinia 948, CT6746-4-1-CA-3, Quilla 154907, Alinano C, Cinia 1010, todas de origem japônica, apresentavam um alto grau de tolerância, e eram aptos para serem utilizados como genitores num programa de melhoramento.

Com os resultados até então relatados, pode concluir-se que existe evidência suficiente mostrando que as cultivares de tipo japônica são mais tolerantes do que as índicas. Porém, existem relatos de tolerância em genótipos de tipo índica como Leng Kwang, Thangone, Silewak, C-21 (SATAKE; TORIYAMA, 1979), Suweon 287, China 988, K39-96-3-1-1-1-2 e ARC 600 (KAW; KHUSH, 1996), Black Gora (REDOÑA; MACKILL, 1996a). Um outro fator importante nas diferenças genotípicas é a origem geográfica do material. Takahashi (1997), citando vários estudos menciona que cultivares originadas em regiões de alta latitude apresentam uma maior capacidade de germinar em condições de baixas temperaturas. Em consequência, a tolerância a baixas temperaturas é uma característica chave na adaptação do arroz a altas latitudes e altitudes e, é possível encontrar com facilidade fontes de tolerância.

Segundo mencionam Fujino et al. (2004), tem sido observada uma ampla variação na capacidade de germinação do arroz sob baixas temperaturas em muitas variedades originadas de Japão, Europa, China, Rússia e outras regiões. Porém,

apesar da ampla variabilidade genética observada não tem sido fácil o melhoramento para aumento deste caráter. Isto devido ao fato de que o mecanismo de herança não tem sido bem entendido.

Sasaki (1997) menciona ainda que a maioria das fontes de tolerância ao frio, apresenta um nível de aceitabilidade muito baixo no que se refere aos caracteres de importância agrônômica, o que dificulta transferir seus altos níveis de tolerância em cultivares de uso comercial. Pois, geralmente existe uma correlação genética negativa entre precocidade e tolerância ao frio, com alto potencial de produtividade, boa qualidade de grão, boa qualidade de cocção, resistência ao acamamento, resistência à brusone, tipo de planta e outros caracteres agrônômicos.

No aspecto genético, os problemas causados por baixas temperaturas durante a germinação-emergência do arroz, têm motivado várias pesquisas sobre o controle genético da tolerância a este estresse. Devido ao consenso sobre a tolerância ser um caráter poligênico, tem utilizado um enfoque quantitativo para a análise genética e mais recentemente tem-se agregado o uso de marcadores moleculares para o mapeamento de QTL's.

No Japão Sasaki (1968, 1974, 1977), apud Takahashi (1997) encontrou que a capacidade de germinação do arroz em baixas temperaturas esteve controlada por genes dominantes e que existe a possibilidade de encontrar segregantes transgressivos. Sasaki, reportou uma herdabilidade alta medida pela correlação entre a planta F_2 e a linhagem F_3 , mostrando que a seleção na geração F_2 é efetiva. Esta observação foi reforçada pelo fato de que as correlações pai-progenie F_3/F_4 e F_4/F_5 foram também altas. Igualmente, houve uma correlação alta e significativa da capacidade para germinar em baixas temperaturas com o comprimento da plântula nos estádios iniciais e com o peso do grão. Interessante notar que segundo o autor nas gerações F_3 e F_4 não houve correlação entre a capacidade para germinar em baixa temperatura e caracteres de interesse agrônômico. Sasaki chega à conclusão que os efeitos aditivos dos genes são mais importantes, e que a tolerância é dominante sobre a susceptibilidade. Discutindo estes resultados, Takahashi informa que existe a possibilidade de produzir cultivares melhoradas com uma elevada capacidade para germinar em baixas temperaturas, e com um crescimento inicial vigoroso.

Li e Rutger (1980) estudaram a herança do vigor (altura da plântula) em baixas temperaturas (18 °C por 14 dias) utilizando uma análise dialélica com nove genitores. Seus resultados indicaram que os efeitos aditivos e dominantes foram altamente significativos, sendo que os efeitos aditivos foram consistentes nas gerações F_1 e F_2 . Houve heterose positiva para maior vigor de plântula e correlações negativas entre a média dos genitores e a soma da variância e covariância de seus híbridos, indicando que a tolerância é dominante. O grau médio de dominância $(H_1/D)^{1/2}$ foi de 0,77 na F_1 e F_2 , indicando dominância parcial. O número mínimo de alelos dominantes foi estimado como cinco na F_1 e quatro na F_2 . Houve uma herdabilidade moderadamente alta para o vigor de plântula (57% na F_1 , e 70% na F_2) o que indica que maior proporção da variabilidade fenotípica do vigor da plântula em baixas temperaturas, é controlada por genes com efeitos aditivos e aditivo por aditivo. Os genitores com o maior vigor também apresentaram os maiores efeitos da CGC.

McKenzie; Rutger e Peterson (1980) demonstraram que embora a maioria das linhagens com tolerância ao frio apresente maior altura, é possível produzir linhagens semi-anãs de alto potencial de rendimento com níveis elevados de vigor de plântula em baixas temperaturas. Seus resultados sugerem que não existe ligação gênica ou pleiotropia entre os genes que controlam a altura da planta e os genes que controlam a tolerância às baixas temperaturas.

Kaw e Khush (1986) pesquisaram sobre a capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC) para tolerância as baixas temperaturas, utilizando cruzamentos em delineamento fatorial entre dezessete linhagens tolerantes (nove do tipo japônica e oito do tipo índica) e oito linhagens elites do tipo índica do programa de melhoramento do Instituto Internacional de Pesquisa do Arroz - IRRI. Neste trabalho, os caracteres avaliados foram: o coeficiente de emergência, altura da plântula aos 15 e 22 dias, e a porcentagem de sobrevivência aos 15 e 22 dias. As condições de avaliação utilizadas pelos autores consistiram em semeaduras em bandejas de porcelana com solo, colocadas em câmara de crescimento com luz artificial e uma temperatura constante de 15 °C por 22 dias. Os resultados evidenciaram a presença significativa dos efeitos aditivos e não aditivos no controle genético do coeficiente de emergência, da altura da plântula aos 15 dias, e da porcentagem de sobrevivência aos 15 dias. No

caso da altura da plântula aos 22 dias houve somente significância dos efeitos da CGC de ambos os grupos de genitores, e para a porcentagem de sobrevivência aos 22 dias somente foram importantes os efeitos da CGC das linhagens tolerantes. A comparação entre os componentes quadráticos indicou a preponderância dos efeitos aditivos para os caracteres altura da planta e porcentagem de sobrevivência. Porém, no coeficiente de emergência os efeitos da CEC foram mais importantes. A média geral dos híbridos foi igual à média dos genitores tolerantes, indicando que a tolerância ao frio é dominante. O comportamento *per se* dos genitores tolerantes, foi um bom indicador de sua CGC para altura da plântula e a porcentagem de sobrevivência.

Sthapit e Witcombe (1998) avaliando a tolerância ao frio através de um índice de germinação em famílias F_3 , submetidas a 17 °C por sete dias, encontraram uma herdabilidade em sentido amplo de 70% para a porcentagem de germinação e de 90% para a velocidade de germinação. Priyanka; Mishra e Thakur (2000) estudaram a variabilidade genética em 26 linhagens de arroz com o objetivo de identificar caracteres associados com a tolerância ao frio (condições de campo) no germoplasma da Índia. Os autores observaram uma herdabilidade moderada (60-80%) para caracteres como altura da plântula, proporção da parte aérea/raízes e notas de tolerância ao frio e alta herdabilidade no sentido amplo >80% para porcentagem de germinação, vigor de plântula, e eficiência de mobilização.

No Rio Grande do Sul, Cruz R.P. (2001) verificou numa análise dialélica com seis linhagens (Quilla 64117, Quilla 66304, Diamante, Irga 417, BRS 7 Taim, e IR 8) e utilizando um estresse de 13 °C, que a ação gênica aditiva e não aditiva são importantes na herança da tolerância ao frio na fase germinação, com predominância da ação gênica não aditiva em caracteres como redução no comprimento do coleóptilo e crescimento do coleóptilo após um período de estresse. Porém, utilizando a metodologia de médias generacionais em seis cruzamentos tolerante com suscetível (Quilla 66304 x BRS 7 Taim, Quilla 64117 x BRS 7 Taim, Diamante x BRS 7 Taim, Quilla 66304 x Irga 417, Quilla 64117 x Irga 417, Diamante x Irga 417) encontrou que os dados não se ajustaram a um modelo simples aditivo dominante, mostrando a presença da epistasia na tolerância ao frio. No melhor modelo para explicar os dados, o efeito de

dominância apresentou maior importância seguido pelos efeitos aditivo por aditivo e dominante por dominante.

Cruz M. (2004), estudou o controle genético da tolerância às baixas temperaturas através de um dialelo (Griffing 1956, método 2, modelo I). Utilizando os genitores Quilla 145601, Quilla 154907, CT6748-8-CA-17, FL0482-5P-2-1P-M, FL00236-4P-2-1P-M, Quilla 154908, Quilla 173201, Embrapa 7 TAIM, CT10308-27-3-1P-4-3-2P e Colômbia XXI. A tolerância ao frio foi medida pela porcentagem de sementes com o coleótilo maior do que 5 mm, após terem sido colocadas para germinar em rolos de papel a 12°C, no escuro. Cruz M. (2004), verificou a existência de heterose positiva no sentido do aumento da tolerância ao frio, e a importância dos efeitos aditivos e não aditivos dos genes no caráter em estudo.

Fujino (2004), demonstrou a presença de genes com maior efeito na tolerância ao frio. Este autor realizou uma pesquisa com a finalidade de identificar os genes de alta capacidade de germinação em condições de baixas temperaturas presentes no genótipo Itália Livorno, e encontrou que as distribuições da porcentagem de germinação a 15 °C nas populações F₂ e BC₁F₁ mostraram uma distribuição contínua, confirmando que a tolerância às baixas temperaturas é um caráter poligênico. O autor obteve algumas linhagens com comportamento similar ao Itália Livorno na geração BC₁F₁. Estas foram utilizadas em retrocruzamentos com a linhagem Hayamasari como genitor recorrente, até a geração BC₅F₁. Nas gerações BC₅F₁ e BC₅F₂ foi observada a segregação de um gene simples dominante para tolerância. Este gene foi denominado *Ltg(t)*. O comportamento das linhagens isogênicas para este gene foi similar ao genitor Itália Livorno.

Recentemente, marcadores moleculares tem sido utilizados no estudo das bases genéticas da tolerância ao frio na fase de germinação-emergência visando a identificação e quantificação dos efeitos de regiões do genoma associadas com caracteres quantitativos. Algumas destas pesquisas são relatadas a seguir.

Redoña e Mackill (1996b) estudando uma população F₂, de 204 plantas derivadas do cruzamento entre uma cultivar japonesa de baixo vigor (Labelle) e uma cultivar índica de alto vigor (Black Gora), avaliada em dois regimes de temperatura (18°C e 25°C), identificaram treze “Quantitative Trait Loci” (QTL’s) atuando no controle

genético dos comprimentos da plântula, das raízes, do coleóptilo e do mesocótilo, relacionados com o vigor de plântula. Esses QTL's explicaram entre 7% e 38% da variação fenotípica, e tiveram efeitos genéticos de tipo aditivo, dominante e sobre dominante. Foi verificado que o genitor de baixo vigor contribuiu com 46% dos alelos positivos para vigor da plântula.

Miura et al. (2001), apud Fujino (2004) utilizando um cruzamento entre uma cultivar japonesa (Nipponbare) e uma cultivar índica (Kasalath), localizaram cinco QTL's para capacidade de germinação em baixas temperaturas nos cromossomos 2, 4, 5 e 11. Silva et al. (2003), encontrou um QTL para tolerância ao frio na fase de germinação utilizando a população F_2 proveniente do cruzamento Irga 417 (índica) com Quilla 66304 (japonesa).

Fujino et al. (2004) utilizando 122 linhagens endogâmicas derivados de retrocruzamentos (BIL's) obtidas no cruzamento de Itália Livorno com Hayamasari, identificaram três QTL's para tolerância ao frio na fase de germinação. Dois QTL's estiveram localizados no cromossomo 3 e o outro no cromossomo 4. Um destes denominado de qLTG-3-1, explicou 35% da variação fenotípica.

Zang et al. (2005a) utilizaram 282 F_{13} RIL's e temperaturas de 25, 20, e 15 °C para mapeamento de QTL's envolvidos na tolerância a frio e o vigor de semente. Os resultados confirmaram a herança quantitativa e a presença da interação com o ambiente no vigor de plântula. Cinco QTL's foram mapeados no tratamento de 15 °C, destes, somente três mostraram efeitos consistentes nos três regimes de temperatura. Os autores concluem que o crescimento das plantas em estresse é função do vigor da semente e da tolerância ao frio, e que no arroz existem três tipos de genes relacionados com o vigor de plântula, aqueles relacionados tanto com o vigor quanto com a tolerância, aqueles relacionados unicamente com o vigor e aqueles relacionados somente com a tolerância.

Os diferentes estudos genéticos realizados para tolerância ao frio na etapa de germinação, permitem estabelecer algumas considerações. Não existe um consenso na literatura acerca de quais seriam as condições de avaliação, dos regimes de temperatura e dos caracteres mais adequados para medir a tolerância às baixas temperaturas nos estádios iniciais da plântula. No que se refere ao controle genético, é

aceito que a tolerância é um caráter quantitativo. Em geral têm sido observados efeitos aditivos e de dominância, com poucos relatos da epistasia atuando na tolerância às baixas temperaturas. Os genes que controlam a tolerância na fase de germinação-emergência, exercem dominância manifestada pela heterose positiva. Embora, vários trabalhos relatem uma predominância dos efeitos não aditivos, outros, porém reportam alta herdabilidade indicando uma ação fundamentalmente aditiva. Os estudos mais recentes com marcadores moleculares confirmam a existência de um sistema poligênico, porém identificam alguns genes com maior efeito. Nestes estudos, não há concordância no que se refere ao número e localização dos QTL's, o que deve ser um reflexo do uso de diferentes caracteres para medir a tolerância, em diferentes populações e com marcadores distintos.

Num enfoque alternativo à análise genética e dada à importância do caráter no melhoramento de arroz nas regiões de clima temperado, alguns estudos têm-se focado no entendimento das bases moleculares da variação genética para tolerância ao frio.

De Los Reyes et al. (2003), utilizaram a estratégia de subtração de simples cDNA para desenvolver "Tag" de seqüências expressadas "EST's" do cultivar CT6748-8-CA-17P, em varias fases (S1, S2 e S3), crescendo em condições de baixas temperaturas (13°C - 10 °C). Estes autores relatam que 23,17% do total das "ESTs" foram genes relacionados com a tolerância aos estresses abióticos (seca, frio, salinidade), estresses bióticos (patógenos) e funções reguladoras (desenvolvimento, sinais e transcrição). A maioria dos genes codifica para proteínas com funções conhecidas ou atribuídas na prevenção ou reparação de injúrias celulares causadas por frio, desidratação, toxicidade por íons, estresse por luz e falta de oxigênio. Os processos celulares envolvidos sob controle destes genes, incluem ajuste osmótico, homeostase de íons, limpeza de radicais livres de oxigênio, e modificações dos lipídeos da membrana. A ocorrência destes genes é consistente com os efeitos fisiológicos das baixas temperaturas e a desidratação em células vegetais. Em consequência, os autores propõem que alguns dos componentes do mecanismo de resposta ao frio são provavelmente conservados entre espécies com e sem capacidade de aclimação ao frio, e que a divergência entre as plantas suscetíveis e tolerantes é causada pela perda

dos componentes principais da rota de aclimação. Eles apontam que devido à complexidade dos mecanismos de tolerância as diferenças genéticas para este caráter, dependem da expressão coordenada de muitos genes.

Morsy et al. (2005), utilizando “EST’s” obtidas de plântulas na fase de S3, do cultivar CT6748-8-CA-17 submetido a 10 °C, isolaram dois genes (*OsLti6a* e *OsLti6b*) que foram induzidos por baixas temperaturas durante a emergência das plântulas. Estes genes estão relacionados com genes de Arabidopse e Aveia, que atuam no processo de aclimação ao frio, envolvidos na síntese de proteínas responsáveis pela manutenção da integridade da membrana celular em eventos como baixas temperaturas, desidratação e estresse por sais. Ambos os genes mostraram uma expressão específica por genótipo caracterizada por uma expressão rápida nos genótipos tolerante e mais tardia nos genótipos suscetíveis. As diferenças na expressão temporal foram consistentes com a perda de eletrólitos e vigor de plântula. Os autores concluem que estes genes são parte de um grupo relacionado com a resposta ao estresse por frio regulado por um “switch” comum.

Em consequência, não é possível chegar a uma conclusão definitiva quanto ao controle genético da tolerância às baixas temperaturas na fase de germinação e emergência. No nível genético, é claro que se trata de um caráter quantitativo, e aparentemente estão envolvidos efeitos aditivos e não aditivos controlados por vários genes, alguns de maior efeito do que outros. Por outro lado os estudos moleculares mostram que na resposta ao frio estão envolvidos vários processos fisiológicos controlados por muitos genes e que se trata de um mecanismo muito complexo.

2.1.5 Estudos genéticos da tolerância ao frio na fase de plântula

No arroz, a tolerância ao frio na etapa de plântula, é comumente definida como a habilidade da planta para sobreviver num período de baixas temperaturas. As plântulas que conseguem sobreviver ao estresse, entretanto sofrem uma diminuição na velocidade de crescimento. Esta diminuição é também uma medida da tolerância ao frio e pode ser expressa em termos de perfilhamento e produção de matéria seca. O sintoma mais comum mostrado pela plântula na presença do frio é um amarelecimento

das folhas, nanismo e em casos severos a morte da plântula. (SALAHUDIN; VERGARA, 1974).

A maioria das cultivares que mostram amarelecimento das folhas é da subespécie *Índica*, enquanto que aqueles que permanecem com folhas verdes ou pouca clorose são da subespécie *japônica*. Vários autores relatam que cultivares de tipo *Índica* e de origem tropical são mais suscetíveis na fase de plântula. (SALAHUDIN; VERGARA, 1974).

Vários estudos mostram que na fase de plântula a tolerância é controlada por um gene dominante. Kwak et al. (1984), cruzaram seis cultivares tolerantes (Calrose, JC 24, Jodo, KT31, IR1846, e Eiko) com um cultivar suscetível (IR 30), e avaliaram as gerações F_1 , F_2 e F_3 pelo grau de amarelecimento em uma escala de 0-9. Eles relataram que a tolerância ao frio na etapa de plântula é controlada por um gene dominante. Porém, encontraram uma herdabilidade baixa (0,45) utilizando a regressão pai - progênie de F_2 para F_3 . Nagamine (1991) estudou o controle genético da tolerância ao frio (5 °C por 4 dias) na fase de plântula utilizando as gerações F_1 , F_2 e F_3 de cruzamentos entre cultivares tolerantes (In Sitt, Dourado Precoce, R.M., North Rose, e Shirakawa) e suscetíveis (Guizhao 2, IR 30, DGWG, Pusur, Dular e Nepal 8). Na geração F_1 , todos os cruzamentos foram resistentes sem diferenças entre recíprocos. Na geração F_2 , Nagamine (1991) observou-se uma segregação 3:1, que corresponde a um gene dominante para tolerância o qual foi denominado *Cts2*. Em relação ao amarelecimento por frio utilizando a mesma população foi observada de novo uma segregação 3:1 normal:clorótica, não havendo ligamento com o gene anterior, indicando que esses caracteres estão controlados por diferentes locos.

Já outros estudos têm revelado uma herança quantitativa. Sthapit e Witcombe (1996) estudando duas populações F_3 derivadas de cruzamentos entre duas linhagens tolerantes e duas linhagens suscetíveis, relatam uma herdabilidade de 70% para a tolerância ao frio (17 °C) na fase de plântula. Kaw et al. (1986) informando sobre os resultados de suas pesquisas, relataram a predominância da ação gênica aditiva na tolerância ao frio medida por meio da descoloração foliar. Assim mesmo, informaram que os genitores do tipo *japônica* mostraram os maiores efeitos da CGC e que a performance *per se* foi um bom indicativo de sua CGC. Kaw e Khush (1986) verificaram

a predominância da ação gênica aditiva na característica altura da plântula como um indicativo da tolerância ao frio neste estágio.

Estudos mais recentes têm-se focado no mapeamento de QTL's, em uma abordagem quantitativa. Andaya e Mackill (2003), com o objetivo de identificar QTL's associados com a tolerância ao frio na fase vegetativa da planta, analisaram 191 linhagens recombinantes endogâmicas (RIL's) derivadas do cruzamento entre o cultivar japonês tolerante M202 e o cultivar indica sensível IR 50, com 181 marcadores microssatélites. Plântulas com 3 folhas foram submetidas ao estresse que consistiu em três tratamentos de frio. O primeiro foi de 9 °C de temperatura constante por 18 dias. O segundo foi 25 °C e 9 °C dia/noite por 28 dias, e o terceiro consistiu em submeter plantas de 60 dias de idade a 12 °C de temperatura constante por cinco dias. A distribuição das RIL's, as maiores frequências das classes parentais e as contribuições dos vários QTL's encontrados para a variância; indicam que tanto genes maiores como genes menores contribuíram para a tolerância às baixas temperaturas. Um QTL no cromossomo 12 flanqueado pelos marcadores RM101-R292 explicou 41% da variação fenotípica no tratamento 1 e 42% no tratamento 3 e, por conseguinte associado com a tolerância ao frio nas fases de plântula e planta adulta, foi considerado pelos autores como promissor para mapeamento.

Zhang et al. (2005b) utilizaram 269 linhagens endogâmicas recombinantes F_{12} derivadas do cruzamento entre Lemont (japonesa tropical tolerante) com Teqing (índice suscetível) para mapeamento de QTL's envolvidos na tolerância ao frio, avaliando a porcentagem de sobrevivência 12 dias após do estresse (10 °C por 10 e 13 dias) na fase de plântula. No tratamento dos 10 dias a tolerância esteve controlada por muitos locos com efeito pequeno. Entretanto no tratamento de 13 dias a tolerância foi controlada por um QTL de efeito maior (30% da variância) localizado no cromossomo 11 e vários outros genes de efeito pequeno. Houve interações inter-alélicas significativas sugerindo a presença de efeitos da epistasia na tolerância ao frio nesta fase.

Long et al. (2005), utilizaram marcadores microssatélites em 203 linhagens $F_{2:3}$ derivadas do cruzamento entre Milyang 23 (índice suscetível) com Jileng 1 (japonesa tolerante), para identificar QTL's associados com a tolerância ao frio nas fases

de plântula e perfilhamento. Eles encontraram que todos os caracteres associados com a tolerância ao frio tiveram uma distribuição normal, indicando herança quantitativa. Seus resultados mostram que na fase de plântula existe uma combinação de genes maiores e menores. Entretanto, na fase de perfilhamento relataram a existência de vários genes com efeito menor.

Aparentemente na fase de plântula, embora não exista uma concordância entre os resultados dos diferentes estudos acerca de número de genes e localização nos cromossomos, há considerável evidência no sentido da existência de genes maiores, atuando junto a outros genes de menor efeito.

2.1.6 Heterose e capacidade de combinação no arroz

Os pesquisadores de arroz se interessaram cedo pela presença da heterose. Jennings (1966) menciona que nessa época existiam poucos estudos sobre heterose em cruzamentos índica com japônica, mas nos resultados relatados a maioria dos híbridos mostravam heterose positiva no número de perfilhos, duração do ciclo e produtividade. Em sua pesquisa, Jennings (1966), avaliou 363 cruzamentos de todas as combinações possíveis entre cultivares índicas, japônicas e “ponlai” (japônicas tropicais) para viabilidade do pólen, esterilidade e caracteres agrônômicos. No caso da esterilidade conclui que a fertilidade dos híbridos depende da combinação específica dos genitores e pode variar desde esterilidade até completa fertilidade, e que em geral, a esterilidade ocorre por inviabilidade do pólen. Também menciona que as linhagens dos USA derivadas de cruzamentos índica com japônica, em combinações com outros genótipos índica ou japônica, geralmente produzem híbridos com alta fertilidade. Em seu estudo encontrou evidências claras de heterose padrão e heterobeltiose para precocidade, maior número total de perfilhos, menor número de colmos não produtivos, e nos híbridos férteis, maior produtividade de grãos. Já para altura de planta encontrou pouca ou nenhuma heterose. O autor conclui que a heterose é um reflexo da distância genética entre os genitores de tipo índica e japônica. Também menciona que a maior produtividade observada sugere a possibilidade da exploração prática da porção não

aditiva da variância genética, sempre que exista um sistema prático de macho esterilidade, mas ressalta que um ótimo tipo de planta é fundamental.

No Brasil, Meirelles (1989) estudou a heterose e a capacidade de combinação em arroz de sequeiro. Na pesquisa foram utilizados cruzamentos dialélicos parciais entre cinco cultivares brasileiras com cinco africanas e avaliados caracteres como número de panículas por planta, número de grãos por panícula, peso de 100 grãos e produção em dois ambientes. Os dados foram analisados segundo o modelo de Gardner e Eberhart (1966) modificado por Miranda Filho e Geraldi (1984). Os resultados mostraram a existência de altos valores de heterose, heterobeltiose, e heterose padrão, presença de efeitos significativos da capacidade geral e específica de combinação e interação dos efeitos genéticos com os experimentos.

Virmani (1994), realizou uma revisão extensiva da literatura em relação à heterose em arroz e concluiu que o uso de híbridos permitir-ia incrementar a produtividade entre 15 a 20% sobre as melhores cultivares comerciais. O mesmo autor discutindo os relatos da literatura menciona que no caso da altura de planta, a heterose é usualmente positiva, porém, correlacionado negativamente com a resistência ao acamamento, pelo que, a heterose positiva para altura da planta é considerada indesejável. O caráter dias para florescimento geralmente mostra uma heterose no sentido de aumentar a precocidade, e não mostra uma correlação com produtividade. Menciona ainda, que vários estudos utilizando genitores com tipo melhorado de planta indicam que existe heterose padrão positiva e heterobeltiose para acumulação de matéria seca, relacionada com maior produtividade. Da mesma forma, existem evidências de heterose para caracteres como índice de colheita, características das raízes, fotossíntese e respiração.

Ando et al. (1994) realizaram um estudo com a finalidade de avaliar a heterose em vários caracteres de interesse agrônomo, e identificar genótipos com alta capacidade de combinação no arroz de sequeiro. Os autores utilizaram quatorze genótipos brasileiros, quatorze linhagens japonesas e cinco materiais filipinos. Os resultados mostraram que a manifestação da heterose, heterobeltiose e heterose padrão variaram conforme os caracteres e a combinação de parentais.

Yuan (2003) menciona que no arroz a heterose segue uma tendência geral sendo maior em cruzamentos índica com japônica, os quais possuem uma panícula muito grande e uma fonte de fotoassimilados bastante produtiva, sendo o potencial de produtividade 30% maior do que em híbridos dentro dos grupos. Em consequência, na China, os esforços estão direcionados no uso da heterose de híbridos índica com japônica visando desenvolvimento de um super-híbrido de arroz. Porém, existem muitos problemas neste tipo de cruzamentos que devem ser superados antes do uso comercial, especialmente a baixa taxa de formação de sementes. O uso de genes de ampla compatibilidade (WC) e de linhagens intermediárias, em vez de cultivares índicas ou japônicas típicas, tem permitido o desenvolvimento de vários híbridos intergrupos.

A existência da heterose no arroz é um fato completamente estabelecido. Hoje, são cultivados na China 16 milhões de hectares com arroz híbrido. E estão sendo desenvolvidos e usados comercialmente em vinte países no mundo, incluindo Estados Unidos e Brasil.

Em relação à importância de alguns caracteres na heterose do arroz para rendimento, Peng et al. (2003), mencionam que embora não estejam muito claras as bases fisiológicas da heterose para rendimento, os caracteres morfológicos e agrônômicos responsáveis por esta são relativamente conhecidos. Os autores mencionam que a maior vantagem em produtividade dos híbridos é atribuída em alguns estudos a uma maior produção de biomassa. Em contrapartida, existem relatos que apontam ao maior índice de colheita como responsável pelo maior rendimento.

Várias pesquisas tem sido realizadas com o objetivo de identificar as bases genéticas da heterose no arroz. No IRRI, Xiao et al. (1996), analisaram as bases genéticas da heterose no arroz utilizando 388 famílias BC₁F₇ e marcadores RFLP's. Estas famílias foram derivadas dos retrocruzamentos entre 197 linhagens F₇ obtidas por SSD de um híbrido com forte heterose, com seus dois genitores (9024 índica e LH422 japônica). Os resultados indicaram que o híbrido F₁ mostrou a maior heterobeltiose para rendimento de grão (20,6%), seguido por peso de 1.000 grãos (10,1%), altura da planta (9,9%), comprimento da panícula (5,0%) e dias para maturidade (3,2%). Os caracteres número de flores por panícula e número de grãos por panícula mostraram

heterobeltiose negativa. O número de panículas por planta, dias até o florescimento e número de grãos por planta, mostraram heterose positiva. Com exceção da altura da planta e do comprimento da panícula na população, não houve efeito da heterozigosidade do genoma *per se* na expressão do caráter. Para cada um dos caracteres houve algumas linhagens recombinantes com um maior valor fenotípico do que o híbrido F_1 , por exemplo, no caso do rendimento, que mostrou a maior heterobeltiose houve duas RIL's com medias significativamente superiores. Os resultados levam aos autores a propor que a complementação de alelos dominantes (incluindo parcialmente dominantes) nos diferentes locos do híbrido F_1 é a maior responsável pela heterose neste cruzamento.

Por outro lado Virmani et al. (2003) relatam que a maioria dos estudos com marcadores moleculares visando o mapeamento de QTL's, tem evidenciado a presença de sobredominância e epistasia de vários tipos como sendo os responsáveis pela heterose no arroz. Porém, também existem relatos sustentando a hipótese da dominância. Os autores concluem que embora não exista um entendimento claro das bases genéticas ou moleculares da heterose no arroz, este fato não tem limitado aos melhoristas para explorar este fenômeno na procura por aumentar a produtividade.

Pelos resultados apresentados na literatura pode-se concluir que ainda não estão claras as bases genéticas da heterose no arroz, porém a existência da mesma é um fato estabelecido.

Por outro lado, vários estudos têm sido realizados visando o entendimento do controle genético dos caracteres relacionados com a produtividade. Em geral têm-se seguido um enfoque quantitativo, visando a estimação de efeitos e de variâncias, alguns destes estudos são relatados a continuação.

Mohapatra e Mohanty (1986) estudaram o controle genético de 30 caracteres de importância no arroz utilizando cruzamentos dialélicos envolvendo 12 genitores, sem recíprocos analisados pelos métodos de Griffing (1956) método II modelo I e Gardner e Eberhart (1966). Os resultados indicaram que ambos os efeitos da capacidade geral e específica de combinação foram altamente significativos para os caracteres: dias para florescimento, número de panículas, altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula, porcentagem de esterilidade, peso de 1000 grãos e rendimento

em gramas por planta, entre outros. A proporção $2s^2_{cgc}/(2s^2_{cgc} + s^2_{cec})$ foi de 0,73 para dias a florescimento, 0,57 para número de panículas, 0,77 para altura da planta, 0,65 para comprimento da panícula, 0,85 para o número de grãos por panícula, 0,93 para o peso de 1.000 grãos e de 0,50 para rendimento por planta. Os três componentes da heterose foram altamente significativos para o rendimento e seus componentes, com exceção da heterose média no número de grãos por panícula e da heterose de variedades no número de panículas por planta. Os quatro genitores com maior efeito da CGC apresentaram também os maiores efeitos na heterose de variedades, sugerindo o efeito dos genes aditivos na heterose. Porém, os híbridos mais heteróticos apareceram de combinações entre genitores com alta CGC e genitores com baixa CGC.

Na Índia Subbaraman e Rangasamy (1989) utilizaram o delineamento conhecido como “Triple Test Cross” em três cruzamentos para estudar o controle genético dos caracteres: altura da planta, número de perfilhos, comprimento da panícula, número de grãos por panícula, peso da panícula, peso de 100 grãos, rendimento e dias para colheita. Os resultados obtidos indicaram a presença de epistasia do tipo aditivo por aditivo para todos os caracteres estudados com exceção da altura da planta e o peso de 100 grãos, da mesma forma houve significância das interações dominante por dominante e aditivo por dominante. No estudo também foi encontrado que os componentes atribuídos aos efeitos aditivos e de dominância foram significativos para todos os caracteres em todos os cruzamentos com exceção do número de perfilhos nos cruzamentos 2 e 3, e do peso de 100 grãos no cruzamento 3. Os autores concluíram que a epistasia não pode ser ignorada no melhoramento do arroz, e que a seleção para caracteres agronômicos deve ser realizada em gerações avançadas de endogamia F_6 , F_8 quando a maioria dos alelos tem sido fixada.

Xu e Shen (1991) na China, estudaram o controle genético do número de perfilhos no arroz utilizando um dialelo completo entre seis cultivares do tipo indica. Na análise dos dados os autores utilizaram as metodologias propostas por Hayman (1954a) e Griffing (1956) método 1, modelo I. Os resultados obtidos mostraram que no controle genético do número de perfilhos, a ação gênica aditiva e não aditivas são importantes. Segundo os autores, a maior capacidade de perfilhamento é parcialmente

dominante, controlada por dois ou mais blocos de genes. A análise segundo o modelo de Griffing indicou diferenças altamente significativas na CGC e na CEC e a maior proporção dos efeitos da CGC evidenciou a preponderância dos efeitos aditivos dos genes.

No Brasil, Moraes (1992) avaliou o potencial genético da população CNA-IRAT4/0/3 através de estimativas de parâmetros genéticos. Seus resultados indicaram que os componentes da variância genética não aditiva não tiveram relevância para a altura da planta, o comprimento da panícula e o peso de 100 grãos. No caso da produção de grãos e do número de panículas por planta a variância devida à dominância juntamente com a variância aditiva mostraram-se importantes como componentes da variância genotípica. Por outro lado, as características altura da planta e peso de 100 grãos apresentaram coeficientes de herdabilidade elevados.

Gravois e McNew (1993) utilizaram cruzamentos dialélicos parciais (delineamento fatorial) para estimar a capacidade de combinação e a heterose no arroz. Eles utilizaram dois grupos de cruzamentos, sendo que cada um consistiu de 4x4 genitores diferentes. Os tratamentos, constituídos de 32 híbridos e os 16 genitores representativos das linhagens elites do sul dos USA, foram avaliados em dois locais do Estado de Arkansas. Na pesquisa, foram estudados caracteres como rendimento em grão, altura da planta, número de panículas, comprimento da panícula, peso da panícula, e número de espiguetas primárias. Os resultados obtidos mostraram tanto a CGC de ambos os grupos quanto a CEC foram importantes na herança dos caracteres estudados. Porém, a CGC foi preponderante, pois explicou 70% da variação em rendimento, 89% para altura da planta, 84% para o número da panícula, 60% para comprimento da panícula, 69% para comprimento da panícula, e 85% para número de espiguetas primárias. Segundo os autores, o uso da performance das linhagens não foi adequado para prever a CGC de um genitor, e a heterose para rendimento variou entre -16% até 68%.

Revisando os resultados da literatura em relação à heterose e capacidade de combinação no arroz, Virmani (1994), relata que com poucas exceções todos os estudos mostram que os caracteres relacionados com o rendimento estão controlados por genes que mostram efeitos aditivos e não aditivos, e usualmente há preponderância

dos efeitos aditivos sobre os não aditivos. Os cruzamentos com altos efeitos da CEC geralmente são derivados de combinações entre genitores que possuem alta x alta ou alta x baixa capacidade de combinação. Por outro lado, os efeitos ambientais influenciam fortemente a CGC, existindo a necessidade de estimar os parâmetros genéticos através de vários ambientes. Na maioria dos casos os altos efeitos da CEC são atribuídos a interações de dominância e epistasia. Porém, uns poucos casos podem ser atribuídos a interações do tipo aditivo x aditivo. Virmani (1994), menciona ainda que um número considerável de pesquisas tem sido realizado com o objetivo de estudar a CGC e a CEC em arroz, em relação a caracteres agrônômicos como altura da planta, dias ao florescimento, germinação em baixas temperaturas, tolerância ao frio na fase vegetativa, resistência a doenças, qualidade do grão etc. Em geral, para todos os caracteres estudados, ambos os efeitos CGC e CEC foram importantes no controle genético, nos diferentes cruzamentos.

Yonezawa (1997) fez uma revisão da literatura japonesa em relação à herdabilidade e o controle genético dos componentes do rendimento em grão no arroz. Os valores médios de herdabilidade em sentido restrito reportados por vários autores em cruzamentos entre variedades japônicas com cultivares de outros países foram de 22,3 % para rendimento, de 25,9% para o número de panículas por planta, de 64,9% para o comprimento da panícula e de 68,1% para o número de grãos por panícula. No caso dos efeitos genéticos, o autor relata que na maioria dos estudos, para os caracteres número de panículas por planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula e peso do grão um modelo simples consistindo somente de efeitos aditivos e de dominância pode explicar a variação observada. O autor menciona ainda que embora existam alguns efeitos da dominância, o maior componente de variância é devido aos efeitos aditivos dos genes, indicando que esses caracteres estão controlados principalmente por sistemas genéticos simples e que a seleção pode ser efetiva em gerações com baixa endogamia, com exceção do número de panículas que apresenta uma herdabilidade baixa devido aos efeitos ambientais.

Mais recentemente, têm sido utilizados marcadores moleculares no mapeamento de QTL's com a finalidade de lograr um melhor entendimento do controle genético dos caracteres relacionados com a produtividade no arroz. Kobayashi et al.

(2003) realizaram um estudo visando identificar e caracterizar QTL's que influenciam os caracteres comprimento do colmo, comprimento da panícula, número de panículas, e número de perfilhos em vários ambientes utilizando 191 linhagens recombinantes endogâmicas, RIL's derivadas do cruzamento entre Milyang 23 (índica) e Akihikari (japônica). Os autores concluíram que um grupo grande de genes está envolvido no controle genético da arquitetura da planta, que existem poucos genes que controlam o balanço entre altura e perfilhamento, e que vários genes interagem com o ambiente resultando em mecanismos genéticos diferentes entre ambientes distintos.

Verma e Srivastava (2004) realizaram um estudo genético com a finalidade de avaliar no arroz os efeitos genéticos predominantes, a capacidade de combinação, a heterose, a depressão por endogamia e os ganhos genéticos por seleção para caracteres agronômicos. Os autores utilizaram as gerações F_1 e F_2 derivadas de 21 cruzamentos entre sete genitores (Mahsuri, IR24, Sarjoo 52, Narendra, Dhan 359, T21, Jal Lahri, NS19) segundo o delineamento de dialelo (sem recíprocos). Os caracteres avaliados foram: dias ao 50% de florescimento, duração do período de enchimento dos grãos, altura da planta, comprimento da panícula, número de perfilhos por planta, área da folha bandeira, número de grãos por panícula, peso de 100 grãos, produção de biomassa, índice de colheita, e produção de grãos por planta. Os dados foram analisados segundo as metodologias de Hayman (1954) e Griffing (1956b) método 2, modelo II. Os resultados obtidos indicaram que os genes que incrementam a expressão dos caracteres, com exceção dos dias para florescimento exercem dominância. O avanço genético expressado como porcentagem da média foi alto e consistente entre gerações em caracteres como altura da planta, peso de 100 grãos e dias para florescimento. Os quadrados médios da CGC e da CEC foram altamente significativos para todos os caracteres, indicando a presença dos efeitos aditivos e não aditivos dos genes. Com exceção dos dias para florescimento, houve uma maior predominância dos efeitos não aditivos dos genes. Houve heterose positiva sobre a média dos pais para a altura da planta, comprimento da panícula, número de perfilhos por planta, área da folha bandeira, peso de 100 grãos e rendimento por planta e heterose negativa para os dias ao florescimento. Não foi encontrado nenhum cruzamento com todos os desvios da CEC na direção adequada.

Pelos trabalhos relatados algumas considerações gerais podem ser observadas: No arroz é bastante freqüente a presença de heterose e especialmente em cruzamentos Índica com japônica, onde os níveis de heterose variam de acordo com os caracteres e aos genitores utilizados. Entretanto não existe consenso sobre as bases genéticas da heterose. No controle genético dos caracteres agrônômicos estão presentes efeitos aditivos e não aditivos, embora existam relatos discordantes existe predominância dos efeitos aditivos.

2.1.7 A metodologia de cruzamentos dialélicos parciais

Segundo mencionam Miranda Filho e Gorgulho (2001) os cruzamentos dialelos definem um delineamento genético no qual se analisam todos os cruzamentos derivados de n linhagens, que podem ter uma população comum ou não. Sprague e Tatum (1942) apud Miranda Filho e Gorgulho (2001) utilizaram este esquema de cruzamentos para definir os termos capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). O termo CGC, refere-se ao comportamento médio de cada linhagem em cruzamentos com os demais do conjunto. Já CEC é interpretada como um efeito na expressão do híbrido que é adicional aos efeitos da CGC dos pais. Nos diversos esquemas de cruzamentos dialélicos que foram propostos após o trabalho de Sprague e Tatum (1942), os efeitos da CGC e CEC são estimados como desvio em torno da média geral e são simbolizados por g_i (efeito da CGC de cada linhagem) e s_{ij} (efeito da CEC no híbrido ij), respectivamente, no modelo estatístico.

Miranda Filho e Gorgulho (2001), mencionam que Griffing (1956), chama de sistema de cruzamento dialélico aquele pelo qual um grupo de n linhas puras é escolhido e cruzamentos são feitos entre elas. Este procedimento dá origem a um máximo de n^2 combinações. As combinações são avaliadas em experimentos com repetições e as médias de tratamentos, representando as combinações mencionadas, são utilizadas para formar uma tabela dialélica. As n^2 combinações podem ser divididas em três grupos: os n genitores, um grupo de $\frac{1}{2}n(n-1)$ híbridos e o grupo de $\frac{1}{2}n(n-1)$ cruzamentos recíprocos. A partir destes grupos, Griffing (1956) idealizou quatro

possíveis métodos de análise que se diferenciam pelo fato de incluir genitores ou recíprocos, ou ambos:

- Método 1: são incluídos os pais, os híbridos F_1 e os cruzamentos recíprocos, totalizando n^2 combinações.
- Método 2: são incluídos somente os pais e os híbridos F_1
- Método 3: são incluídos somente os híbridos F_1 e os recíprocos
- Método 4; que utiliza somente os híbridos F_1 .

Todos os métodos podem ser aplicados para conjuntos fixos ou aleatórios de linhagens.

Ainda mencionam Miranda Filho e Gorgulho (2001) que além dos métodos propostos por Griffing (1956), outras variações metodológicas foram sugeridas. Entre estes, o modelo proposto por Gardner e Eberhart (1966) que se aplica a um conjunto fixo de variedades e seus híbridos F_1 e tem por base os efeitos de variedades (v_i), e a heterose nos híbridos (h_{ij}). Entretanto, o efeito da heterose é subdividido nos componentes: heterose média ($\bar{h}$) representada pela média aritmética das heteroses de todos os híbridos, heterose de variedades (h_i) que expressa o componente da heterose presente em todos os híbridos em que participa a variedade i ; e a heterose específica (h_{ij}) representado um componente da heterose que é específico do cruzamento ij , sendo equivalente à capacidade específica de combinação do Método 4 do Griffing (1956).

Com a finalidade de superar as limitações no uso dos dialelos completos, nos quais o número de cruzamentos a serem avaliados aumenta consideravelmente na medida em que se incluem mais genitores no estudo, Miranda Filho e Geraldi (1984) e Geraldi e Miranda Filho (1988) propuseram o uso de dialelos modificados ou dialelos parciais. Neste tipo de cruzamentos são escolhidos dois grupos de genitores e os cruzamentos são realizados entre os grupos, mas não dentro dos grupos.

No artigo de 1984, Miranda Filho e Geraldi propõem uma modificação do modelo de Gardner e Eberhart (1966). Neste modelo, modificado pelos autores, Y_{ij} representa a média do cruzamento entre a variedade i do grupo um, e a variedade j do grupo dois; e α é igual a zero e θ é igual a um, nos híbridos. Para representar a média das variedades, Y_{ij} é substituída por Y_{ii} ou Y_{jj} ; neste caso, para Y_{ii} θ é igual a zero e α é igual a 1, e α é igual a -1 para Y_{jj} . Todos os outros termos do modelo são definidos de

forma análoga ao modelo de Gardner e Eberhart, com exceção de “d” que representa uma medida da diferença entre as médias de ambos os grupos. Os autores apresentam fórmulas para a estimação dos efeitos e para a obtenção das somas de quadrados da análise da variância.

Oliveira et al. (1987), estenderam a metodologia de análise de dialelos parciais, utilizando o método modificado de Gardner e Eberhart (1966) para a análise conjunta de ensaios repetidos em vários ambientes. Neste artigo, os autores apresentam os estimadores dos parâmetros, as expressões das somas de quadrados e as variâncias das estimativas dos parâmetros.

Existem poucas referências do uso de dialelos parciais em arroz, pois, de modo geral os critérios de escolha de novo genitores são o comportamento *per se* da linhagem e a divergência genética. Entretanto, alguns exemplos da utilização de delineamentos similares são: Meirelles (1989), Gravois e McNew (1993), Kaw e Khush (1986).

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Material genético

No presente trabalho foram realizados 42 cruzamentos entre 13 genitores divididos em dois grupos ($G1+G2 = 13$). O grupo um (G1) com $I = 6$ genótipos suscetíveis a baixas temperaturas e o grupo dois (G2) com $J = 7$ genótipos tolerantes. Os dois grupos foram combinados de acordo com o delineamento genético de cruzamentos dialélicos parciais ($G1 \times G2$), para formar os 42 cruzamentos.

O grupo um (G1) foi formado por genitores suscetíveis as baixas temperaturas, e são cultivares comerciais utilizadas nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul no Brasil e no Uruguai, além de duas cultivares da Colômbia. Todos são do grupo indica com alguma introgressão de germoplasma japônica tropical, como no caso de Irga 417. Apresentam características desejáveis como alta capacidade de perfilhamento, boa adaptação, alta produtividade, boa qualidade do grão etc. Entretanto, são afetados por baixas temperaturas. Na tabela 2, são apresentadas as genealogias deste grupo, e a reação ao frio em condições controladas, avaliada pela metodologia utilizada no Fundo Latino-americano para Arroz Irrigado - FLAR, descrita por Cruz et al. (2001).

Tabela 2 - Genealogia e reação baixas temperaturas dos genitores suscetíveis (Grupo 1)

Nome	Genealogia	Reação
1 L3000	IRGA177-F4-88-4-6F/MT IRGA 409//EL PASO144	AS
2 Oryzica 1	P901-22-7/P881-19-22//P901-22-/P896-20-1	AS
3 IRGA 417	NEW REX/IR19743-25-2-2//BR-IRGA 409	S
4 BR IRGA 410	IR930-53/IR665-31-2-4	S
5 FL3188-7P-5-4P-1P-M	CT8008-16-31-3P-M/CT6543-28-6I-1I-2I//F- 50	AS
6 EPAGRI 108	P3050-F4-52/ORYZICA /IR21015-72-3-3-3-1	AS

S = sensível AS= Altamente sensível.

O grupo dois (G2) foi formado por sete genitores tolerantes às baixas temperaturas. Os genótipos com o nome de Quilla são originados no Chile e já têm sido

utilizados como genitores no programa do FLAR. CT6748-CA-17P é originada de um cruzamento realizado no CIAT entre linhagens do Chile e dos Estados Unidos visando a produção de materiais com boa qualidade de grão e tolerância ao frio. L201 é originada na Califórnia e as linhagens com o código FL são genótipos obtidos no programa de melhoramento do FLAR (para condições de clima temperado), e derivadas de cruzamentos de três linhagens, geralmente com dois genitores do tipo índica e um do tipo japônica, e levadas a homozigose por cultura de anteras. As genealogias e sua reação ao frio são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Genealogia e reação às baixas temperaturas dos genitores tolerantes (Grupo 2)

Nome	Genealogia	Grupo
1' QUILLA173201		Japônica
2' QUILLA145601		Japônica
3' CT6748 -8-CA-17	Lemont/Quilla 65101//Diamante	Japônica
4' L 201	C.I.9701//R134-1/R48-257///R50-11	Índica/Japônica
5' FL04423-CA-2P	FL00482-5P-2-1P-M/CT6743-5-8-3-M-2-M//CT10308-27-3-1P-4-3-2P	Índica/japônica
6' FL04402-CA-4P	CT6748 (3') -8-CA-17/CT10308-27-3-1P-4-3-2P//FL00306-31P-3-2P-M	Índica/japônica
7' FL04452-CA-14P	FL00306-31P-3-2P-M/CT6743-5-8-3-M-2-M//CT10308-27-3-1P-4-3-2P	Índica/japônica

2.2.2 Métodos

As metodologias utilizadas nas diferentes fases do estudo podem ser separadas em procedimentos de campo, de laboratório e biométricos, como será descrito a seguir.

2.2.2.1 Procedimentos de campo

2.2.2.1.1 Execução dos cruzamentos

Uma vez verificada a reação dos genitores e identificados os pais tolerantes e sensíveis, foi feito o planejamento dos cruzamentos de acordo com o delineamento genético de dialelo parcial ($6 \times 7 = 42$). Como na literatura não foram relatadas evidências de efeito materno na tolerância ao frio, os genitores suscetíveis foram utilizados como genitores femininos, já que são mais adaptadas as condições tropicais e apresentam uma maior capacidade de perfilhamento, o que facilitou o trabalho dos cruzamentos.

Os cruzamentos foram executados em duas épocas: entre Agosto e Dezembro de 2004 e entre Fevereiro e Junho de 2005, utilizado o método de cruzamentos originado no Instituto Internacional de Pesquisa do Arroz- IRRI e modificado por Sarkarung (1991). Os genitores foram plantados inicialmente na casa de vegetação, em bandejas com barro, e logo transplantados para o campo utilizando uma planta por cova, e dez plantas por fileira/genitor. Em cada época foram realizadas cinco sementeiras, com a finalidade de ter uma coincidência na floração. A primeira consistiu somente dos genitores do grupo um, pois apresentam um ciclo mais longo. Logo foram feitos mais três plantios de ambos os grupos e, finalmente, a última sementeira consistiu somente dos genitores do grupo dois.

O processo de cruzamento compreendeu a emasculação com vácuo e polinização, em casa de vegetação. De manhã cedo, até às nove horas, foram coletados (destacados) perfilhos (colmos) com raízes dos genitores femininos com aproximadamente 50% da panícula emergida da bainha. Logo à tarde, após do processo de abertura das espiguetas superiores da panícula, foi realizada a emasculação. Realizou-se um corte transversal de cada flor com uma tesourinha, e as seis anteras da flor foram eliminadas por sucção. Uma vez emasculada, a panícula foi protegida com envelopes de papel para evitar a polinização por pólen estranho. Panículas de um mesmo genitor foram identificadas com etiquetas de papel com o nome da mãe e a data de emasculação. Previamente, eliminaram-se as espiguetas já abertas no terço superior da panícula e aquelas imaturas no terço inferior. No dia seguinte foi realizada a polinização, ao meio dia, quando as flores dos genitores masculinos já estavam abertas. Depois de realizada a emasculação, completou-se a etiqueta de identificação com o nome do genitor masculino e a data da polinização, e colocou-se novamente o envelope de papel. Como a presença do vento dificultava a

polinização no campo, as plantas dos genitores masculinos foram retiradas do campo, colocadas em baldes e levadas para a casa de vegetação. Para facilitar ainda mais a polinização, eliminaram-se a maioria das folhas destes genitores.

Para cada cruzamento foram polinizadas 20 panículas por época, garantindo a obtenção de uma boa quantidade de sementes, de até 700 em alguns cruzamentos. As panículas foram mantidas em água corrente, que era trocada a cada três dias. Aproximadamente trinta dias após da polinização foi realizada a colheita. Também foram obtidas sementes dos genitores fazendo a emasculação das espiguetas e deixando ocorrer a autopolinização, para que estivessem nas mesmas condições das sementes dos cruzamentos. A dormência da semente foi quebrada colocando-as numa estufa a 50 °C por cinco dias.

2.2.2.1.2 Avaliação dos caracteres agronômicos

Os experimentos para as avaliações dos caracteres agronômicos foram conduzidos no campo experimental do CIAT em Palmira, Colômbia, com coordenadas 3° 30' latitude norte, 75°; 22' e 21'' longitude oeste e 965 metros de altitude. Utilizaram-se duas épocas de semeadura. No primeiro experimento os 55 tratamentos formados pelo 42 cruzamentos e os 13 genitores foram semeados na casa de vegetação em 14 de dezembro de 2004, e transplantados para o campo entre 18 e 19 de Janeiro de 2005, utilizando-se uma planta por cova. No segundo experimento, os mesmos tratamentos foram semeados na casa de vegetação em 25 de Julho de 2005 e transplantados para o campo em 24 de Agosto de 2005.

Em cada época, foi utilizado um delineamento de blocos completos ao acaso com quatro repetições, e parcelas constituídas de uma fileira de 17 plantas com espaçamento de 30 cm entre plantas e entre fileiras. A parcela útil foi constituída por dez plantas normais no meio da fileira.

Em ambos os experimentos, a aplicação de fertilizantes foi realizada da seguinte forma: no momento do transplante foram aplicados 60 kg/ha. de P_2O_5 , 60 kg/ha. de K_2O e 30 kg/ha. de Zn; cinco dias após foi realizada a primeira adubação com nitrogênio (150 kg/ha.) em solo seco e 35 dias mais tarde foram aplicados mais 50 kg/ha. de nitrogênio. O controle de plantas invasoras foi realizado três dias depois do transplante com uma mistura contendo Propanil (Stam) 250 cc, Bentazon (Basagran) 250 cc, e Butaclor 300 cc, com pulverizador costal com capacidade de 20 litros. Imediatamente após da primeira aplicação do nitrogênio foi estabelecida a lamina de água permanente.

Os caracteres avaliados foram:

- i) Dias para florescimento (*DF*): Número de dias entre o plantio nas bandejas até o dia em que a parcela apresentava o 50% das plantas com pelo menos uma panícula emergida da bainha;
- ii) Número de perfilhos por planta (*NP*): Média do número de perfilhos por planta individual, utilizando-se 10 plantas da parte interna da fileira;
- iii) Altura da planta (*AP*): Média da altura da planta em centímetros, desde a base até o ápice da panícula de maior altura, utilizando-se 10 plantas na parte interna da fileira;
- iv) Comprimento da panícula (*CP*): Média do comprimento da panícula em centímetros de dez panículas tomadas ao acaso;
- vi) Número de espiguetas por panícula (*NG*): Média do número de grãos em dez panículas tomadas ao acaso ;
- vii) Porcentagem de esterilidade (*PE*): Média da porcentagem de grãos estéreis de dez panículas tomadas ao acaso;

viii) Peso de mil grãos (*PG*): Média do peso em gramas de três amostras de mil grãos por parcela ao 13% de umidade.

2.2.2.2 Procedimentos do laboratório

2.2.2.2.1 Avaliação da tolerância às baixas temperaturas

Com o objetivo de avaliar a tolerância a baixas temperaturas na fase de germinação-emergência, correspondente aos estádios S0 – V1, segundo a escala de Counce; Keisling e Michell (2000), os 55 tratamentos foram avaliados em três experimentos em condições controladas, nos laboratórios do CIAT. Estes experimentos foram semeados em 08 de Fevereiro de 2005, 19 de Agosto de 2005 e 18 de Novembro de 2005.

Para a simulação das condições de baixas temperaturas foi utilizada uma câmara de crescimento da Hoffman Manufacturing Inc., modelo S630-110 v. O estresse por frio consistiu num tratamento de 12 °C por 12 horas no escuro, e 16 °C por 12 horas com luz. Estes valores correspondem às medias da temperatura mínima e média no inicio de Outubro na Estação Experimental do Instituto Nacional de Investigações Agropecuárias de Trinta e Três – INIA Treinta y Trés, no Uruguai, provenientes de dados históricos de 30 anos.

Como substrato foi utilizado solo peneirado, visando simular as condições do campo como sugerido por Kaw (1986), previamente desinfetado com vapor de água por 6 horas e colocado em bandejas plásticas. Antes da semeadura as sementes foram desinfetadas com uma lavagem inicial com água corrente, e em seguida submersas numa solução com hipoclorito ao 2,5%, e submetidas a uma lavagem final com água destilada estéril.

Em cada bandeja foram colocados aproximadamente 1.200 gramas de solo, que foi umedecido com água corrente até a capacidade de campo. Foram feitas pequenas covas de 1 cm de profundidade com uma tabua contendo parafusos, para assegurar a separação de 20 x 20 cm entre as covas e as fileiras. Posteriormente, foi colocada uma semente por cova e a bandeja foi coberta com 70 gramas de solo, de

maneira uniforme, e umedecido de novo. Em seguida as bandejas foram levadas para a câmara de crescimento. Uma repetição completa foi deixada na casa de vegetação, em temperatura ambiente, para avaliar a germinação dos materiais.

Foi utilizado um delineamento em blocos completos ao acaso com três repetições, onde cada bloco foi colocado em uma prateleira da câmara de crescimento. A parcela foi constituída por uma fileira de 20 sementes. Desta forma em cada bandeja foram colocadas 15 fileiras e cada bloco foi formado por quatro bandejas. Em cada bloco foi colocada a testemunha tolerante Quilla 66304 como controle, para determinar o momento correto de avaliar o experimento.

Os caracteres avaliados foram:

ix) Índice de emergência (*IE*): Calculado de acordo a formula (eq. 1) proposta por Jones y Peterson (1976), a partir dos dados obtidos em contagens diárias do número de plântulas emergidas quando o coleóptilo foi visível sobre o solo.

$$IE = \sum_{n=0}^{t-1} \frac{x_n(t-n)}{t} \quad (1)$$

em que

x_n é o número total de plântulas emergidas na n -ésima contagem;

n é o número da contagem, com $n = 0, 1, 2, \dots, t$;

t é o total de contagens realizadas.

Este índice combina a avaliação da velocidade e a uniformidade da emergência das plântulas. Os genótipos com maiores valores apresentam uma emergência mais rápida e uniforme e desta forma seriam mais tolerantes ao frio.

x) Produção de matéria seca (*MS*): Quando 80% das plântulas da testemunha tolerante Quilla 66304 alcançaram o estágio da primeira folha verdadeira (V1), as plântulas de cada fileira foram retiradas do substrato e, com o auxílio de um bisturi foram retiradas os restos das sementes e raízes, para obter os eixos embrionários. Em seguida, foram colocadas em envelopes de papel e colocados numa estufa para secagem a 65 °C por

três dias. Posteriormente, as plântulas foram pesadas numa balança com precisão de 0,001 g e determinado o peso da matéria total das plântulas por parcela. Este valor foi multiplicado por 10^3 e expresso como peso da matéria seca por fileira em mg.

A determinação do peso seco da plântula é uma maneira de avaliar o crescimento da plântula em condições de estresse, onde se consegue determinar, com certa precisão, a capacidade de transferência de matéria seca dos tecidos de reserva para o eixo embrionário. As amostras que apresentam os maiores pesos indicam genótipos com maior quantidade de plântulas que germinarem e emergiram do solo e com maior capacidade de transferência e, conseqüentemente, mais tolerantes às baixas temperaturas.

2.2.2.3 Procedimentos biométricos

A seguir será apresentada a abordagem biométrica para as diferentes fases da análise dos dados gerados.

2.2.2.3.1 Análises por experimento e conjunta

Os dados obtidos em cada um dos experimentos para cada caráter avaliado foram submetidos inicialmente a uma análise de variância por experimento, de acordo com o modelo de blocos casualizados (eq. 2).

$$Y_{fk} = \mu + t_f + b_k + e_{fk} \quad (2)$$

em que

Y_{fk} é o valor fenotípico da fk -ésima observação referente ao f -ésimo tratamento no k -ésimo bloco

μ é média geral;

t_f é o efeito do f -ésimo tratamento; ($f = 1, 2, \dots, F$; sendo $F = I + J + IJ = 55$);

b_k é o efeito do k -ésimo bloco; ($k = 1, 2, \dots, K$; $K = 3$ ou 4);

e_{fk} é o efeito do erro experimental associado à observação Y_{fk} , aleatório, NID (0, σ^2).

Posteriormente, a fonte de variação dos tratamentos foi desdobrada em soma de quadrados de genitores (G), de cruzamentos (C), e genitores *versus* cruzamentos (G vs C). Finalmente, a fonte de variação genitores foi descomposta mais uma vez em soma de quadrados dos genitores suscetíveis (G1), dos genitores tolerantes (G2) e entre genitores suscetíveis *versus* genitores tolerantes.

O esquema da análise da variância, considerando-se os efeitos de tratamentos como fixos é apresentado na Tabela 4, junto aos desdobramentos mencionados no parágrafo anterior.

Uma vez verificada a homogeneidade das variâncias nos análises individuais foi realizada uma análise de variância conjunta, com base no seguinte modelo matemático (eq. 3).

$$Y_{lfk} = \mu + p_l + b_{k(l)} + t_f + pt_{lf} + e_{lfk} \quad (3)$$

em que

Y_{lfk} é o valor fenotípico da lfk -ésima observação, avaliada no tratamento f , no experimento l , no bloco k ;

μ é a media geral;

p_l é o efeito do l -ésimo experimento; ($l=1,2,\dots,L$; $L= 2$ ou 3);

$b_{k(l)}$ é o efeito do k -ésimo bloco dentro do l -ésimo experimento ($k=1,2,\dots,K$; $K= 3$ ou 4);

t_f é o efeito do f -ésimo tratamento ($f=1,2,\dots,F$; $F= I+J+IJ$);

pt_{lf} é o efeito da interação entre o l -ésimo experimento e o f -ésimo tratamento;

e_{lfk} erro experimental, associado à observação Y_{lfk} , NID (0, σ^2).

Os efeitos dos experimentos e dos tratamentos foram considerados como fixos. Nos experimentos do campo tomou-se a sugestão de Gómez e Gómez (1984), que indica que no arroz a época de plantio dentro de um ano pode ser considerada como um efeito fixo, pois estas não são espalhadas aleatoriamente ao longo do ano. Igualmente foram considerados efeitos fixos os experimentos na câmara de crescimento, pois o número foi pequeno para ser considerado uma amostra representativa. Da mesma forma, os efeitos dos tratamentos foram considerados como fixos, pois as linhagens utilizadas como genitores são as populações referência.

Entretanto, os efeitos dos blocos dentro dos experimentos e o erro foram considerados como aleatórios.

De forma similar aos experimentos individuais, nas análises conjuntas realizou-se também a decomposição das somas de quadrados dos tratamentos e da interação, para analisar a interação entre os efeitos principais e os experimentos, conforme apresentado na tabela 5. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do programa SAS versão 8.2, módulo “proc glm”.

2.2.2.3.2 Análise estatístico-genética

As análises dialélicas foram realizadas pelo método proposto por Gardner e Eberhart (1966), adaptados para dialelos parciais por Miranda Filho e Geraldi (1984), e estendida para vários ambientes por Oliveira et al. (1987). Para os experimentos de campo realizou-se uma análise dialélica conjunta para as duas épocas, enquanto que para os experimentos de laboratório, em que as condições ambientais são totalmente controladas considerou-se os três experimentos como um único experimento com nove repetições.

A metodologia de análise de dialelos parciais de Miranda Filho e Geraldi (1984) para um ambiente é baseada no seguinte modelo matemático (eq. 4), a partir da tabela de médias.

$$\bar{Y}_{ij} = \mu + \alpha d + \frac{1}{2}(v_i + v_j) + \theta(\bar{h} + h_i + h_j + s_{ij}) + \bar{e}_{ij} \quad (4)$$

em que:

$\bar{Y}_{ij}$ é média do cruzamento envolvendo o i-ésimo genitor do grupo um e o j-ésimo genitor do grupo dois: $i = 1, 2, \dots, 6$; $j = 1, 2, \dots, 7$;

μ é a média das médias dos dois grupos de genitores;

d é uma medida da diferença entre as medias dos dois grupos de genitores;

v_i é o efeito de variedades do i-ésimo genitor do grupo 1;

v_j é o efeito de variedades do j-ésimo genitor o grupo 2;

$\bar{h}$ é o efeito da heterose média;

h_i é o efeito da heterose de variedades atribuído ao i-ésimo genitor do grupo 1;

h_j é o efeito da heterose de variedades atribuído ao j-ésimo genitor do grupo 2;

s_{ij} é o efeito da heterose específica resultante do cruzamento entre os genitores i e j dos grupos 1 e 2;

$\bar{e}_{ij}$ é erro experimental médio associado a $\bar{Y}_{ij}$.

Considerando Y_{ij} como a combinação híbrida, Y_{ii} como o genitor do grupo 1 e Y_{jj} como o genitor do grupo 2, têm-se as seguintes situações para α e θ :

Para Y_{ij} : $\alpha = 0$ e $\theta = 1$,

Para Y_{ii} : $\alpha = 1$ e $\theta = 0$,

Para Y_{jj} : $\alpha = -1$ e $\theta = 0$.

Para a análise dialélica conjunta foi utilizada a metodologia de Oliveira e colaboradores (1987), com base no seguinte modelo matemático (eq. 5):

$$\bar{Y}_{ij} = \mu + \alpha d + \frac{1}{2}(v_i + v_j) + \theta(\bar{h} + h_i + h_j + s_{ij}) + \alpha p d_i + \frac{1}{2}(p v_{ii} + p v_{jj}) + \theta(p \bar{h} + p h_{ii} + p h_{jj} + p s_{ij}) + \bar{e}_{ij} \quad (5)$$

em que:

$\bar{Y}_{ij}$ é o valor médio do híbrido resultante do cruzamento entre o i-ésimo genitor do grupo 1 e o j-ésimo genitor do grupo 2, no l-ésimo experimento; $\theta = 1$ e $\alpha = 0$ para híbridos, e $\theta = 0$ e $\alpha = 1$ ou -1 para os genitores. Para representar os genitores Y_{lij} , é substituído por Y_{lii} ou Y_{ljj} , para variedades do grupo 1 ou grupo 2, respectivamente: $l = 1, 2$; $i = 1, 2, \dots, 6$; $j = 1, 2, \dots, 7$;

μ é a média das médias dos grupos de genitores para todos os ambientes;

d é uma medida da diferença entre as médias dos dois grupos de genitores;

v_i é o efeito de variedades do i-ésimo genitor do grupo 1;

v_j é o efeito de variedades do j-ésimo genitor o grupo 2;

$\bar{h}$ é o efeito da heterose média;

h_i é o efeito da heterose de variedades atribuído ao i-ésimo genitor do grupo 1;

h_j é o efeito da heterose de variedades atribuído ao j-ésimo genitor do grupo 2;

s_{ij} é o efeito da heterose específica resultante do cruzamento entre os genitores i e j;

$\bar{e}_{ijk}$ é erro experimental médio associado a $\bar{Y}_{ij}$

Os demais parâmetros são interações dos efeitos genéticos com os experimentos. O esquema da análise de variância conjunta é apresentado na Tabela 6.

Para cada cruzamento foi calculada a heterose em relação à média dos genitores, utilizando a formula seguinte (eq. 6):

$$h\% = \left[\frac{\bar{F}_i - MP}{MP} \right] \times 100 \quad (6)$$

em que:

$\bar{F}_i$ é a média do cruzamento nos experimentos;

MP é a média nos experimentos dos genitores envolvidos no cruzamento.

A significância da heterose em valor absoluto foi testada utilizando o teste de t. A variância para este teste foi da pela seguinte expressão (eq. 7).

$$\hat{V}(h) = \frac{Q_{\text{Merro}}}{r} (\sum c_i^2) \quad (7)$$

em que:

Q_{Merro} é o quadrado médio do residuo da análise conjunta;

r é o número de repetições;

$\sum c_i^2$ é a somatória dos quadrados dos coeficientes dos contrastes (2 -1 -1).

Os efeitos da capacidade geral de combinação foram calculados utilizando a formula (eq. 8) apresentada por Miranda Filho e Geraldi (1984).

$$g_i = \left(\frac{1}{2}\right)v_i + h_i \quad (8)$$

em que:

v_i é o efeito de variedades do genitor i;

h_i é o efeito de heterose de variedades do genitor i . De forma similar foram obtidas as estimativas dos g_j para o outro grupo, isto é (eq. 9).

$$g_j = \left(\frac{1}{2}\right)v_j + h_j \quad (9)$$

O componente quadrático associado à capacidade geral de combinação do grupo 1 (eq. 10) foi obtido da seguinte maneira:

$$\Phi_{\text{cgCG1}} = \frac{\sum_{i=1}^I g_i^2}{I-1} \quad (10)$$

O componente quadrático associado à capacidade geral de combinação do grupo 2 (eq. 11) foi obtido de forma similar:

$$\Phi_{\text{cgCG2}} = \frac{\sum_{j=1}^J g_j^2}{J-1} \quad (11)$$

O componente quadrático associado à capacidade específica de combinação (eq. 12) foi obtido de seguinte maneira:

$$\Phi_{\text{cec}} = \frac{\sum_{ij=1}^{IJ} s_{ij}^2}{IJ-1} \quad (12)$$

em que:

g_i é o efeito da capacidade geral de combinação do genitor i ;

g_j é o efeito da capacidade geral de combinação do genitor j ;

s_{ij} é o efeito da capacidade específica de combinação no cruzamento ij ;

I é o número de genitores do grupo 1;

J é o número de genitores do grupo 2;

IJ é o número de cruzamentos.

A importância relativa das capacidades gerais de combinação foi obtida de acordo com a seguinte expressão conforme sugerido por Baker (1973) e por Beil e Atkins (1967), em sorgo (eq. 13).

$$\frac{(\varphi_{cgG1} + \varphi_{cgG2})}{(\varphi_{cgG1} + \varphi_{cgG2} + \varphi_{cec})} \quad (13)$$

em que:

φ_{cgG1} é o componente quadrático associado à capacidade geral de combinação do grupo 1,

φ_{cgG2} é o componente quadrático associado à capacidade geral de combinação do grupo 2,

φ_{cec} é o componente quadrático associado à capacidade específica de combinação.

Adicionalmente, foi verificada a possibilidade de prever a média do cruzamento com base somente nas estimativas das capacidades gerais de combinação. Para isso foram estimadas as médias dos híbridos segundo um modelo reduzido (eq. 14), conforme sugerido por Miranda Filho e Viégas (1987).

$$\hat{Y}_{ij} = u + g_i + g_j \quad (14)$$

em que:

$\hat{Y}_{ij}$ é a média predita com base no modelo reduzido.

u é a média geral dos cruzamentos,

g_i é o efeito da capacidade geral de combinação do i -ésimo genitor do grupo 1,

g_j é o efeito da capacidade geral de combinação do j -ésimo genitor do grupo 2.

A validade desta predição foi avaliada através da correlação entre as médias observadas (modelo completo) e as médias preditas (modelo reduzido).

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Caracteres agronômicos

2.3.1.1 Análises de variância por experimento e conjunta

As análises de variância foram realizadas de forma individual e conjunta, para cada um dos caracteres estudados. Os resultados são apresentados nas Tabelas 7, 8, e 9.

Em geral os experimentos foram conduzidos sob boas condições de temperatura, luminosidade e manejo agrônomo e devido a isso a precisão experimental foi boa para todos os caracteres. No experimento 1 os coeficientes de variação foram de 2,27%, 14,22%, 2,69%, 3,19%, 8,68%, 12,58% e 2,61%, e no experimento 2 estes valores foram de 2,07%, 12,41%, 2,71%, 3,63%, 9,52%, 10,57% e 3,41%, respectivamente, para os caracteres dias para florescimento, número de perfilhos, altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos, porcentagem de esterilidade e peso de mil grãos. Estes valores são normais para as condições nas quais foram realizados os experimentos e similares aos relatados por Moraes (1992) e Meirelles (1989).

Nas análises de variância por experimento foram constatadas diferenças altamente significativas entre os tratamentos para todos os caracteres avaliados. O desdobramento da soma de quadrados dos tratamentos indicou diferenças significativas para todos os caracteres agrônômicos, entre genitores, entre genitores suscetíveis, entre genitores tolerantes, entre cruzamentos, e para o contraste genitores *versus* cruzamentos. Entretanto, a comparação entre os genitores suscetíveis *versus* genitores tolerantes apresentou significância para todos os caracteres, com exceção do número de grãos no experimento 1, e da altura da planta no experimento 2.

Estes resultados indicam a existência de diferenças genotípicas dentro dos grupos de genitores estudados. Igualmente, mostram que os grupos de genitores diferem também para estes caracteres, embora tenham sido escolhidos previamente

pela sua tolerância às baixas temperaturas. Essa divergência entre os genitores se manifesta em variabilidade nos híbridos e heterose para todos os caracteres.

Nas análises de variância conjuntas foram constatadas diferenças altamente significativas para os tratamentos e para a interação destes com os experimentos nos caracteres agrônômicos em estudo. Estes resultados indicam que existem diferenças entre as médias dos genótipos nos dois experimentos considerados, o que confirma a existência de variabilidade no material genético em estudo; também mostram evidências que o comportamento dos genótipos pode mudar dependendo do experimento. Para o efeito dos experimentos, somente não houve significância entre as médias para dias para florescimento e o peso de 1.000 grãos, mostrando que as condições climáticas presentes em cada experimento afetaram caracteres como número de perfilhos, altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula e porcentagem de esterilidade.

As diferenças entre os experimentos para os caracteres mencionados podem ser atribuídas principalmente às variações de luminosidade e temperatura numa mesma localidade, como mencionado por Yoshida (1981), que relata que nas condições tropicais nas quais é possível a cultura do arroz em qualquer época do ano, estes são os fatores que mais afetam a cultura. Entretanto a variabilidade genética deve-se ao fato de serem os genitores pertencentes a dois grupos bastante divergentes dentro do arroz cultivado.

A decomposição da soma de quadrados dos efeitos principais dos tratamentos na análise conjunta indicou que, houve diferenças altamente significativas para todos os caracteres considerados, entre as médias dos genitores, entre genitores suscetíveis, entre genitores tolerantes, entre cruzamentos, e entre genitores *versus* cruzamentos, evidenciando que existe variabilidade genética tanto entre e dentro dos grupos de genitores como nos cruzamentos. Por outro lado, quando foram comparados os grupos de genitores, houve significância para todos os caracteres com exceção da porcentagem de esterilidade e o peso de 1.000 grãos, mostrando que os genitores suscetíveis e tolerantes não diferem para estes dois caracteres.

Entretanto, a decomposição da soma de quadrados da interação entre experimentos e tratamentos mostrou os seguintes resultados. Os cruzamentos

apresentaram interação altamente significativa para todos os caracteres. As comparações entre os genitores e os cruzamentos mostraram interação significativa para os caracteres dias para florescimento, número de perfilhos, e comprimento da panícula. Com exceção de dias para florescimento, os genitores igualmente apresentaram interação significativa com os experimentos para todos os caracteres. Esta por sua vez pode ser atribuída às sub-decomposições entre e dentro dos genitores. O grupo de genitores suscetíveis apresentou interação significativa para a altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula e peso de 1.000 grãos, enquanto que o grupo de genitores tolerantes mostrou interação significativa para altura da planta, número de grãos por panícula, porcentagem de esterilidade e peso de 1.000 grãos. Finalmente, a comparação entre os grupos de genitores apresentou interação significativa para todos os caracteres estudados, com exceção dos dias para florescimento. Estes resultados indicam que a interação nos tratamentos pode atribuir-se tanto aos genitores como aos cruzamentos. Por outro lado, em caracteres como comprimento da panícula e porcentagem de esterilidade aparentemente as condições ambientais afetam de forma diferenciada os dois grupos de genitores, pois num caráter ocorreu significância da interação para o grupo 1 e não significância para grupo 2, e para o outro caráter, aconteceu o contrario.

Apesar da significância da interação entre os experimentos e tratamentos, esta representa uma proporção bastante reduzida da soma de quadrados total, isto é de 2,54%, 10,39%, 4,53%, 5,60%, 11,37%, 2,33% e 6,57% para DF, NP, AP, CP, NG, PE e PG, respectivamente. Por outro lado, a maior proporção da soma de quadrados pode ser atribuída ao efeito dos genótipos, isto é de 93,64%, 39,50%, 70,78%, 52,53%, 91,66% e 82,46% respectivamente, para estes caracteres. Além disso, existem correlações positivas e significativas entre as médias em ambos os experimentos, indicando que embora a interação seja significativa, o efeito dos genótipos é definitivamente mais importante (Tabela 12). Por esta razão a discussão estará mais focalizada nas médias conjuntas dos dois experimentos.

Comparando as médias dos grupos de genitores (Tabela 13) para os dois experimentos, pode-se verificar que os genitores suscetíveis (grupo 1) foram mais tardios, (104,7 vs 84,5 dias), produziram maior número de perfilhos por planta (28,0 vs

22,7 perfilhos/planta), apresentaram uma maior altura de planta (98,6 vs 95,6 cm.), mostraram panículas maiores (24,8 vs 22,0 cm.) e maior número de grãos por panícula (168,5 vs 152,7).

Entretanto, como mostrado pelas significâncias na análise de variância, conjunta dentro de cada grupo houve variação. Os genitores L3000 (1), Irga 417 (3), Quilla 145601 (1'), Quilla 173201 (2'), e CT6748 (3') mostraram-se mais precoces (Tabela 13) indicando que a precocidade dentro dos grupos esteve associada à adaptação às baixas latitudes. O caráter número de perfilhos por planta apresentou valores elevados (Tabela 13) devido ao fato de ter-se utilizado o transplante como sistema de semeadura; destacaram-se neste caráter Irga 417 (3), L3000 (1) e FL04402 (6'), dentro do respectivo grupo. Estas mesmas linhagens apresentaram as menores alturas da planta. Três genitores destacam-se no comprimento da panícula: Br-Irga 410 (4), FL03188 (5) e L201 (4'). Entretanto, Br-Irga 410 (4), Irga 417 (3) e L201 (4') apresentaram os maiores números de grãos por panícula. As menores porcentagens de esterilidade dentro de cada grupo foram apresentadas por Irga 417 (3), Epagri 108 (6) e Quilla 145601 (1'), Quilla 173201 (2'). Para peso de 1.000 grãos sobressaíram FL03188 (5) no grupo 1 e FL04423 (5') do grupo 2. Estes resultados mostram que dentro de cada grupo podem ser identificados genótipos superiores para caracteres individuais, mas nenhum deles apresentou médias superiores para todos os caracteres.

Comparando as médias dos cruzamentos com as médias dos genitores (Tabela 13), pode-se verificar que os cruzamentos foram mais precoces, tiveram maior número de perfilhos, apresentaram maior altura da planta, mostraram panículas mais compridas, com maior número de grãos, foram mais estéreis, e com grãos mais pesados do que os genitores. Porém, houve considerável variação entre os cruzamentos para todos os caracteres. Esta foi de 72,8 a 99,5 dias para os dias para florescimento; de 25,0 a 36,8 perfilhos/planta para o número de perfilhos; de 88,1 a 119,1 cm. para a altura da planta; de 23,2 a 28,9 cm. para o comprimento da panícula; de 117,2 a 222,3 grãos/panícula para o número de grãos por panícula; de 22,2 a 93,2 % para a porcentagem de esterilidade e de 24,9 a 31,7 gramas para o peso de 1.000 grãos. É oportuno salientar a considerável esterilidade entre os cruzamentos (Tabelas

10, 11, 13), indicando a existência de incompatibilidade genética entre alguns genitores dos grupos suscetível e tolerante ao frio.

2.3.1.2 Heterose para os caracteres agronômicos

Em todas as análises de variância, tanto nas individuais como na análise conjunta (Tabelas 7, 8, 9) a comparação genitores *versus* cruzamentos indicou que os cruzamentos foram significativamente diferentes dos genitores. Estes resultados permitem afirmar que existe considerável heterose em relação à média dos genitores para todos os caracteres agronômicos estudados.

Entretanto, os valores das heteroses individuais nos cruzamentos variaram em magnitude e sinal dependendo do caráter (Tabela 14). Para dias para florescimento todos os valores significativos da heterose são negativos, com uma média de - 9,63%. Para número de perfilhos a média foi de 18,67%, e observaram-se alguns valores negativos, porém não significativos. Para altura da planta a média das heteroses de todos os cruzamentos foi de 6,93% com predominância de valores positivos. Uma média de 7,80% de heterose foi observada para comprimento da panícula; houve alguns valores negativos, mas não significativos. Para o número de grãos por panícula obteve-se uma média de 10,91%. Finalmente no peso de 1.000 grãos, a média das heteroses foi de 11,04%. Estes resultados mostram que existe considerável divergência genética nos locos com dominância entre os genitores tolerantes e suscetíveis às baixas temperaturas, e predomínio da dominância direcional para os caracteres agronômicos.

Entretanto, é oportuno ressaltar que nem sempre os híbridos com maior heterose apresentaram as médias superiores. Isto é devido ao fato de que a superioridade de um híbrido simples depende tanto da quantidade dos locos em heterozigose como da média dos genitores. Alguns genitores ruins podem produzir híbridos com valores expressivos de heterose, porém as suas médias ainda serão baixas em relação à média de todos os cruzamentos.

A presença de heterose para caracteres agronômicos em cruzamentos indica com japônica tem sido relatada por outros estudos. Jennings (1966) demonstrou a

existência de heterose padrão e heterobeltiose para precocidade, maior número total de perfilhos, menor número de perfilhos não produtivos e, em híbridos férteis, para maior produtividade de grãos. Já a altura da planta mostrou pouca ou nenhuma heterose. Virmani et al. (2003), relata que as subespécies *índica* e *japônica* são bastante divergentes em seus caracteres agronômicos e morfológicos e apresentam considerável divergência genética, em consequência, os híbridos em cruzamentos entre estes grupos mostram a heterose máxima no arroz. Yuan (2003), menciona que no arroz a heterose segue uma tendência geral, sendo maior em cruzamentos *índica* x *japônica*.

Como foi mostrado pelos trabalhos de Virmani et al., (2003) e Xiao et al., (1996), em arroz não há concordância acerca das bases genéticas da heterose. Porém, durante a execução deste trabalho observaram-se certos indícios de que a heterose pelo menos para um dos caracteres pudesse ser causada pela dispersão de alelos. O cruzamento 4x4' derivado de bons genitores apresentou os maiores comprimentos da panícula em ambos os experimentos (27,1 e 29,0 cm.). Por ser de interesse, este cruzamento foi processado por cultura de anteras, e autofecundado para a obtenção de geração F_2 . Das muitas plantas obtidas no processo de cultura de anteras, várias linhagens foram selecionadas combinando bom tipo de planta, altura normal e panículas bastante compridas, melhores do que os genitores, e duas delas já foram utilizadas como genitores no programa do FLAR (para clima temperado). Na geração F_2 foi encontrada uma planta com panículas incomuns, com comprimento de 43 cm. A descendência desta planta foi avançada para a geração F_3 e na progênie predominaram plantas com panículas muito compridas, obtendo-se novamente uma planta com 43 cm de comprimento de panícula (Fig 1).

Estes indícios sugerem que nos programas de melhoramento do arroz visando alta produtividade em diversas condições, num processo que poderia ser classificado como seleção convergente, foram acumulados alelos para maior comprimento de panícula, que são diferentes entre os grupos. Quando estes alelos são colocados juntos num híbrido, produziriam uma considerável heterose, e tipos transgressivos na geração F_2 que poderiam ser fixados em linhagens.

2.3.1.3 Análise estatístico-genética

A análise dialélica (Tabela 15) indicou a presença de diferenças altamente significativas para os efeitos de variedades de ambos os grupos para todos os caracteres, indicando que dentro de cada grupo, as linhagens diferem quanto à concentração dos alelos favoráveis (que aumentam a expressão do caráter) e em consequência, denota a existência de variabilidade genética dentro dos grupos.

A comparação entre os genitores do grupo 1 versus os genitores do grupo 2 foi significativa para todos os caracteres com exceção do peso de 1.000 grãos. Este fato mostra a existência de diferenças genéticas entre os grupos para os dias ao florescimento, número de perfilhos, altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula e porcentagem de esterilidade.

Igualmente, os efeitos da heterose mostraram significância para todos os caracteres agronômicos estudados. Entretanto, esta significância pode ser atribuída aos efeitos da heterose média, heterose de variedades do grupo 1, heterose de variedades do grupo 2 e à heterose específica para os caracteres dias para florescimento, número de perfilhos, altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula e porcentagem de esterilidade. Para o caso do peso de 1.000 grãos a heterose de variedades do grupo 1 não mostrou significância.

Estes resultados indicam de forma geral a existência de divergência genética entre e dentro dos grupos de genitores e a presença de dominância. O teste da heterose média mostra a diferença entre a média de todos os cruzamentos e a média de todos os genitores e avalia a divergência genética e a dominância direcional. Igualmente, os resultados evidenciam que existem diferenças entre os alelos carregados pelas linhagens dentro dos grupos produzindo contribuições desiguais à heterose média, estas diferenças não são importantes para o PG do grupo 1. Finalmente a heterose específica mostra que as interações intra e inter alélicas em combinações específicas de genitores são importantes na heterose para todos os caracteres agronômicos. Como a heterose específica no modelo de Gardner e Eberhart (1966) é equivalente à capacidade específica de combinação do método IV de Griffing (1956), é possível concluir que os efeitos não aditivos dos genes são importantes no

controle genético dos caracteres agronômicos em cruzamentos entre genitores tolerantes e suscetíveis às baixas temperaturas, fato já constatado anteriormente pela significância do contraste genitores *versus* cruzamentos (Tabela 10).

Embora o número de experimentos tenha sido pequeno, detectou-se a presença da interação de vários efeitos do modelo com os experimentos. O efeito de variedades dos genitores do grupo 1 mostrou interação significativa para os caracteres NP, AP, CP e NG. Entretanto, para a interação do efeito de variedades dos genitores do grupo 2 detectou-se interação significativa para DF, AP, CP, NG, PE e PG. A diferença entre os grupos, mostrou interação com os experimentos para caracteres NP, AP, NG, PE e PG. Da mesma forma, para a heterose média houve interação com os experimentos para os caracteres DF, NP, CP e PE. Também, o efeito de heterose de variedades do grupo 1 apresentou interação para os caracteres AP, CP e PG. Igualmente, houve interação significativa com experimentos para o efeito da heterose de variedades do grupo 2 nos caracteres FL, NP, AP, PE e PG. Finalmente, o efeito da heterose específica mostrou interação significativa para todos os caracteres estudados.

A presença da interação significativa entre os parâmetros genéticos e os experimentos é um indicativo de que os experimentos afetaram os tratamentos de forma desigual ou que os efeitos genotípicos modificaram-se de forma diferente conforme ao experimento. Como consequência algumas estimativas podem mudar de valor e de ordem dependendo do experimento. Apesar disso, foi verificado que a proporção das somas de quadrados atribuídas a esses efeitos da interação em relação à soma de quadrados total é baixa como já foi explicado anteriormente, indicando que os efeitos principais são os mais importantes. Por esta razão, estimaram-se somente parâmetros genéticos relacionados aos efeitos principais.

Foram obtidas estimativas da média das médias dos grupos de genitores, da diferença entre as médias dos grupos, e da heterose média (Tabela 16). As estimativas do valor da heterose média permitem fazer inferências acerca da direção predominante dos efeitos da dominância. Um valor acima de zero (positivo) indicaria que os genes com dominância atuam no sentido de aumentar o caráter. Já no caso de uma estimativa negativa, existe dominância unidirecional negativa. Neste sentido, para dias para florescimento a dominância é negativa (maior precocidade) enquanto que, para os

demais caracteres a dominância é positiva. Esta estimativa corresponde à média dos desvios dos híbridos (heteroses individuais). Estes resultados abrem a possibilidade para a exploração dos efeitos heteróticos para os caracteres associados à produção de grãos, através da formação de híbridos de linhagens. Porém, deve ser ressaltado que a presença de heterose positiva para altura da planta é indesejável no melhoramento, pois existirá nos híbridos uma maior tendência ao acamamento, da mesma forma, a esterilidade presente neste tipo de cruzamentos é outro limitante.

As estimativas dos efeitos de variedades dos genitores de cada grupo são mostradas nas Tabelas 17 e 18. O efeito *per se* de um genitor em particular, é um indicativo de sua superioridade ou de sua inferioridade em termos da frequência de alelos favoráveis, em relação a seu grupo. No caso de dias para florescimento, os genitores L3000 (1) e Irga 417 (3) do Grupo 1, e CT6748 (3'), Quilla 145601 (1') e Quilla 173201 (2') do Grupo 2 apresentaram os maiores efeitos negativos, indicando que possuem uma maior concentração de alelos para precocidade. Entretanto, as linhagens Epagri 108 (6) do Grupo 1 e FL04423 (5') e FL04402 (6') do Grupo 2 carregam uma maior concentração de alelos para um ciclo mais longo. Para o número de perfilhos, L3000 (1), Irga 417 (3), FL04402 (6') e FL04452 (7') apresentaram efeitos positivos significativos. Para a altura de planta, L3000 (1), Irga 417 (3) e FL04423 (5') apresentaram efeitos negativos de grande magnitude. As linhagens Br-Irga 410 (4), FL03188 (5), L201 (4') e Quilla 145601 (1') destacaram-se por apresentarem os maiores valores positivos dos efeitos *per se* para o comprimento da panícula. Para o caráter número de grãos por panícula sobressaíram Irga 417 (3), Irga 410 (4), L201 (4') e FL04402 (6') com efeitos positivos e significativos. Para a porcentagem de esterilidade as linhagens Irga 417 (3), Epagri 108 (6), Quilla 145601 (1'), Quilla 173201 (2') e CT6748 (3') apresentaram efeitos negativos e altos, mostrando a sua menor esterilidade. Finalmente, para peso de 1.000 sementes destacaram-se FL03188 (5) e FL04423 (5'). Estes resultados confirmam a existência de divergência genética entre as linhagens dentro dos grupos de genitores. Porém, não foi observado nenhum dos genitores com todos os efeitos de variedades na direção desejada, indicando que através do melhoramento ainda é possível produzir novas linhagens superiores às

cultivares já existentes, através da junção de alelos favoráveis dispersos, nos diferentes genitores.

As estimativas dos efeitos da heterose de variedades (h_i , h_j) também estão apresentadas na Tabelas 17 e 18. No caso de dias para florescimento, os genótipos Br-Irga 410 (4), Quilla 145601 (1') e Quilla 173201 (2') apresentaram as maiores estimativas negativas. Tratando-se do número de perfilhos, os maiores efeitos positivos foram apresentados por L3000 (1), Oryzica 1 (2), Quilla145601 (1') e CT6748 (3'). No caso da altura da planta destacaram-se os genitores L3000 (1), Oryzica 1 (2), Br-Irga 410 (4), FL04402 (6') e FL04452 (7') com estimativas negativas e significativas. Para o comprimento da panícula, os maiores valores positivos foram obtidos para Epagri 108 (6), FL03188 (5), L201 (4') e FL04452 (7'). Para o número de grãos por panícula, os maiores efeitos positivos foram apresentados por Epagri 108 (6), Quilla 173201 (2') e Quilla 145601 (1'). No caso da porcentagem de esterilidade destacaram-se Irga 417 (3), FL03188 (5), L201 (4'), FL04423 (5'), FL04402 (6') e FL04452 (7') com valores negativos. Em relação ao peso de 1.000 grãos, onde somente foi detectada significância nos genitores do grupo 2 destacaram-se L201 (4') e FL04452 (7') pelos seus efeitos positivos e significativos.

As estimativas da heterose de variedades permitem discriminar dentro dos grupos aqueles genitores com maior divergência em relação aos genitores de seu grupo. Aqueles genitores com alto potencial heterótico (estimativas positivas e significativas) devem apresentar frequências alélicas dos locos com dominância bem contrastantes em relação às frequências alélicas médias dos genitores de seu grupo. Por outro lado, aqueles genitores com valores não significativamente diferentes de zero teriam genes com frequências similares às frequências médias. Entretanto, observam-se casos de genitores com efeitos positivos de variedades e efeitos negativos para heterose de variedades, este fato indica que tais genitores são bons *per se* mais pouco divergentes nos locos com dominância em relação aos genitores do grupo.

As estimativas dos efeitos da heterose específica (Tabela 19), apresentaram uma amplitude de variação entre -3,29 e 3,19 para os dias a florescimento; entre -3,39 e 5,06 para número de perfilhos; entre -3,37 e 4,22 para a altura de planta; entre -0,82 e 0,97 para o comprimento da panícula; entre -21,82 e 15,75, para o número de grãos;

entre -26,25 e 22,15 para a porcentagem de esterilidade e entre -1,0 e 0,98 para o peso de 1.000 grãos. Segundo Vencovsky (1970), a heterose específica se manifestará por diferenças entre as frequências alélicas, e alternativamente por diferenças no grau de complementação (ou covariância) destas frequências. Em programas direcionados para obtenção de linhagens puras, aqueles cruzamentos com valores significativos da heterose específica na direção desejada podem ser uma fonte de segregantes transgressivos.

Embora tenham sido observados alguns cruzamentos com efeitos da capacidade específica de combinação ou heterose específica em direções adequadas em caracteres individuais (Tabela 19), nenhum deles apresentou efeitos desejáveis (positivos ou negativos) em todas as características, tais como: precocidade, perfilhamento alto, panículas compridas, com elevado número de grãos pesados e baixa esterilidade. Este fato ressalta mais uma vez a dispersão de alelos nos genitores e indica que na formação de híbridos comerciais existe a necessidade de realizar um melhoramento prévio dos genitores antes da formação dos híbridos para aproveitar ao máximo todos os efeitos da dominância.

Neste trabalho, foram obtidas também as estimativas da capacidade geral de combinação (CGC). Assim, os efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (CGC G1) e a capacidade geral de combinação do grupo 2 (CGC G2) foram obtidos segundo a fórmula apresentada por Gardner e Eberhart (1966) e adaptada por Geraldi e Miranda Filho (1988) para dialelos parciais. Desta forma, a CGC é desdobrada num componente devida ao potencial *per se* do cultivar (v) e uma componente heterótica (h), segundo a fórmula $g_i = \frac{1}{2}v_i + h_i$; e $g_j = \frac{1}{2}v_j + h_j$. As estimativas destes efeitos e as correlações com a média dos experimentos são apresentadas nas tabelas 20 e 21.

O efeito da capacidade geral de combinação (g_i) de uma linhagem pode ser entendido como o seu comportamento médio numa série de cruzamentos, e é um indicativo de seu valor como genitor utilizando ao outro grupo como testador. Valores absolutos estatisticamente diferentes de zero (positivos ou negativos) para g_i ou g_j evidenciam superioridade ou inferioridade do genótipo em relação ao comportamento médio das demais linhagens do grupo em cruzamentos. Estes valores são relativos ao

outro grupo de genitores utilizados e podem mudar quando utilizados em cruzamentos com outras linhagens.

Para dias para florescimento são mais desejáveis aqueles genitores com valores da CGC negativos, pois na média os cruzamentos derivados deles apresentam maior precocidade. Assim os melhores doadores de alelos para precocidade são L3000 (1) e Br-Irga 410 (4) do grupo 1, e Quilla 145601 (1'), Quilla 173201 (2') e CT6748 (3') do grupo 2. No caso do número de perflhos os melhores genitores são aqueles que aumentam este valor; neste estudo destacaram-se L3000 (1), Irga 417 (3), Br-Irga 410 (4), Quilla 145601 (1') e FL04402 (6'), com valores positivos e altos. No arroz irrigado são mais apropriados os genitores com efeitos negativos para altura, da planta tais como L3000 (1), FL04423 (5'), FL04402 (6') e FL04452 (7'). Varias linhagens destacaram-se no sentido de aumentar o comprimento da panícula de suas progênes, entre elas, FL03188 (5), Br-Irga 410 (4), Quilla 145601 (1') e L201 (4'). No caso do número de grãos destacaram-se Epagri 108 (6), Irga 417 (3) e L201 (4') com potencial para aumentar este caráter nas suas progênes. Para a porcentagem de esterilidade os melhores genitores seriam Irga 417 (3), FL03188 (5), FL04402 (6') e FL04452 (7'), pois claramente reduzem a esterilidade de suas progênes em cruzamentos com genitores do grupo oposto. Finalmente, para aumentar o peso de mil grãos poderão ser utilizados genitores como FL03188 (5) do grupo 1 e Quilla 145601 (1') e CT6748 (3') do grupo 2.

A correlação entre o efeito da CGC de um determinado genitor e seu comportamento médio, é um indicativo da possibilidade de basear a escolha dos genitores para serem usados em cruzamentos com base em seu comportamento *per se*. Entretanto, os resultados obtidos neste trabalho indicam que este procedimento não é seguro, pois os resultados não foram consistentes entre caracteres e entre grupos. Deve ressaltar-se também que haverá uma relação direta entre a média e a CGC na medida em que os efeitos da heterose de variedades não tenham importância, o que não ocorreu neste caso.

As estimativas dos componentes quadráticos associados aos efeitos da CGC do grupo 1, da CGC do grupo 2 e da CEC são apresentadas na Tabela 22. Segundo Baker (1973), a importância relativa destes efeitos pode ser verificada através da relação entre os componentes quadráticos dos mesmos. Esses valores foram de 0,97

para dias para florescimento, de 0,83 para número de perfilhos, de 0,96 para altura da planta, de 0,93 para comprimento da panícula, de 0,85 para número de grãos por panícula, de 0,81 para a porcentagem de esterilidade e de 0,89 para o peso de 1.000 grãos. Estes resultados permitem afirmar que embora os efeitos não aditivos dos genes estejam presentes como mostrado pela significância da heterose na análise de variância os efeitos da CGC dos genes são relativamente mais importantes na herança destes caracteres.

A afirmação anterior é reforçada pelo fato de que foram observados coeficientes de correlação positivos e altamente significativos entre as médias observadas dos tratamentos e as médias estimadas segundo um modelo reduzido, com base nas estimativas de g_i e g_j (Tabelas 23, 24). Estas correlações foram de 0,98 para dias para florescimento; de 0,90 para número de perfilhos; de 0,98 para altura da planta, de 0,96 para comprimento da panícula; de 0,91 para número de grãos; de 0,89 para a porcentagem de esterilidade e de 0,94 para o peso de 1.000 grãos. Porém, não é possível afirmar que os valores observados dos híbridos em arroz podem ser preditos com boa segurança com base nas estimativas da CGC para todos os caracteres, pois no caso do número de perfilhos, número de grãos por panícula e porcentagem de esterilidade existem valores bastante discordantes que correspondem aos híbridos com maiores efeitos da heterose específica.

E oportuno salientar que como mostrado por Vencovsky (1987) as estimativas da CGC no tipo de delineamento utilizado neste estudo, medem a capacidade geral de combinação dos genitores do grupo 1, utilizando ao grupo 2 como testador e vice-versa. Nesta situação, e na ausência de epistasia, a CGC depende da frequência dos alelos favoráveis nos grupo 1 e 2, dos efeitos aditivos dos genes e dos efeitos da dominância, e somente quando o testador apresentar frequências alélicas médias de 0,5, a CGC dependerá somente dos efeitos aditivos dos genes. Desta forma, a maior importância dos efeitos da CGC não implica necessariamente uma maior importância dos efeitos aditivos dos genes.

Por outro lado segundo Miranda Filho (1974) a importância dos efeitos da dominância podem ser avaliados pela contribuição da heterose na variação total dos tratamentos (genótipos). Neste trabalho, os efeitos da heterose foram responsáveis por

23,26% da variação para dias para florescimento; por 39,57% para número de perfilhos; por 34,40% para altura da planta; por 31,66% para comprimento da panícula; por 30,43% para número de grãos; por 72,59% para a porcentagem de esterilidade e por 56,06% para peso de 1.000 grãos, respectivamente, da soma de quadrados dos tratamentos. Estes resultados permitem concluir que os efeitos da dominância são menos importantes na herança dos caracteres: dias para florescimento, altura da planta, comprimento da panícula e número de grãos por panícula, e mais importantes para número de perfilhos, porcentagem de esterilidade e no peso de 1.000 grãos.

2.3.1.4 Considerações sobre a análise genética dos caracteres agrônômicos

A utilização da análise dialélica parcial no estudo de cruzamentos entre genitores suscetíveis e tolerantes às baixas temperaturas permitiu detectar a existência de considerável variação genética entre e dentro de cada grupo dos genitores em estudo e verificar a sua utilidade em programas de melhoramento. Esta diversidade pode ser devida à variabilidade genética dos ancestrais utilizados na geração destes materiais e à seleção em ambientes diferentes.

Foi verificada a liberação de considerável heterose nos cruzamentos entre genitores tolerantes e suscetíveis às baixas temperaturas. A presença de heterose em cruzamentos índica com japônica tem sido relatada por Virmani et al. (2003) e Yuan (2003). Basicamente, estes cruzamentos referem-se a combinações entre genitores índica com japônica, e os resultados obtidos confirmam que no arroz estes são dois grandes grupos heteróticos. Em consequência existiriam várias formas de aproveitar este fenômeno. Uma delas seria a utilização comercial de híbridos F_1 como cultivares comerciais, pois os efeitos da dominância estão presentes e representam no mínimo um 30% da variação nos genótipos, porém é necessário contornar a esterilidade causada pela incompatibilidade genética. A outra alternativa seria permitir o aumento da endogamia em híbridos altamente heteróticos utilizando autofecundação ou a obtenção de di-haploides através de cultura de anteras, na procura de segregantes transgressivos.

Nos cruzamentos estudados os efeitos aditivos e não aditivos dos genes estiveram presentes no controle genético dos caracteres o que de forma geral coincide com os resultados da literatura. Subbaraman e Rangasamy (1989) encontraram que os efeitos aditivos e de dominância, foram significativos no controle dos caracteres altura da planta, número de perfilhos, comprimento da panícula, número de grãos por panícula, peso da panícula, peso de 100 grãos, rendimento e número de dias para colheita. Gravois e MsNew (1993) relataram que em caracteres como rendimento, altura da planta, número de panículas, comprimento da panícula, peso da panícula e número de espiguetas primárias ambos os efeitos dos genes estiveram presentes com uma preponderância dos efeitos aditivos. Mohapatra e Mohanty (1986), relataram que ambos os efeitos da capacidade geral e específica de combinação foram altamente significativos para os caracteres: dias para florescimento, número de panículas, altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula, porcentagem de esterilidade, peso de 1000 grãos e rendimento em gramas por planta, entre outros. Nesse estudo os três componentes da heterose foram altamente significativos para o rendimento e seus componentes, com exceção da heterose média no número de grãos por panícula e da heterose de variedades no número de panículas por planta. Yonezawa (1997), relata que os efeitos genéticos para os caracteres número de panículas por planta, comprimento da panícula, e número de grãos por panícula podem ser explicados por modelo simples consistindo somente de efeitos aditivos e de dominância. Ele menciona ainda que, embora existam alguns efeitos da dominância, os efeitos aditivos dos genes são preponderantes.

Foram identificados genitores com uma maior compatibilidade em cruzamentos índica x japônica. Como mencionado por Jennings (1966), a esterilidade das progênes híbridas é um problema sério em cruzamentos índica por japônica. Este fato foi verificado neste estudo, pois observaram-se vários cruzamentos com altíssimas porcentagens de esterilidade. No entanto, as linhagens Irga 417 (3) e L3000 (1) do grupo 1 e L201 (4'), FL04423 (5'), FL04402 (6'), e FL04452 (7') do grupo 2, apresentaram efeitos negativos da CGC indicando que na média reduzem a esterilidade de suas progênes. Estas linhagens são produto de cruzamentos índica com japônica, o que sugere que genitores que apresentam algum grau de introgressão de genes do

outro grupo teriam uma maior compatibilidade em cruzamentos entre grupos. Jennings (1966) encontrou que a fertilidade em cruzamentos entre linhagens dos USA, derivadas de cruzamentos indica com japônica, com variedades indicas típicas foi geralmente alta ou normal. Igualmente, Virmani et al., (2003) relata que os híbridos indica com japônica embora possuam considerável heterose para vários caracteres agronômicos geralmente apresentam elevadas porcentagens de esterilidade, porém, alguns poucos têm fertilidade normal. Nestes casos um ou ambos os genitores possuem genes dominantes para maior compatibilidade e tais linhagens são chamados de variedades com compatibilidade ampla “ wide-compatibility varieties ou WCVs”.

Ambos os grupos de genitores podem contribuir com alelos úteis no melhoramento para caracteres agronômicos. De acordo com a magnitude da CGC de cada grupo pode-se inferir que as linhagens do grupo suscetível podem proporcionar alelos favoráveis para precocidade, número de perfilhos, altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula, fertilidade e peso de mil grãos. Da mesma forma, os genitores do grupo 2 podem contribuir com alelos favoráveis para precocidade, altura da planta, comprimento da panícula, fertilidade e peso de mil grãos. Comparando os componentes quadráticos da Tabela 22, infere-se que os genitores do grupo 2 apresentam uma maior diversidade do que os genitores do grupo 1 para os caracteres dias para florescimento, comprimento da panícula, altura da planta, número de grãos por panícula, porcentagem de esterilidade e peso de 1.000 grãos; entretanto, os genitores do grupo 1 teriam uma maior diversidade para o número de perfilhos. Porém, não foi observado nenhum genitor com todos os efeitos da CGC desejáveis para todos os caracteres, indicando que os alelos positivos para os caracteres agronômicos encontram-se dispersos entre os genitores.

2.3.2 Caracteres tolerância a baixas temperaturas

2.3.2.1 Análises de variância por experimento e conjunta

As variáveis utilizadas nestas avaliações medem características distintas do desenvolvimento da plântula em condições do estresse por frio. O índice de

emergência caracteriza a capacidade da plântula germinar e sair do solo em condições de estresse e avalia tanto a velocidade de germinação como a uniformidade da mesma. A produção de matéria seca avalia a capacidade de crescimento da plântula em condições de estresse por frio. Os genótipos com maior acúmulo de matéria seca apresentam uma maior capacidade de transferência de seus tecidos de reserva para o eixo embrionário, tendo então maior capacidade de metabolismo em baixas temperaturas.

Os coeficientes de variação experimental dos caracteres de tolerância às baixas temperaturas (Tabela 25) foram altos, apesar dos experimentos terem sido realizados em condições altamente controladas. Provavelmente houve uma influência considerável do vigor dos lotes de sementes sobre os resultados, pois para facilitar os cruzamentos as glumas foram retiradas causando a redução do tamanho da semente e, estas foram produzidas na casa de vegetação onde existe menor luminosidade. Além disso, segundo Marcos Filho (1999), os testes de vigor em geral e os testes de germinação em baixas temperaturas são muito sensíveis e difíceis de padronizar. No entanto, os valores do coeficiente de variação são similares aos 18,2% para o índice de germinação e 20,7% para a recuperação do crescimento do coleóptilo relatados por Cruz R.P. (2001).

As análises de variância por experimento (Tabela 25), indicaram que houve diferenças altamente significativas entre os tratamentos. Estas diferenças podem ser atribuídas às diferenças entre genitores, entre cruzamentos e na comparação genitores *versus* cruzamentos, em ambos os caracteres. Entretanto, para a matéria seca não houve significância da comparação entre os genitores *versus* cruzamentos no experimento 2. Estes resultados indicam a existência de divergência genética para tolerância às baixas temperaturas entre e dentro dos grupos de genitores, que também é expressa nos híbridos.

Nas análises de variância conjunta (Tabela 26) foram verificadas diferenças altamente significativas para tratamentos e para a interação entre os experimentos e os tratamentos, não havendo diferenças entre os experimentos. Na decomposição da soma de quadrados de tratamentos detectaram-se diferenças altamente significativas para genitores do grupo 1, genitores do grupo 2, grupo 1 *versus* grupo 2, cruzamentos,

e genitores *versus* cruzamentos. Entretanto, na decomposição da soma de quadrados da interação entre tratamentos e experimentos, verifica-se que os grupos de genitores e os cruzamentos, apresentam interação significativa para os dois caracteres, e que a comparação entre genitores e os cruzamentos interagiu com experimentos unicamente no caso da matéria seca. A decomposição da soma de quadrado da interação dos genitores com os experimentos indica que os dois grupos de genitores apresentaram interação significativa, e a comparação entre os grupos interagiu com experimentos somente para o índice de emergência. Estes resultados evidenciam a presença de variabilidade genotípica para tolerância em ambos os grupos de genitores e a ocorrência da interação com experimentos. A presença da interação não pode ser atribuída a diferenças nas condições ambientais, pois estas foram controladas.

Visando entender a importância da interação, foi calculada a proporção da soma de quadrados total explicada por esta, que foi de 12,0% e de 15,6%, respectivamente para o índice de emergência e a matéria seca. Entretanto a fonte de variação tratamentos respondeu por 76,7% e 68,0% da soma de quadrados total, respectivamente. Além disso, as médias dos experimentos foram iguais e nos experimentos individuais verificou-se que a média dos genitores tolerantes (Tabela 27) sempre foi superior à média dos genitores suscetíveis. Por estas razões pode-se considerar que a interação, embora exista, não é muito importante, pois não modifica a classificação previa dos genitores e não é devida a fatores previsíveis. Como consequência pode dar-se uma maior ênfase na análise conjunta dos experimentos.

Os resultados da análise de variância conjunta (Tabela 26) indicam vários fatos interessantes em relação à tolerância ao frio. As maiores somas de quadrados dentro dos genitores ocorrem nas comparações entre genitores do grupo 1 *versus* genitores do grupo 2, mostrando que as diferenças genotípicas existentes entre os grupos são muito amplas, devido ao critério na escolha prévia dos genitores. Além disso, a metodologia utilizada para avaliar a tolerância ao frio foi adequada, pois discriminou muito bem os genótipos. As diferenças significativas dentro dos grupos de genitores permitem inferir que os níveis de tolerância dentro dos grupos variam. Por outro lado, a significância do contraste entre as médias dos cruzamentos e as médias

dos genitores evidencia a existência de heterose para tolerância ao frio na fase de germinação-emergência.

No grupo de genitores suscetíveis as linhagens Irga 417 (3) e Br-Irga 410 (4) apresentaram um comportamento melhor do que os genótipos completamente tropicais como Oryzica 1 (2), FL03188 (5), e Epagri 108 (6) para ambos os caracteres (Tabela 27), indicando que têm acumulado alguns fatores positivos para a emergência em condições de estresse, pois são adaptadas as condições de cultivo de Rio Grande do Sul. Resultados similares foram reportados por Cruz R.P. (2001), em um estudo utilizando condições de avaliação de 13 °C por 28 dias e papel como substrato, onde verificou que o cultivar Irga 417 (3) foi o melhor genótipo quanto ao índice de germinação, e intermediário quanto ao comprimento do coleótilo; nas mesmas condições o cultivar Br-Irga 410 (4) foi intermediário. Também Cruz M. (2004), encontrou que Irga 417 (3) e Br-Irga 410 (4) foram intermediários na sua reação ao frio, quando foram submetidas a 12 °C no escuro utilizando papel como substrato e avaliando a tolerância pela porcentagem de sementes com comprimento do coleótilo maior do que 5 mm.

Como indicado pela análise de variância, existem diferenças para o índice de emergência e a produção de matéria seca entre os genitores tolerantes. Destacam-se as linhagens Quilla 173201 (2'), CT6748 (3') e L201 (4') com maior capacidade de germinação-emergência e produção de matéria seca em condições de estresse. Estes resultados coincidem com o estudo de Cruz M. (2004) no qual o genitor Quilla 173201 (2') apresentou a maior porcentagem de germinação, CT6748 (3') foi muito tolerante, e L201 (4') foi tolerante. A tolerância da linhagem CT6748 (3') foi também verificada por De los Reyes et al. (2003), que a utilizaram para o isolamento de EST's. Já as linhagens derivados do programa de FLAR para a zona temperada FL04423 (4'), FL04402 (5') e FL04452 (6') embora sejam tolerantes, apresentaram um comportamento claramente inferior mostrando que ainda não têm acumulado todos os alelos necessários para serem similares aos genitores de tipo mais japônica.

De forma geral, nos cruzamentos houve uma clara tendência de ter um maior índice de emergência e maior produção de matéria seca os híbridos derivados de genitores mais tolerantes (Tabela 27). Porém, não foi obtido nenhum cruzamento

superior aos melhores genitores. Da mesma forma não foi observado nenhum cruzamento tão ruim quanto os genótipos suscetíveis. No estudo de Cruz M. (2004) foi relatado que nos cruzamentos entre os genótipos tolerantes Quilla 145601 (1'), Quilla 173201 (2') e CT6748 (3') com genitores sensíveis tropicais CT10308 e Colômbia XXI, foram obtidos híbridos com altas porcentagens de germinação em temperaturas baixas, mas em menor grau do que os genitores tolerantes. Igualmente, nenhum dos híbridos foi igual aos genitores sensíveis.

Considerando a média dos três experimentos houve uma clara tendência de os híbridos mostrarem heterose positiva (Tabela 28). As médias das heteroses individuais dos híbridos em relação à média dos genitores foram de 28,85% para o índice de emergência, e de 30,34% para a produção de matéria seca. Embora fossem, encontrados alguns valores negativos, estes são não significativos. Resultados similares foram reportados por Cruz R.P. (2001), que avaliando a recuperação do crescimento do coleóptilo como medida da tolerância, encontrou que houve heterose tanto no sentido da tolerância como no sentido da susceptibilidade. Cruz M. (2004), encontrou predominância de heterose positiva na porcentagem de sementes com o coleóptilo maior do que 5 mm.

2.3.2.2 Análise estatístico-genética

Para a análise dialélica foram considerados os três experimentos como um único, e, portanto, e utilizaram-se as médias das nove repetições. Como já foi mencionado a interação não pode ser atribuída a condições ambientais sistemáticas e sim a condições das sementes utilizadas, e, além disso, esta tem pouca importância em relação aos efeitos genotípicos.

Na análise dialélica (Tabela 29) foram constatadas diferenças altamente significativas para os efeitos de variedades dos grupos 1 e 2, e para a comparação entre os grupos, em ambos os caracteres, indicando que existem diferenças na concentração de alelos favoráveis para a tolerância às baixas temperaturas, entre e dentro dos grupos de genitores utilizados.

Os efeitos da heterose também foram altamente significativos (Tabela 29) para ambos os caracteres. Esta significância pode ser atribuída aos efeitos da heterose média, heterose de variedades dos genitores de ambos os grupos, e heterose específica. Porém, os efeitos da heterose de variedades dos genitores do grupo 1, não foram significativos para a produção de matéria seca. Estes resultados indicam a presença de dominância direcional em locos divergentes entre os genitores. Igualmente, evidenciam a existência de contribuições desiguais à heterose média de alguns genitores. Mostram ainda a presença de combinações específicas de alelos em determinados cruzamentos que contribuem para a heterose. Assim, estes resultados permitem afirmar que os efeitos não aditivos estão presentes no controle genético da tolerância às baixas temperaturas no arroz na fase de germinação-emergência.

As estimativas dos efeitos da média das médias dos grupos de genitores (u), da diferença entre as médias dos grupos de genitores (d) e da heterose média ($\bar{h}$) para o índice de emergência e produção de matéria seca estão apresentadas na Tabela 30. Os valores negativos do efeito (d) são indicativos de que os valores genotípicos do grupo 1 são inferiores aos valores do grupo 2, confirmando a sua menor tolerância. Entretanto, o efeito ($\bar{h}$) positivo e significativo, indica que os efeitos da dominância atuam predominantemente no sentido do aumento da tolerância.

As estimativas dos efeitos de variedades (v_i e v_j), da heterose de variedades (h_i e h_j), e da heterose específica (s_{ij}) são apresentados na Tabela 31 para o índice de emergência, e na tabela 32 para a produção de matéria seca. Para o índice emergência foram obtidas estimativas positivas e significativas do efeito de variedades para Irga 417 (3), Br-Irga 410 (4), Quilla173201 (2'), CT6748 (3') e L201 (4'). Com exceção de L201 (4'), estes mesmos genótipos apresentaram estimativas positivas e significativas do efeito de variedades para a produção de matéria seca, indicando que estes genitores apresentam uma maior concentração de alelos favoráveis para os dois caracteres.

Com relação aos efeitos de heterose de variedades para o índice de emergência, foram identificadas as linhagens L3000 (1), Br-Irga 410 (4), Quilla 145601 (1') e Quilla 173201 (2'), com efeitos positivos e significativos. E no caso da matéria seca, somente os genitores Quilla 145601 (1') e FL04452 (7') apresentaram efeitos

positivos e significativos. Estes resultados indicam que estes genitores carregam alelos pouco freqüentes, resultando em desvios positivos na heterose média.

Foram identificados vários cruzamentos com desvios significativos para a heterose específica (Tabelas 31 e 32). Destes, somente dois híbridos apresentaram desvios positivos e significativos tanto para o índice de emergência como para a produção de matéria seca, isto é, 2x6' e 6x6'. Entretanto, para o índice de emergência destacaram-se também os híbridos 2x2', 4x4' e 6x1' com valores positivos e significativos, e para a produção de matéria seca destacaram-se também os híbridos 3x2', 5x2' e 4x3'. Estes cruzamentos mostram aquelas combinações onde ocorreu a maior complementação entre os alelos carregados pelos genitores; estes cruzamentos com valores positivos podem ser fontes de segregantes transgressivos para maior capacidade de emergência e crescimento em condições de baixas temperaturas.

As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos grupos 1 e 2 estão apresentadas na Tabela 33. Estes valores permitiram identificar linhagens úteis para serem utilizados como genitores em cruzamentos visando tolerância ao frio. No grupo 1 os genitores L3000 (1), Irga 417 (3), e Br-Irga 410 (4), apresentaram valores positivos para o índice de emergência. Porém somente, Irga 410 (4) e L3000 (1) mostraram valores positivos e significativos na produção de matéria seca. Entretanto, os genótipos Oryzica 1 (2), FL03188 (5) e Epagri 108 (6) apresentaram valores negativos para ambos os caracteres, indicando que seu uso em cruzamentos deve ser evitado. No grupo 2, os melhores doadores da tolerância medida pelo índice de germinação são Quilla 173201 (2') e Quilla 145601 (1'). Para a matéria seca destacaram-se os genitores Quilla 145601 (1'), Quilla 173201 (2') e CT6748 (3'). Chama à atenção a linhagem CT6748 (3') que embora tenha um excelente comportamento *per se* em ambos os caracteres, mostrou boa CGC unicamente para a matéria seca. Estes resultados indicam que no germoplasma tropical existem alelos favoráveis para a tolerância ao frio especialmente no índice de emergência e confirmam que as melhores fontes da tolerância são genótipos de tipo japônica.

O comportamento *per se* não é adequado para a escolha dos genitores a serem utilizados em cruzamentos, pois embora as correlações entre os efeitos da capacidade geral de combinação e a média dos experimentos tenham sido

significativas para ambos os grupos no índice de emergência, para a matéria seca a correlação foi significativa somente para o grupo 1.

Os componentes quadráticos associados à capacidade geral de combinação de ambos os grupos, e à capacidade específica de combinação são apresentados na Tabela 34. A proporção da soma das capacidades gerais de combinação em relação aos três componentes quadráticos foi de 0,79 para o índice de emergência e de 0,80 para a produção da matéria seca. Estes resultados indicam que há uma preponderância dos efeitos da CGC dos genes para a tolerância às baixas temperaturas, e uma maior variabilidade para a tolerância ao frio no caso dos genitores tolerantes (Grupo 2) como era de esperar-se.

Foram estimadas também as médias dos cruzamentos segundo um modelo reduzido que inclui somente as estimativas da capacidade geral de combinação de ambos os grupos de genitores (u , g_i e g_j). Este valor foi correlacionado com a média observada dos três experimentos (Tabela 35). Os coeficientes de correlação foram de 0,87 para o índice de emergência e de 0,88 para a produção da matéria seca, ambos altamente significativos. Estes resultados evidenciam uma vez mais a preponderância dos efeitos da capacidade geral de combinação para a tolerância às baixas temperaturas, porém, de forma semelhante aos caracteres agronômicos, não é possível prever com boa margem de segurança o comportamento dos híbridos de arroz para tolerância ao frio através das estimativas da capacidade de combinação dos genitores.

Por outro lado a proporção da soma de quadrados dos tratamentos explicada pela heterose é de 19,14% para o índice de emergência e de 18,96% para a produção de matéria seca. Estes resultados permitem concluir que os efeitos da dominância são menos importantes na herança da tolerância ao frio medida pelo índice de emergência e a produção da matéria seca.

2.3.2.3 Considerações sobre a análise genética da tolerância ao frio

As metodologias de avaliação utilizadas para avaliar a tolerância poderiam ser muito eficientes para identificar genótipos altamente tolerantes; porém é difícil o seu uso de forma rotineira. Na figura 2, é apresentada uma ilustração das diferenças

observadas. Nos trabalhos de Cruz R.P. (2001) e Cruz M. (2004), pode-se notar que genótipos como Irga 417 (3) e Br-Irga 410 (4) às vezes são classificados como tolerantes. Esta situação não ocorreu neste caso, pois os genitores tolerantes foram claramente distintos dos genitores suscetíveis. Porém para a avaliação de um número grande de genótipos, além do espaço requerido, há dificuldade para o manejo prático da semeadura. Em consequência, a maior utilidade desta metodologia talvez seja na discriminação de genitores tolerantes. Num primeiro passo deveriam ser eliminados os genótipos mais suscetíveis com metodologias convencionais, e, em seguida poderia utilizar-se o índice de emergência e a produção de matéria seca para identificar os genitores altamente tolerantes.

Quando foram comparadas as médias dos caracteres utilizados para medir a tolerância ao frio, através de três experimentos, sempre os cruzamentos apresentaram as maiores médias tanto para índice de emergência quanto para matéria seca, do que a média dos genitores, e, conseqüentemente a estimativa da heterose média foi positiva e significativa. Isto indica que os genes que controlam a tolerância exercem dominância. Resultados similares foram observados por outros autores, Li e Rutger (1980) relataram que na geração F_1 houve dominância para maior vigor da plântula. Sasaki (1968, 1974, 1977) apud Takahashi (1997) mostrou que a capacidade de germinar em condições de baixas temperaturas é controlada por genes dominantes. Kaw e Khush (1986) relataram que os híbridos apresentaram médias similares ou superiores aos genitores tolerantes para o coeficiente de emergência e para a altura das plântulas aos 15 e 22 dias, quando foram avaliados a 15 °C. Cruz M. (2004), avaliando um dialelo composto dos genitores Quilla 145601, Quilla 154907, CT6748, FL0482-5P-2-1P-M, FL00236-4P-2-1P-M, Quilla 154908, Quilla 17320, Embrapa 7 TAIM, CT10308-27-3-1P-4-3-2P e Colômbia XXI verificou a existência de heterose positiva no sentido do aumento da tolerância ao frio.

Neste trabalho os resultados indicam que tanto os efeitos da CGC como da CEC estão presentes, porém com menor importância para os efeitos não aditivos. Resultados similares foram relatados por Li e Rutger (1980) que estudaram a herança do vigor da plântula em baixas temperaturas, utilizando uma análise dialélica com nove genitores. Encontraram que os efeitos aditivos e dominantes foram altamente

significativos para a altura da plântula em temperaturas de 18 °C. Kaw e Khush (1986) estudaram as capacidades de combinação geral e específica para tolerância a baixas temperaturas, e mostraram que os efeitos da CGC dos machos e das fêmeas e o efeito da CEC foram altamente significativos para o coeficiente de emergência e para a altura das plântulas aos 15 e 22 dias. Neste estudo as estimativas da CGC foram maiores do que as estimativas da CEC para a altura da plântula, porém, para o coeficiente de emergência houve preponderância da CEC. Redoña e Mackill (1996b) estudando uma população F_2 derivada do cruzamento entre uma cultivar japônica de baixo vigor (Labelle) e uma cultivar índica de alto vigor (Black Gora), avaliadas em dois regimes de temperatura (18 °C e 25 °C) detectaram efeitos genéticos de tipo aditivo, dominante e sobredominante. Cruz R.P. (2001), numa análise dialélica com seis genitores (Quilla 64117, Quilla 66304, Diamante, Irga 417, BRS 7 Taim, e IR 8) e avaliando a tolerância através da porcentagem de redução no comprimento do coleóptilo, encontrou que a ação gênica aditiva e não aditiva são importantes na tolerância ao frio na germinação. Finalmente, Cruz M. (2004) relatou também a importância dos efeitos aditivos e não aditivos dos genes na tolerância às baixas temperaturas.

A menor importância dos efeitos da dominância coincide com os resultados de Li e Rutger (1980). Estes autores mostram que os efeitos aditivos foram significativamente superiores aos efeitos da dominância, sendo o grau médio de dominância estimado em 0,77 nas gerações F_1 e F_2 . Resultados similares foram relatados por Sasaki (1968, 1974, 1977) apud Takahashi (1997) que concluiu que os efeitos aditivos dos genes são mais importantes na herança da tolerância ao frio.

Em consequência, de acordo com a literatura e com os resultados deste estudo pode-se concluir que na tolerância ao frio na fase de germinação existe tanto a ação gênica aditiva como a não aditiva, com menor importância dos efeitos não aditivos. Provavelmente as diferenças na maior importância de um ou outro efeito devem-se ao fato de que as características utilizadas para avaliar a tolerância nos diferentes estudos não exatamente as mesmas.

As cultivares IRGA 417 (3) e Br-Irga 410 (4), variedades muito plantadas no Rio Grande do Sul e L3000 (1) apresentaram valores positivos da CGC para tolerância ao frio, mostrando que dentro do germoplasma suscetível existem alelos favoráveis

para tolerância ao frio, e que linhagens com esses efeitos devem ser preferencialmente escolhidas como genitores. Outros autores têm reportado a ocorrência de alelos positivos para tolerância em genitores suscetíveis. Redoña e Mackill (1996b) estudando uma população F_2 , derivada do cruzamento entre uma cultivar japônica de baixo vigor (Labelle) e uma cultivar índica de alto vigor (Black Gora), encontraram que o genitor de baixo vigor contribuiu com 46% dos alelos positivos para os caracteres comprimentos da plântula, do coleóptilo e das raízes.

Considerando os genótipos utilizados, os melhores doadores da tolerância ao frio seriam Quilla 173201 (2'), Quilla 145601 (1') e CT6748 (3'). Os dois primeiros apresentaram os maiores efeitos da CGC para o índice de emergência, enquanto que para a matéria seca os três apresentaram os maiores efeitos da CGC. Portanto, apresentam as maiores concentrações de alelos favoráveis que são repassadas para suas progênies.

A escolha de novos genitores como doadores da tolerância, deverá ser feita em varias etapas. Inicialmente deve realizar-se a avaliação em experimentos repetidos com sementes produzidas em condições ótimas, pois foi verificada a presença de interação dos genótipos com os experimentos. Posteriormente, uma vez identificados os genótipos tolerantes, deverão ser realizados cruzamentos testes, utilizando preferencialmente como testadores linhagens com frequências muito baixas nos alelos favoráveis para tolerância (bem suscetíveis). Isto porque o comportamento *per se* não foi um bom indicador do valor como genitor da linhagem.

A seleção para tolerância ao frio em populações segregantes direcionadas à obtenção de linhagens puras pode ser realizada em gerações intermediarias de endogamia. Foi demonstrada a existência dos efeitos da dominância que reduzem a herdabilidade do caráter. Entretanto, estes devem diminuir com o aumento da endogamia, como mostrado por Souza Jr. (1989), até chegar ao zero na homozigose completa. Porém, como os efeitos da dominância não são muito fortes já estariam diluídos em gerações intermediarias como F_3 ou F_4 . A seleção nestas gerações também permite selecionar na geração F_2 para outros caracteres de maior herdabilidade (altura da planta, esterilidade, aparência do grão, etc.), não avançando materiais de pouco interesse, e concentrando os esforços somente em genótipos promissores. Além do

mais nestas gerações (F_3 ou F_4) existira uma maior quantidade de sementes o que permitiria experimentos mais precisos.

Por outro lado, a utilização comercial de híbridos de arroz pode ser interessante para contornar o problema das baixas temperaturas em semeaduras adiantadas no Cone Sul. Foi demonstrada pela análise dialélica, a existência dos efeitos da dominância para a tolerância às baixas temperaturas avaliada tanto pelo índice de emergência como pela produção da matéria seca. Em consequência, a exploração destes efeitos mediante um programa de seleção recorrente recíproca entre os dois grandes grupos (índica e japônica) e a utilização de híbridos F_1 derivados de linhagens entre os grupos, como cultivares comerciais, poderão ser vantajosa.

As três linhagens derivadas do programa FLAR para as regiões temperadas (FL04423 (5'), FL04402 (6') e FL04452 (7')) apresentaram valores de CGC negativos quando foram comparados com as linhagens mais japônicas, e utilizando genótipos índica como testadores. Este fato provavelmente reflete um menor acúmulo de alelos positivos para a tolerância ao frio, e indica que ainda não são adequadas para serem utilizados como doadores desta característica, em cruzamentos com genitores completamente suscetíveis.

2.3.3 Considerações finais

Após da realização deste trabalho, existem varias considerações com relação ao melhoramento direcionado à obtenção de novas cultivares comerciais de arroz para o cone sul, visando a combinação de tolerância às baixas temperaturas com alta produtividade.

Foi verificada a existência de diferenças no potencial genético entre e dentro dos grupos de genitores para todos os caracteres estudados. Entretanto, nenhum dos genitores apresentou todos os alelos positivos para os diferentes caracteres, indicando que estes se encontram dispersos entre e dentro dos grupos de genitores. Em consequência ainda será possível a obtenção de genótipos superiores aos utilizados neste estudo, que combinem tanto maior produtividade quanto tolerância às baixas temperaturas.

Foi verificada a existência de efeitos aditivos e não aditivos no controle genético destes caracteres. Em consequência, no melhoramento poderão ser utilizados tanto métodos tradicionais nas espécies autógamas, visando a obtenção de linhagens puras para serem utilizadas como cultivares comerciais, como também métodos direcionados à formação e utilização de híbridos F_1 , outra estratégia que vem ganhando espaço na cultura do arroz.

Em qualquer caso o uso das fontes de tolerância deve ser criterioso. Nos cruzamentos entre genitores suscetíveis e tolerantes às baixas temperaturas, libera-se uma quantidade de variabilidade nem sempre desejável. Geralmente, as fontes mais tolerantes ao frio como Quilla 145601 (1'), Quilla 173201 (2') e CT6748 (3') quando cruzadas com linhagens do tipo indica produzem progênies de maior altura, menor perfilhamento, menor número de grãos por panícula, maior esterilidade, além de outros defeitos destes genótipos, como susceptibilidade à brusone, má qualidade do grão etc.

Pela consideração anterior, verifica-se que não é uma boa estratégia utilizar diretamente em cruzamentos linhagens com alto grau de tolerância, porém pouco adaptados e muito distantes geneticamente. Em primeiro lugar, é necessário fazer uma estratificação dos ambientes visando identificar áreas homogêneas quanto ao estresse por frio, dentro do cone sul. Em alguns locais, como a região norte da Argentina, certas zonas no Rio Grande do Sul, Artigas no Uruguai, etc., provavelmente não é necessário ter um grau alto de tolerância ao frio. Neste caso, poderiam ser utilizados como genitores linhagens com tolerância adequada (como as linhagens FL utilizadas neste estudo) porém mais adaptadas e menos distantes geneticamente, em cruzamentos com linhagens de alta produtividade com algum grau de tolerância. Em outras regiões mais ao sul, onde necessariamente deve-se ter maior tolerância na fase de germinação e plântula, o melhoramento deve ser mais refinado com uma fase de pré-melhoramento visando a incorporação de alelos de tolerância presentes em genitores não adaptados no germoplasma elite, e, posteriormente, num segunda fase, utilizando o germoplasma elite adaptado para a obtenção de cultivares.

Neste sentido, existem varias alternativas possíveis. Uma é utilizar retrocruzamentos como demonstrado por Fujino (2004), em que, os genes presentes nos genótipos altamente tolerantes poderiam ser transferidos para as linhagens mais

adaptadas às condições de cultura no cone sul, como Irga 417 (3) e L3000 (1). Essas novas linhagens poderiam, então, ser utilizadas em cruzamentos elite por elite direcionados à obtenção de novas cultivares comerciais. Uma maior eficiência poderia ser obtida mediante o uso de marcadores moleculares que ajudaria na recuperação rápida do genitor recorrente, e na seleção contra os alelos indesejáveis presentes no germoplasma japônica.

Outra alternativa de mais longo prazo para alcançar o objetivo de produzir linhagens com tolerância às baixas temperaturas, adaptabilidade e alta produtividade poderia ser o uso de seleção recorrente, como mencionado por Geraldi (1997). Segundo Hallauer (1978), apud Nass; Miranda Filho e Santos (2001) a seleção recorrente é considerada o método mais indicado para adaptação de germoplasma exótico, sendo que inicialmente a seleção massal pode ser satisfatória para caracteres com alta herdabilidade e, posteriormente, métodos mais elaborados devem ser empregados.

A utilização dos genitores doadores de alelos de alta produtividade também deve ser criteriosa. Neste estudo foi verificado que dos genitores suscetíveis mais tropicais (Oryzica 1 (2), FL03188 (5) e Epagri 108 (6)), somente FL03188 (5) tem alelos superiores para comprimento da panícula e peso de 1.000 grãos, enquanto que Epagri 108 (6) tem alelos superiores para maior número de grãos por panícula sobre as linhagens índicas já adaptadas L3000 (1), Irga 417 (3) e Br-Irga 410 (4). Adicionalmente, FL03188, também possui folhas com cor verde escura. Provavelmente esses caracteres comprimento da panícula, cor verde escura com senescência tardia, número de grãos por panícula e peso dos grãos sejam as características mais interessantes para os programas do cone sul, que estão presentes no germoplasma tropical. Devido aos problemas ocasionados pelo maior ciclo e a menor qualidade de grão, estes alelos positivos igualmente deverão ser colocados primeiro em germoplasma adaptado, que será depois utilizado em cruzamentos elite por elite para a geração de cultivares.

3 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem apontar as seguintes conclusões, quanto aos grupos de linhagens suscetíveis (Grupo 1) e tolerantes (Grupo 2) às baixas temperaturas em arroz:

Os alelos favoráveis, tanto para os caracteres agronômicos quanto para os caracteres da tolerância às baixas temperaturas, encontraram-se dispersos entre e dentro dos grupos de genitores.

Existe heterose para todos os caracteres. Para dias para florescimento esta é negativa (dominância para precocidade), enquanto que para os demais caracteres (número de perfilhos, altura da planta, comprimento da panícula, número de grãos por panícula, peso de 1.000 grãos índice de emergência e produção de matéria seca) esta é positiva.

Os genitores contribuíram de forma desigual para a heterose média e também houve variação entre os cruzamentos quanto à contribuição para a heterose.

Os efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) foram importantes na herança de todos os caracteres estudados; entretanto, os efeitos da CGC foram preponderantes.

Algumas linhagens como Irga 417, FL03188 do Grupo 1 e L201, FL04423, FL04402 e FL04452 do Grupo 2 apresentam menores taxas de esterilidade em cruzamentos e são, portanto, importantes para a formação de populações-base para o melhoramento.

As melhores fontes de tolerância às baixas temperaturas são Quilla 145601, Quilla173201 e CT6748, todas do grupo de genitores tolerantes.

No grupo de genitores suscetíveis às baixas temperaturas três genitores têm alelos favoráveis para tolerância às baixas temperaturas: L3000, IRGA 417 e Br-Irga 410.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, J.R.; GRAU, P. Mejoramiento del arroz em Chile por tolerância a frio. REUNIÓN SOBRE MEJORAMIENTO DE ARROZ EN EL CONO SUR, 1991, Goiania. **Trabajos...** Montevideo: IICA-Procisur, 1991. p. 105-114.
- ANDO, A.; NAGATA, G.; CARBONERA, R.; TULLMAN, N. Avaliação da heterose de híbridos entre genótipos brasileiros, japoneses e filipinos de arroz de sequeiro. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMERICA LATINA E O CARIBE, 9.; REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE ARROZ, 5., 1994, Goiânia. **Anais...** Goiania: EMBRAPA CNPAF-APA, 1996. v2. p. 68.
- ANDAYA, V. C.; MACKILL, D. J. QTL's conferring cold tolerance at the booting stage of rice using recombinant inbred lines from a japonica x indica cross. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.106, n. 6, p.1084-1090, 2003.
- BEDI, S.; BASRA, A. Chilling injury in germinating seeds: basic mechanisms and agricultural implications. **Seed Science**, Walliford, v. 3, n. 4, p. 219-229, 1993.
- BEIL, G.M.; ATKINS, R.E. Estimates of general and specific combining ability in F₁ hybrids for grain yield and its components in grain sorghum, *Sorghum vulgare* Pers. **Crop Science**, Madison, v. 7, n. 3, p. 225-228, 1967.
- BAKER, R.J. Issues in diallel analysis. **Crop Science**, Madison, v. 18, n. 4, p. 533-536, 1973.
- CARMONA, P.S. Melhoramento de arroz irrigado na região sul do Brasil. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 42, n. 387, p. 14-16, 1989.
- CASTILLO, D.; ALVARADO, J.R. Caracterización de germoplasma de arroz para tolerancia a frio en la etapa de germinación. **Agricultura Técnica**, Chillan, v. 62, n. 4, p. 596-605, 2002.
- COUNCE, A.P.; KEISLING T.; MITCHELL A. An uniform, objective and adaptative system for expressing rice development. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 2, p. 466-443, 2000.
- CRUZ, M.; PULVER, E.; JENNINGS, P.R.; BERRIO, L.E.; BLANCO, P.; ROSSO, A.; MARASSI, J. Identificación de materiales genéticos de arroz para tolerancia a temperaturas bajas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 2.; REUNIAO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 24., 2001, Porto Alegre-RS. **ANAIS...** Porto Alegre: IRGA, 2001. p. 141-144.
- CRUZ, M. **Metodologias para evaluacion de la tolerância al frio em las etapas de germinacion y floracion del arroz (*Oryza sativa* L) y estudio genetico del estrés producido por el frio en la etapa de germinacion**. 2004. 86 p. Tese (Mestrado em Biologia) – Universidad del Valle, Cali, 2004.

CRUZ, R.P. **Tolerância ao frio em arroz irrigado: Metodologias de avaliação e bases genéticas**. 2001. 158 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DE LOS REYES, B.; MORSY, M.; GIBBONS, J.; VARMA, T.; ANTOINE, W.; McGRANTH, J.; HALGREN, R.; REDUS, M. A snapshot of the low temperature stress transcriptome of developing rice seedlings (*Oryza sativa* L.) via EST's from subtracted cDNA library. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.107, n. 6, p. 1071-1082, 2003.

FUJINO, K. A major gene for low temperature germinability in rice (*Oryza sativa* L.). **Euphytica**, Wageningen, v.136, n. 1, p. 63-68, 2004.

FUJINO, K.; SEKIGUCHI, H.; SATO, T.; KIUCHI, H.; NONOUE, Y.; TAKEUCHI, Y.; ANDO, T.; LIN, S.; YANO, M. Mapping of quantitative trait loci controlling low temperature germinability in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 108, n. 5, p. 794-799, 2004.

GERALDI, I.O. Selección recurrente en el mejoramiento de plantas. In: GUIMARÃES, E.P (Ed.). **Selección recurrente en arroz**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical 1997. cap. 1, p. 3-10.

GERALDI, I.O.; MIRANDA FILHO, J.B. Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v.11, n.2, p. 419-430, 1988.

GRAVOIS, K.; McNEW, R. Combining ability and heterosis in U.S southern long grain rice. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 2, p. 83-86, 1993.

GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. A general model for genetics effects. **Biometrics**, Tucson, v. 22, n. 4, p. 864-881, 1966.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, Collingwood v. 9, p. 463-493, 1956.

GOMEZ, K.; GOMEZ, A. **Statistical procedures for agricultural research**. Los Baños: The International Rice Research Institute, 1984. 680 p.

HALLAHUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 2nd ed. Ames: Iowa State University Press, 1988. 468 p.

HIROTSU, N.; MAKINO, A.; USHIO, A.; MAE, T. Changes in the thermal dissipation and the electron flow in the water-water cycle in rice growing under conditions of physiologically low temperature. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v. 45, n. 5, p. 635-644, 2004.

INIA-URUGUAI. **Arroz**: Resultados experimentales (1999 – 2000). Montevideo, 2000. cap. 1, p. 4-10.

JENNINGS, P. R. **Evaluation of partial sterility in India x Japonica rice hybrids**. Los Baños: The International Rice Research Institute, 1966. 63 p. (Technical Bulletin, 5).

JENNINGS, P.R.; COFFMAN, W.R.; KAUFFAM H.E. **Mejoramiento de Arroz**. Cali: The International Center for Tropical Agriculture, 1981. 237 p.

JEUNG, J.U; HWUANG, H.G.; MOON, H.P.; JENA, K.K. Fingerprinting temperate japonica and tropical indica rice genotypes by comparative analysis of DNA markers. **Euphytica**, Weenie, v. 146, n. 3, p. 239-251, 2005.

JONES, D.B.; PETERSON, M.L. Rice seedling vigor at sub-optimal temperatures. **Crop Science**, Madison, v.16, n 1, p. 102-105, 1976.

KAW, R. N. Association of traits governing cold tolerance at early seedling stage in rice. **International Rice Research Notes**, Manila, v.11, n. 3, p. 8-9, 1986.

KAW, R.N.; KHUSH, G.S. Combining ability for low temperature tolerance in rice In: INTERNATIONAL RICE GENETICS SYMPOSIUM, 1, 1985, Los Baños. **Proceedings...**Manila: IRRI, 1986. p. 593-613.

KAW, R.N.; VISPERAS, R.M.; MOON, H.P.; YAE, J.D. Evaluation of rice genotypes for cold tolerance at vegetative stage. **International Rice Research Notes**, Manila, v.11, n. 3, p. 9-10, 1986.

KWAK, T.S.; VERGARA, B.S.; NANDA, J.S.; COFFMAN, W.R. Inheritance of seedling cold tolerance in rice. **Oryza**, India, v. 16, n. 3, p. 83-86, 1984.

KAZEMITABAR, S.; TOMSETT, A.; COLLIN, M.; JONES, M. Effect of short term cold stress on rice seedlings. **Euphytica**, Wageningen, v.129, n. 2, p.193-200, 2003.

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

KOBAYASHI, S.; FUKUTA, Y.; SATO, T.; OSAKI, M.; KHUSH, G. S. Molecular marker dissection of rice (*Oryza sativa* L.) plant architecture under temperate and tropical climates. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 107, n. 8, p. 1350-1356, 2003.

KOMATSU, S.; KARIBE, H.; HAMADA, T.; RAKWAL, R. Phosphorylation upon cold stress in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 98, n. 8, p.1304-1310, 1999.

LI, C.; RUTGER, J.N. Inheritance of cool temperature seedling vigor in rice and his relation with other agronomic characters. **Crop Science**, Madinson, v. 20, n. 3, p. 295-298, 1980.

LONG ZI, H.; YONGLI, Q.; GUILAN, C.; YUAN, Z.; YONGPIN, A.; JONGDOO, Y.; HEEJONG, K. QTL analysis on cold tolerance during early growth period in rice. **Chinese Journal of Rice Science**, Hangzhou, v.19, n. 2, p. 122-126, 2005.

LU, B.R. Taxonomy of the genus *Oryza* (Poaceae): historical perspective and current status. **International Rice Research Notes**, Manila, v. 24, n. 3, p. 4-8, 1999.

MACKILL, D.J.; LEI, X.M. Genetic variation for traits related to temperate adaptation of rice cultivars. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 4, p. 1340-1346, 1997.

MARASSI, J.; MARASSI, M.; CHATEL, M; BORRERO, J. Desarrollo de Poblaciones de Arroz en Argentina. In: GUIMARÃES, E.P. (Ed.). **Avances en el mejoramiento poblacional de arroz**. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA-Arroz e Feijão, 2000. p. 173-186

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: Importância e utilização. In: KRZYZANOWSKY, F.C.; VIERA, R.D.; NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, 1999. cap. 1, p. 1-20.

MATSUO, M. Origin and differentiation of cultivated rice. In: MATSUO, T.; FUSUHARA, Y.; KIKUCHI, F. YAMAGUCHI, H. (Eds.). **The Science of the Rice Plant, Volume Three, Genetics**, Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997. chap. 3, p. 69-88.

McKENZIE, K. S.; RUTGER, J. N.; PETERSON, M. L. Relation of seedling vigor to semidwarfism, early maturity, and pubescence in closely related rice lines. **Crop Science**, Madinson, v.20, n. 2, p.169-172, 1980.

McKERSIE, B.D. **Chilling stress**. Disponível em:
<<http://www.agronomy.psu.edu/Courses/AGRO518/CHILLING.htm>> Acesso em: 3 Jul. 2006.

MEJIA, O. **Identificación de metodologías para evaluación de tolerancia a temperaturas bajas en arroz (*Oryza sativa*)**. 1988. 123 p. Tese (Engenheiro Agrônomo) – Universidade Nacional de Colômbia, Palmira, 1988.

MEIRELLES, W. **Heterose e capacidade de combinação em arroz (*Oryza sativa* L.) de sequeiro**. 1989. 78 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

MIRANDA FILHO, J.B. **Cruzamentos dialélicos e síntese de compostos e milho (*Zea mays* L.) com ênfase na produtividade e no porte da planta**. 1974. 115 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.

MIRANDA FILHO, J.B.; VIEGAS, G.P. Milho híbrido. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Eds.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação CARGILL, 1987. vol. 1, p. 278-324.

MIRANDA FILHO, J.B.; GERALDI, I.O. An adapted model for the analysis of partial diallel crosses. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 7, n. 4, p. 677-688, 1984.

MIRANDA FILHO, J.B.; GORGULHO, E. P. Cruzamentos com testadores e dialelos. In: NASS, L.L.; VAOIS, A. C.; MELO, I.; VALADARES-INGLIS M. (Eds.). **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 650-671, 2001.

MOHAPATRA, K.; MOHANTY, H. Inheritance of some quantitative characters including heterosis in rice by combining ability analysis. In: INTERNATIONAL RICE GENETICS SYMPOSIUM, 1, 1985, Los Baños. **Proceedings...** Manila: IRRI, 1986. p. 579-591.

MORSY, M.; ABEER, M.; GIBBONS, J.; SONG, Y.; DE LOS REYES, B. The OsLti6 genes encoding low-molecular weight membrane proteins are differentially expressed in rice cultivars with contrasting sensitivity to low temperature. **Gene**, Amsterdam, v. 344, sn., p. 171-180, 2005.

MORAIS, O.P. **Análise multivariada da divergência genética dos progenitores, índices de seleção e seleção combinada numa população oriunda de inter cruzamentos, usando macho esterilidade**. 1992 251 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1992.

NAGAMINE, T. Genetic control of tolerance to chilling injury a seedlings stage in rice (*Oryza sativa* L.). **Japanese Journal of Breeding**, Tokio, v. 41, n. 1, p. 35-40, 1991.

NASS, L.L.; MIRANDA FILHO, J.B.; DOS SANTOS, M.X. Uso de germoplasma exótico no melhoramento. In: NASS, L.L.; VAOIS, A. C.; MELO, I.; VALADARES-INGLIS M. (Eds.). **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 102-121, 2001.

OKA, H. K.; MORISHIMA, H. Wild and cultivated rice. In: MATSUO, T.; FUSUHARA, Y.; KIKUCHI, F.; YAMAGUCHI, H. (Eds.). **The Science of the Rice Plant, Volume Three, Genetics**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997. chap. 3, p. 88-111.

OKUNO, K. Genetics and molecular biology research on cold tolerance of rice. In: INTERNATIONAL TEMPERATE RICE CONFERENCE, 3, 2003, Punta del Este. **Symposias and conferences....** Punta del Este: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuárias, 2003. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, A.C.; MORAIS, A.R.; SOUZA JÚNIOR, C.L.; GOMES, E.E. Análise de cruzamentos dialélicos parciais repetidos em vários ambientes. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.10, n.3, p. 517-533, 1987.

OLIVEIRA, H.T. **Climatologia das temperaturas mínimas e probabilidade de ocorrência de geada no estado do Rio Grande do Sul**. 1997. 81 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

PENG, S.; YANG, L.; LAZA, A.; SANICO, R.; VISPERAS, R.; SON, T. Physiological bases of heterosis and crop management strategies for hybrid rice in the tropics. In: VIRMANI, S.; MAO, C.; AND HARDY, B. (Eds.). **Hybrid rice for food security poverty alleviations and environmental protection**. Manila: The International Rice Research Institute, 2002. p. 153-172.

PRIYANKA, K.; MISHRA, S.B.; THAKUR, R. Genetic variability for germination and seedling growth in rice (*Oryza sativa* L.). **Annals of Agriculture Research**, New Deli, v. 21, n. 3 p. 331-334, 2000.

PULVER, E; MENEZES, V.G. Importância da radiação solar sobre produtividade de arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIAO DA CULTURA DO ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. **Anais...** Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 146-148.

REDOÑA, E.D.; MACKILL, D.J. Genetic variation for seedling vigor traits in rice. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 2, p. 285-290, 1996a.

REDOÑA, E. D.; MACKILL, D.J. Mapping quantitative trait loci for seedling vigor in rice using RFLPs. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 92, n. 3-4, p. 395-402, 1996b.

SATAKE, T.; TORIYAMA, K. Two extremely cool-tolerant varieties. **International Rice Research Notes**, Manila, n. 4, v. 2, p. 9-10, 1979.

SATAKE, T. Tolerance for environmental stress: Cold Tolerance. In: MATSUO, T.; FUSUHARA, Y.; KIKUCHI, F. AND YAMAGUCHI, H. (Eds.). **The Science of the Rice Plant: Genetics**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997. chap. 4, p. 534-550.

SANO, Y. Inheritance of sterility. In: MATSUO, T.; FUSUHARA, Y.; KIKUCHI, F. AND YAMAGUCHI, H. (Eds.). **The Science of the Rice Plant: Genetics**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997. chap. 3, p. 367-376.

SALAHUDDIN, A.B.; VERGARA, B.S. Criteria for screening rice cultivars resistant to low water temperature at seedling stage. **Sabao Journal**, Thailand, v. 6, n. 2, p. 151-156, 1974.

SARKARUNG, S. **A simplified crossing method for rice breeding**: A manual. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1991. 32 p.

SILVA D.; MILACH, S.; CRUZ, R.; LIMBERGER, E. Mapeamento de QTL's para a tolerância ao frio em arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 3.; REUNIAO DA CULTURA DE ARROZ IRRIGADO, 25., 2003, Balneário Camboriú. **Anais**. Itajaí: EPAGRI, 2003. p. 131-133.

SOUZA JUNIOR, C.L. **Componentes da Variância Genética e suas implicações no Melhoramento Vegetal**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1989. p. 134.

STHAPIT, B.R.; WITCOMBE J.R. Inheritance of tolerance to chilling stress in rice during germination and plumule greening. **Crop Science**, Madison v. 38, n. 3, p. 660-665, 1998.

STEIMEMETZ, S.; INFELD, J.A.; MALUF, J.R.; DE SOUZA, P.R.; BUENO, A.C. Zoneamento agroclimático do arroz irrigado no estado do Rio Grande do Sul: Recomendações de épocas de semeadura por município. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 49, n. 428, p. 1-12, 1996.

SUBBARAMAN, N.; RANGASAMY, S.R. Triple test cross analysis in rice. **Euphytica**, Wageningen, v. 42, n. 1-2, p. 35-40, 1989.

TAKAHASHI, N. Inheritance of seed germination and dormancy. In: MATSUO, T.; FUSUHARA, Y.; KIKUCHI, F.; YAMAGUCHI, H. (Eds.). **The Science of the Rice Plant, Volume Three, Genetics**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997. chap. 3, p. 348-359.

TERRES, A.L.; GALLI, J.; GASTAL, F. L. Cultivares. In: EMBRAPA - Clima Temperado. **Fundamentos para a cultura do arroz irrigado**. Campinas: Fundação CARGILL, 1985. cap. 5, p. 57-69.

TERRES, A.L. Melhoramento de arroz irrigado para tolerância ao frio no Rio Grande do Sul-Brasil. In: REUNIÓN SOBRE MEJORAMIENTO DE ARROZ EN EL CONO SUR, 1991, Goiania. **Trabajos...** Montevideo: IICA-Procisur, 1991. p. 91-103.

VENCOVSKY, R. **Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades**. 1970. 59 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (Eds.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação CARGILL, 1987. vol. 1, p. 148-211.

VERMA, O.P.; SRIVASTAVA, H.K. Genetic component and combining ability analysis in relation to heterosis for yield and associated traits using three diverse rice-growing ecosystems. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. 88, n. 2-3, p. 91-102, 2004.

VIRMANI, S.S. **Heterosis and hybrid rice breeding**. Berlin: Springer Verlag; Manila: The International Rice Research Institute, 1989. 189 p. (Monographs on Theoretical and Applied Genetics, 22).

VIRMANI, S.S.; SUN, Z.X.; MOU, T.M.; ALI, A.J.; MAO, C.X. **Two-Line hybrid rice breeding manual**. Los Baños: The International Rice Research Institute, 2003. 88 p.

XIAO, J.; YUAN, L.; TANKSLEY, S.D. Dominance as the major genetic basis of the heterosis in rice. In: RICE GENETICS SYMPOSIUM, 3, 1995, Manila. **Proceedings...** Manila: The International Rice Research Institute, 1996 p. 327-340.

XU, Y.; SHEN, Z. Diallel analysis of tiller number at different growth stages in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 83, n. 2, p. 243-249, 1991.

YANAGIHARA, S.; MCCOUCH, S.; ISHIKAWA, K.; OGI, Y.; MARUYAMA, K.; IKEHASHI, H. Molecular analysis of the inheritance of the S5 locus, conferring wide compatibility in Indica/Japônica hybrids of rice (*O. sativa*). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 90, n. 1, p.182-188, 1995.

YONEZAWA, K. Yield Components. In: MATSUO, T.; FUSUHARA, Y.; KIKUCHI, F. AND YAMAGUCHI, H. (Eds.). **The Science of the Rice Plant: Genetics**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997. chap. 3, p. 400 - 412.

YUAN, L. P. Recent progress in breeding super hybrid rice in China. In: VIRMANI, S.; MAO, C.; AND HARDY, B (Eds.). **Hybrid Rice for food security poverty alleviation, and environmental protection**. Manila: The International Rice Research Institute, 2003, p. 3-6.

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop science**. Los Baños: The International Rice Research Institute, 1981. p. 269

ZHANG, Z.H.; QU, Z.S.; WAN, S.; CHEN, L.H. Comparisons of QTL's controlling seedling vigor under different temperature conditions using recombinant inbred lines in rice (*Oryza sativa* L). **Annals of Botany**, Oxford, v. 95, n. 3, p. 423-429, 2005a.

ZHANG, Z.H.; LI, S.; LI, W.; CHEN, W.; ZU, Y.; A major QTL conferring cold tolerance at early seedling stage using recombinant inbred lines of rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Science**, Clare, v. 168, n. 2, p. 527-534, 2005b.

ANEXOS

Figura - 1 Panícula super-comprida obtida na geração F_3 do cruzamento 4x4' (FL6963)

Figura 2 – Diferenças fenotípicas entre materiais suscetíveis e tolerantes às baixas temperaturas avaliados em 12 °C no escuro e 16 °C em luz com fotoperíodo de 12 horas

Tabela 4 - Esquema da análise de variância individual num modelo de blocos casualizados, com efeitos de tratamentos fixos, e decomposição da soma de quadrados dos tratamentos

F.V	GL	QM	F
Blocos (B)	(K-1)	Q_3	Q_3/Q_1
Tratamentos (T)	(F-1)	Q_2	Q_2/Q_1
Genitores (G)	(I+J -1)	Q_{21}	Q_{21}/Q_1
Suscetíveis (G1)	(I -1)	Q_{211}	Q_{211}/Q_1
Tolerantes (G2)	(J -1)	Q_{212}	Q_{212}/Q_1
G1 vs G2	1	Q_{213}	Q_{213}/Q_1
Cruzamentos (C)	(IJ-1)	Q_{22}	Q_{22}/Q_1
Gen. vs. Cruz. (G vs C)	1	Q_{23}	Q_{23}/Q_1
Resíduo	(F - 1)(K -1)	Q_1	...
Total	FK - 1		

K, F, I, J referem-se ao número de repetições, tratamentos, genitores suscetíveis e genitores tolerantes, respectivamente

Tabela 5 - Esquema da análise de variância conjunta com decomposição da soma de quadrados dos tratamentos

FV	GL	QM	E(QM)	F
Experimentos (L)	(L-1)	Q ₁	$\sigma_e^2 + f\sigma_b^2 + fk\varphi_{exp}$	Q ₁ /Q ₂
Blocos/Experimentos (K/L)	L(K-1)	Q ₂	$\sigma_e^2 + f\sigma_b^2$	Q ₂ /Q ₅
Tratamentos (T)	(F -1)	Q ₃	$\sigma_e^2 + lk\varphi_t$	Q ₃ /Q ₅
Genitores (G)	(I+J -1)	Q ₃₁	$\sigma_e^2 + lk\varphi_g$	Q ₃₁ /Q ₅
Suscetíveis (G1)	(I - 1)	Q ₃₁₁	$\sigma_e^2 + lk\varphi_{g1}$	Q ₃₁₁ /Q ₅
Tolerantes (G2)	(J - 1)	Q ₃₁₂	$\sigma_e^2 + lk\varphi_{g2}$	Q ₃₁₂ /Q ₅
G1 vs G2	1	Q ₃₁₃		Q ₃₁₃ /Q ₅
Cruzamentos (C)	(IJ - 1)	Q ₃₂	$\sigma_e^2 + lk\varphi_h$	Q ₃₂ /Q ₅
Gen. vs Cruz. (G vs C)	1	Q ₃₃		Q ₃₃ /Q ₅
Exp x Tratamentos	(L-1)(F -1)	Q ₄	$\sigma_e^2 + k\varphi_{pt}$	Q ₄ /Q ₅
L x G	(L-1)(I+J-1)	Q ₄₁	$\sigma_e^2 + k\varphi_{pg}$	Q ₄₁ /Q ₅
L x G1	(L-1)(I - 1)	Q ₄₁₁	$\sigma_e^2 + k\varphi_{pg1}$	Q ₄₁₁ /Q ₅
L x G2	(L-1)(J - 1)	Q ₄₁₂	$\sigma_e^2 + k\varphi_{pg2}$	Q ₄₁₂ /Q ₅
L x (G1 vs. G2)	(L-1)(1)	Q ₄₁₃		Q ₄₁₃ /Q ₅
L x C	(L-1)(IJ-1)	Q ₄₂	$\sigma_e^2 + k\varphi_{ph}$	Q ₄₂ /Q ₅
L x (G vs C)	(L-1)(1)	Q ₄₃		Q ₄₃ /Q ₅
Resíduo	L(F -1)(K-1)	Q ₅	σ_e^2	...
Total	LFK-1			

L, K, F, I, J referem-se ao número de experimentos, repetições, tratamentos, genitores suscetíveis e genitores tolerantes, respectivamente

Tabela 6 - Esquema da análise de variância conjunta pelo método de Gardner e Eberhart (1966) adaptado para dialelos parciais, envolvendo i e j genitores e seus ij cruzamentos

FV	GL	CM	F
Tratamentos	(F-1)	Q_g	Q_g / Q_{res}
Variedades G1 (V_1)	(I - 1)	Q_{v1}	Q_{v1} / Q_{res}
Variedades G2 (V_2)	(J - 1)	Q_{v2}	Q_{v2} / Q_{res}
G1 vs G2 (d)	1	Q_d	Q_d / Q_{res}
Heterose (H)	(IJ)	----	---
Heterose media (HM)	1	Q_{hm}	Q_{hm} / Q_{res}
Het. Variedades G1 (HV_1)	(I - 1)	Q_{hv1}	Q_{hv1} / Q_{res}
Het. Variedades G2 (HV_2)	(J - 1)	Q_{hv2}	Q_{hv2} / Q_{res}
Het. específica (s)	(I - 1)(J - 1)	Q_s	Q_{sij} / Q_{res}
Experimentos x tratamentos	(L-1)(I+J+IJ - 1)	Q_{gxe}	Q_{gxe} / Q_{res}
Exp x V_1	(L-1)(I - 1)	Q_{exp*v1}	Q_{exp*v1} / Q_{res}
Exp x V_2	(L-1)(J - 1)	Q_{exp*v2}	Q_{exp*v2} / Q_{res}
Exp x d	(L-1)	Q_{exp*d}	Q_{exp*d} / Q_{res}
Exp x H	(L-1)(IJ)	----	---
Exp x HM	(L-1)(1)	Q_{exp*hm}	Q_{exp*hm} / Q_{res}
Exp x HV_1	(L-1)(I - 1)	$Q_{exp*hv1}$	$Q_{exp*hv1} / Q_{res}$
Exp x HV_2	(L-1)(J - 1)	$Q_{exp*hv2}$	$Q_{exp*hv2} / Q_{res}$
Exp x s	(L-1)(I-1)(J-1)	Q_{exp*s}	Q_{exp*s} / Q_{res}
Resíduo médio	$\sum_l glres_i$	Q_{res}	

L, K, F, I, J referem-se ao número de experimentos, blocos, tratamentos, genitores suscetíveis e genitores tolerantes, respectivamente.

$\sum_l glres_i$ é a somatória dos graus de liberdade através dos L experimentos

Tabela 7 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise de variância, média geral, média dos cruzamentos, média dos genitores e coeficiente de variação experimental (CV%) do experimento 1, para os caracteres agrônômicos

FV	GL	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
Blocos (B)	3	68,45**	108,79**	270,54**	5,33**	2.408,37**	12,58*	1,26 ^{ns}
Tratamentos (T)	54	400,50**	150,20**	305,25**	13,95**	3.072,76**	2.174,67**	17,65**
Genitores (G)	12	779,34**	215,87**	280,54**	21,42**	3.023,21**	186,08**	7,84**
Suscetíveis (G1)	5	351,07**	130,03**	325,74**	9,86**	551,13*	111,47**	8,96**
Tolerantes (G2)	6	349,37**	186,85**	231,35**	15,97**	5.502,94**	247,54**	5,67**
G1 vs G2	1	5.500,53**	819,22**	349,76**	111,92**	505,20 ^{ns}	190,36*	15,21**
Cruzamentos (C)	41	220,25**	101,46**	267,71**	9,44**	2.938,09**	1.964,56**	11,09**
Genitores vs Cruz.	1	3.244,97**	1.360,32**	2.140,79**	109,37**	9.188,73**	34.652,02**	404,46**
Erro	162	3,87	21,12	8,20	0,59	186,59	35,29	0,51
Total	219							
CV (%)		2,27	14,22	2,69	3,19	8,68	12,58	2,61
Media geral		86,65	32,32	106,37	24,18	157,31	47,23	27,40
Media cruzamentos		84,52	33,70	108,11	24,58	160,91	54,21	28,15
Media genitores		93,55	27,85	100,77	22,94	145,69	24,67	24,96

**, *, ns = significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste F

DF=dias para florescimento (dias), NP=número de perfilhos (perfilhos/planta), AP=altura da planta (cm.), CP=comprimento da panícula (cm.), NG=número de grãos por panícula (grãos/panícula), PE= porcentagem de esterilidade (%), PG= peso de 1.000 grãos (gr.).

Tabela 8 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise de variância, média geral, média dos cruzamentos, média dos genitores e coeficiente de variação experimental (CV%) do experimento 2, para os caracteres agrônômicos

FV	GL	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
Blocos (B)	3	28,93**	117,38**	37,42**	18,66**	11.321,76**	470,36**	6,19**
Tratamentos (T)	54	402,10**	55,60**	313,88**	15,32**	4.566,15**	2.001,58**	19,48**
Genitores (G)	12	741,27**	45,95**	142,07**	19,15**	7.815,67**	344,98**	16,30**
Suscetíveis (G1)	5	330,84**	23,19*	119,29**	19,61**	2.993,29**	88,58*	13,74**
Tolerantes (G2)	6	370,25**	57,92**	183,48**	8,34**	11.749,00**	594,01**	20,62**
G1 vs G2	1	5.019,56**	87,90**	7,53 ^{ns}	81,64**	8.327,57**	132,81*	3,19**
Cruzamentos (C)	41	254,99**	46,67**	333,31**	10,00**	3.388,85**	1.821,04**	11,31**
Genitores vs Cruz.	1	2.363,66**	537,56**	1.579,02**	187,34**	13.841,36**	29.282,78**	392,87**
Erro	162	3,32	9,82	7,09	0,85	322,40	30,06	0,87
Total	219							
CV (%)		2,07	12,41	2,71	3,63	9,52	10,57	3,41
Media geral		88,20	25,26	98,08	25,32	188,56	51,88	27,42
Media cruzamentos		86,38	26,13	99,57	25,84	192,97	58,30	28,16
Media genitores		94,10	22,45	93,26	23,67	174,30	31,14	25,02

** , * , ns = significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste F

DF=dias para florescimento (dias), NP=número de perfilhos (perfilhos/planta), AP=altura da planta (cm.), CP=comprimento da panícula (cm.), NG=número de grãos por panícula (grãos/panícula), PE= porcentagem de esterilidade (%), PG= peso de 1.000 grãos (gr.).

Tabela 9 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise de variância conjunta, média geral, e coeficiente de variação experimental (CV%) para os caracteres agrônômicos

FV	GL	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
Experimento (L)	1	264,28 ^{ns}	5.470,38**	7.565,29**	144,00*	107.378,13**	2.380,80**	0,06 ^{ns}
Blocos/Experimentos	6	48,69**	113,08**	153,98**	11,94**	6.865,06**	241,47**	3,73**
Tratamentos (T)	54	781,38**	162,94**	581,92**	27,18**	6.283,77**	4.072,74**	34,39**
Genitores (G)	12	1.515,01**	220,58**	360,52**	36,32**	9.116,37**	435,25**	18,17**
Suscetíveis (G1)	5	676,09**	123,32**	370,44**	21,14**	2.018,00**	183,57**	19,25**
Tolerantes (G2)	6	714,18**	218,08**	374,01**	22,93**	15.473,15**	717,10**	19,92**
G1 vs G2	1	10.514,59**	721,90**	229,98**	192,52**	6.467,51**	2,58 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Cruzamentos (C)	41	449,77**	106,04**	570,71**	18,03**	5.052,06**	3.680,07**	20,54**
Gen. vs Cruz. (G vs C)	1	5.573,79**	1.804,06**	3.698,48**	292,31**	22.792,66**	63.821,87*	797,27**
L x T	54	21,23**	42,85**	37,21**	2,11**	1.355,14**	103,51**	2,74**
L x G	12	5,60 ^{ns}	41,24**	62,10**	4,20**	1.722,51**	95,80**	5,97**
L x G1	5	29,10 ^{ns}	29,90 ^{ns}	9,76**	8,23**	1.526,41**	16,48 ^{ns}	3,46**
L x G2	6	32,61 ^{ns}	26,69 ^{ns}	5,34**	1,35 ^{ns}	1.778,79**	124,44**	6,37**
L x (G1 vs. G2)	1	5,50 ^{ns}	185,22**	16,66**	1,20**	2.365,27**	320,59**	16,16**
L x C	41	25,47**	42,08**	30,31**	1,42**	1.274,87**	105,54**	1,86**
L x (G vs C)	1	34,84**	93,81*	21,33 ^{ns}	5,10**	237,43 ^{ns}	112,93 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Resíduo	324	3,59	15,47	7,64	0,72	254,49	32,68	0,69
Total	439							
CV (%)		2,17	13,66	2,70	3,43	9,22	11,53	3,04
Média geral		87,43	28,79	102,23	24,75	172,93	49,56	27,41

**, *, ns = significativo 1%; significativo 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste F

DF=dias para florescimento (dias), NP=número de perfilhos (perfilhos/planta), AP=altura da planta (cm.), CP=comprimento da panícula (cm.), NG=número de grãos por panícula (grãos/panícula), PE= porcentagem de esterilidade (%), PG= peso de 1.000 grãos (gr.).

Tabela 10 - Valores médios (quatro repetições) dos caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) obtidos no experimento 1

(continua)

Genótipos	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
1	93,0	37,5	91,5	23,2	132,5	26,2	24,0
2	106,5	28,9	108,8	23,3	153,2	21,7	23,9
3	94,0	40,7	92,8	23,6	145,9	14,9	23,3
4	109,0	31,6	106,9	26,3	164,4	21,8	23,6
5	108,5	26,5	112,0	26,7	140,5	30,5	27,4
6	117,0	27,8	109,6	23,9	157,8	20,6	24,0
Média G1 (i)	104,7	32,1	103,6	24,5	149,0	22,6	24,4
1'	77,0	19,9	112,6	23,0	130,8	18,0	26,4
2'	76,3	18,8	94,8	18,7	133,2	19,0	25,1
3'	73,0	20,3	91,1	19,3	94,4	23,3	25,9
4'	86,0	19,1	100,8	24,1	216,2	26,0	24,3
5'	95,0	23,9	90,1	21,2	139,4	37,8	26,8
6'	97,0	36,2	100,5	21,5	154,8	36,5	26,2
7'	84,0	31,1	98,8	23,0	131,0	24,5	23,5
Média G2 (j)	84,0	24,2	98,4	21,6	142,8	26,4	25,5
1 x 1'	73,8	46,0	111,5	24,4	129,4	79,4	28,1
1 x 2'	74,3	36,8	107,4	23,4	140,7	67,8	27,6
1 x 3'	74,0	36,4	103,1	22,7	99,8	58,4	29,6
1 x 4'	80,5	43,4	105,7	25,4	159,8	72,2	27,5
1 x 5'	86,5	35,9	94,1	22,5	138,1	70,9	27,7
1 x 6'	90,8	35,5	94,4	23,1	143,9	50,0	26,3
1 x 7'	81,0	34,6	94,5	22,7	130,9	62,5	25,2
2 x 1'	74,5	37,6	113,9	25,3	178,0	85,6	29,2
2 x 2'	79,5	36,3	111,2	23,1	176,5	69,6	25,6
2 x 3'	74,0	37,3	108,0	23,7	132,7	74,5	29,2
2 x 4'	88,5	28,3	107,2	25,3	181,9	45,4	27,6
2 x 5'	95,0	31,7	99,2	21,9	155,4	47,2	29,5
2 x 6'	93,0	33,4	100,3	23,1	169,9	35,8	28,7
2 x 7'	84,8	39,8	98,9	22,8	137,7	41,1	26,8

Tabela 10 - Valores médios (quatro repetições) dos caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) obtidos no experimento 1

(conclusão)

Genótipos	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
3 x 1'	84,8	38,0	125,0	27,1	217,0	63,8	28,2
3 x 2'	83,3	34,0	114,7	23,6	189,0	53,3	25,7
3 x 3'	82,3	36,6	118,5	24,9	146,8	71,2	30,3
3 x 4'	87,0	32,8	117,9	27,3	186,2	24,6	28,3
3 x 5'	95,5	37,0	99,7	23,6	152,9	23,7	27,4
3 x 6'	97,5	35,6	99,2	23,6	144,2	27,4	26,7
3 x 7'	92,0	34,7	106,3	24,3	160,1	14,4	24,7
4 x 1'	74,5	42,4	117,8	26,2	177,6	90,6	29,7
4 x 2'	75,0	38,7	113,0	23,6	167,8	79,7	25,8
4 x 3'	74,0	37,7	110,6	24,1	112,7	82,8	29,5
4 x 4'	84,3	29,5	116,3	27,4	186,6	32,1	28,3
4 x 5'	85,5	33,0	100,0	23,9	147,4	78,5	28,1
4 x 6'	82,8	39,8	96,2	23,4	145,3	35,2	27,1
4 x 7'	78,5	31,7	100,2	23,1	125,5	33,0	25,9
5 x 1'	77,5	27,8	121,3	27,3	175,3	72,2	31,7
5 x 2'	83,8	28,9	111,1	25,2	165,5	57,1	28,6
5 x 3'	76,8	24,6	108,3	25,2	136,8	53,5	29,4
5 x 4'	83,5	23,9	113,7	28,4	177,4	42,0	30,6
5 x 5'	92,5	31,4	103,9	25,3	158,2	31,6	30,3
5 x 6'	92,0	29,1	103,5	25,3	164,1	20,1	29,6
5 x 7'	92,5	25,5	109,9	25,7	153,1	17,6	26,1
6 x 1'	86,5	28,0	122,5	25,7	194,7	86,7	29,8
6 x 2'	82,3	31,6	119,9	24,8	238,6	79,1	28,6
6 x 3'	85,3	31,2	110,2	24,2	152,7	78,4	28,9
6 x 4'	85,5	29,3	116,6	24,1	208,0	65,7	29,1
6 x 5'	98,0	28,1	102,7	23,9	162,8	39,7	30,6
6 x 6'	99,5	32,5	106,8	24,2	170,1	29,2	28,4
6 x 7'	87,5	29,5	106,5	24,8	167,3	33,4	26,4
Média cruz. (ij)	84,5	33,7	108,1	24,6	160,9	54,2	28,2
DMS (0,05)	2,75	6,42	3,99	1,08	19,07	8,29	1,00

1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108

1'= Quilla 145601 2'= Quilla 173201; 3'=CT6748; 4'= L201; 5'=FL04423; 6'= FL04402; 7'=FL04452

Tabela 11 - Valores médios (quatro repetições) dos caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) obtidos no experimento 2

(continua)

Genótipos	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
1	93,0	25,6	86,5	25,8	178,6	36,8	23,5
2	109,0	22,1	94,5	21,4	170,8	34,1	25,2
3	93,5	26,3	89,2	26,9	225,9	29,2	23,1
4	109,5	25,9	102,3	26,8	218,7	31,4	25,6
5	109,0	20,5	95,0	26,1	174,0	39,1	27,8
6	114,3	22,8	94,7	23,3	160,0	26,6	27,1
Média G1 (i)	104,7	23,9	93,7	25,0	188,0	32,9	25,4
1'	77,3	20,5	103,9	23,1	123,2	15,5	25,9
2'	77,3	19,2	93,3	20,8	123,7	20,1	20,5
3'	72,3	18,0	92,8	20,5	90,6	23,3	26,4
4'	89,0	19,6	97,7	24,4	234,9	23,7	24,0
5'	96,8	19,0	82,0	23,3	197,8	47,9	27,1
6'	95,8	28,9	90,4	22,1	215,4	34,5	25,9
7'	86,8	23,6	90,3	23,4	152,5	42,6	23,6
Média G2 (j)	85,0	21,3	92,9	22,5	162,6	29,7	24,8
1 x 1'	71,8	27,7	92,4	24,8	150,7	84,4	29,2
1 x 2'	74,0	24,9	102,4	24,3	169,8	64,2	27,6
1 x 3'	71,5	27,4	94,1	24,2	121,5	61,8	30,1
1 x 4'	84,3	28,0	93,3	26,8	175,0	86,4	28,3
1 x 5'	93,3	28,4	82,2	24,5	184,5	77,5	28,5
1 x 6'	91,0	34,3	83,4	25,1	206,2	35,7	25,7
1 x 7'	85,0	28,6	83,2	24,2	171,8	70,4	26,1
2 x 1'	79,8	27,1	104,6	25,7	182,6	90,4	29,2
2 x 2'	78,0	22,6	106,0	24,3	169,3	78,2	28,4
2 x 3'	79,8	27,5	103,4	24,2	151,1	74,6	28,2
2 x 4'	86,8	23,4	101,0	26,1	207,5	54,9	28,5
2 x 5'	92,3	28,2	91,7	24,0	191,1	52,7	29,8
2 x 6'	93,8	29,6	91,8	23,4	213,3	34,0	26,6
2 x 7'	91,3	24,6	89,2	24,0	169,0	42,2	25,3
3 x 1'	85,2	27,6	113,3	27,7	206,1	71,7	29,5
3 x 2'	87,0	23,2	113,1	25,6	231,0	49,6	25,9

Tabela 11 - Valores médios (quatro repetições) dos caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG) obtidos no experimento 2

(conclusão)

Genótipos	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
3 x 3'	83,3	30,1	106,7	25,9	154,5	54,5	28,7
3 x 4'	92,5	23,7	109,2	28,7	220,0	29,7	28,5
3 x 5'	98,5	24,4	94,5	25,1	187,7	31,2	27,5
3 x 6'	99,0	30,8	93,9	24,6	231,0	32,4	24,9
3 x 7'	92,3	29,4	96,4	25,8	210,8	30,1	25,2
4 x 1'	75,0	28,3	108,4	27,2	192,3	95,8	29,8
4 x 2'	73,8	23,6	107,4	25,8	235,1	84,3	26,9
4 x 3'	70,3	32,5	99,8	25,1	121,7	85,3	29,1
4 x 4'	85,3	21,9	108,0	29,0	242,8	36,5	28,0
4 x 5'	93,3	24,1	87,3	26,3	210,6	85,5	28,7
4 x 6'	91,3	33,2	86,9	25,1	216,3	47,0	26,8
4 x 7'	85,3	29,4	92,1	25,8	193,6	39,4	25,7
5 x 1'	80,3	22,1	106,5	27,5	160,7	77,1	31,6
5 x 2'	79,0	22,9	111,3	25,1	185,4	47,3	29,2
5 x 3'	82,3	28,0	108,6	26,6	159,2	53,7	30,0
5 x 4'	88,3	20,6	108,6	29,5	215,2	57,3	30,8
5 x 5'	94,0	20,9	91,2	26,9	197,1	31,7	29,3
5 x 6'	95,5	27,7	95,0	26,8	215,0	36,4	28,6
5 x 7'	91,8	23,8	98,4	27,0	216,5	32,1	26,4
6 x 1'	82,5	24,8	111,0	28,2	208,0	87,2	29,8
6 x 2'	83,5	21,5	116,0	24,6	202,1	75,8	28,0
6 x 3'	86,5	25,7	107,0	27,0	180,4	77,9	29,9
6 x 4'	89,3	21,4	106,3	28,6	236,7	78,8	29,2
6 x 5'	95,5	25,1	94,8	26,3	215,3	46,4	30,5
6 x 6'	99,5	25,1	96,2	22,9	206,3	29,2	26,4
6 x 7'	96,3	24,2	96,5	25,0	190,6	37,2	26,8
Média cruz. (ij)	86,4	26,1	99,6	25,8	193,0	58,3	28,2
DMS (0,05)	2,54	4,38	3,71	1,28	25,07	7,66	1,31

1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108

1'= Quilla 145601 2'= Quilla 173201; 3'=CT6748; 4'= L201; 5'=FL04423; 6'= FL04402; 7'=FL04452

Tabela 12 - Correlações entre as médias dos caracteres agrônômicos obtidas nos experimentos 1 e 2

Variável	Correlação
DF	0,95**
NP	0,66**
AP	0,88**
CP	0,83**
NG	0,66**
PE	0,95**
PG	0,85**

** Coeficiente de correlação de Pearson significativo a 1%

DF=dias para florescimento (dias), NP=número de perfilhos (perfilhos/planta), AP=altura da planta (cm.), CP=comprimento da panícula (cm.), NG=número de grãos por panícula (grãos/panícula), PE=porcentagem de esterilidade (%), PG= peso de 1.000 grãos (gr.)

Tabela 13 - Valores médios (oito repetições) dos dois experimentos para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

(continua)

Genótipos	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
1	93,0	31,5	89,0	24,5	155,5	31,5	23,8
2	107,8	25,5	101,6	22,4	162,0	27,9	24,6
3	93,8	33,5	91,0	25,2	185,9	22,1	23,2
4	109,3	28,7	104,6	26,5	191,5	26,6	24,6
5	108,8	23,5	103,5	26,4	157,3	34,8	27,6
6	115,6	25,3	102,1	23,6	158,9	23,6	25,5
Média G1 (i)	104,7	28,0	98,6	24,8	168,5	27,7	24,8
1'	77,1	20,2	108,2	23,1	127,0	16,8	26,1
2'	76,8	19,0	94,1	19,8	128,4	19,6	22,8
3'	72,6	19,1	92,0	19,9	92,5	23,3	26,2
4'	87,5	19,4	99,2	24,3	225,5	24,9	24,2
5'	95,9	21,4	86,0	22,2	168,6	42,9	26,9
6'	96,4	32,6	95,4	21,8	185,1	35,5	26,1
7'	85,4	27,3	94,5	23,2	141,7	33,5	23,6
Média G2 (j)	84,5	22,7	95,6	22,0	152,7	28,1	25,1
1 x 1'	72,8	36,8	101,9	24,5	140,0	81,9	28,7
1 x 2'	74,1	30,9	104,9	23,8	155,2	66,0	27,6
1 x 3'	72,8	31,9	98,6	23,5	110,7	60,1	29,8
1 x 4'	82,4	35,7	99,5	26,1	167,4	79,3	27,9
1 x 5'	89,9	32,1	88,1	23,5	161,2	74,2	28,1
1 x 6'	90,9	34,9	88,9	24,1	175,1	42,9	26,0
1 x 7'	83,0	31,6	88,8	23,5	151,3	66,4	25,7
2 x 1'	77,1	32,4	109,3	25,5	180,3	88,0	29,2
2 x 2'	78,8	29,4	108,6	23,7	172,8	73,9	27,0
2 x 3'	76,9	32,4	105,7	23,9	141,9	74,5	28,7
2 x 4'	87,6	25,8	104,1	25,7	194,7	50,2	28,0
2 x 5'	93,6	29,9	95,4	23,0	173,3	50,0	29,7
2 x 6'	93,4	31,5	96,0	23,2	191,6	34,9	27,6
2 x 7'	88,0	32,2	94,0	23,4	153,3	41,6	26,1
3 x 1'	85,0	32,8	119,1	27,4	211,5	67,8	28,8
3 x 2'	85,1	28,6	113,9	24,6	210,0	51,4	25,8

Tabela 13 - Valores médios (oito repetições) dos dois experimentos para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

(conclusão)

Genótipos	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
3 x 3'	82,8	33,3	112,8	25,4	150,7	62,8	29,5
3 x 4'	89,8	28,2	113,5	28,0	203,1	27,1	28,4
3 x 5'	97,0	30,7	97,1	24,4	170,3	27,5	27,5
3 x 6'	98,3	33,2	96,5	24,1	187,6	29,9	25,8
3 x 7'	92,1	32,0	101,3	25,1	185,5	22,2	24,9
4 x 1'	74,8	35,4	113,1	26,7	184,9	93,2	29,8
4 x 2'	74,4	31,2	110,2	24,7	201,5	82,0	26,3
4 x 3'	72,1	35,1	105,2	24,6	117,2	84,1	29,3
4 x 4'	84,8	25,7	112,1	28,2	214,7	34,3	28,1
4 x 5'	89,4	28,5	93,7	25,1	179,0	82,0	28,4
4 x 6'	87,0	36,5	91,5	24,3	180,8	41,1	27,0
4 x 7'	81,9	30,6	96,1	24,4	159,5	36,2	25,8
5 x 1'	78,9	25,0	113,9	27,4	168,0	74,7	31,7
5 x 2'	81,4	25,9	111,2	25,2	175,4	52,2	28,9
5 x 3'	79,5	26,3	108,4	25,9	148,0	53,6	29,7
5 x 4'	85,9	22,2	111,2	28,9	196,3	49,6	30,7
5 x 5'	93,3	26,2	97,5	26,1	177,7	31,7	29,8
5 x 6'	93,8	28,4	99,2	26,1	189,5	28,3	29,1
5 x 7'	92,1	24,6	104,1	26,3	184,8	24,8	26,3
6 x 1'	84,5	26,4	116,7	27,0	201,3	86,9	29,8
6 x 2'	82,9	26,5	117,2	24,7	220,3	77,5	28,3
6 x 3'	85,9	28,5	108,6	25,6	166,5	78,1	29,4
6 x 4'	87,4	25,3	111,5	27,8	222,3	72,2	29,1
6 x 5'	96,8	26,6	98,7	25,1	189,0	43,1	30,6
6 x 6'	99,5	28,8	101,5	23,6	188,2	29,2	27,4
6 x 7'	91,9	26,9	101,5	24,9	179,0	35,3	26,6
Média cruz. (ij)	85,5	29,9	103,4	25,2	176,9	56,3	28,2
DMS (0,05)	1,86	3,87	2,72	0,84	15,69	5,62	0,82

1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108 (6) 1'= Quilla 145601
2'= Quilla 173201; 3'=CT6748; 4'= L201; 5'=FL04423; 6'= FL04402; 7'=FL04452

Tabela 14 - Valores da heterose (%) em relação à média dos genitores para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

(continua)

Cruzamento	DF	NP	AP	CP	NG	PG
1 x 1'	-14,47**	42,39**	3,37 ^{ns}	3,10 ^{ns}	-0,88 ^{ns}	14,83**
1 x 2'	-12,67**	22,08 ^{ns}	14,58**	7,72**	9,36 ^{ns}	18,37**
1 x 3'	-12,15**	25,91*	8,93**	5,78 ^{ns}	-10,76 ^{ns}	19,54**
1 x 4'	-8,73**	40,42**	5,76*	6,83*	-12,15 ^{ns}	16,53**
1 x 5'	-4,83**	21,34 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,55 ^{ns}	-0,50 ^{ns}	10,84**
1 x 6'	-4,03**	8,86 ^{ns}	-3,61 ^{ns}	4,14 ^{ns}	2,78 ^{ns}	4,42 ^{ns}
1 x 7'	-6,94**	7,31 ^{ns}	-3,18 ^{ns}	-1,61 ^{ns}	1,81 ^{ns}	8,35**
2 x 1'	-16,57**	41,58**	4,12 ^{ns}	12,14**	24,78**	14,95**
2 x 2'	-14,63**	32,21*	10,95**	12,67**	19,06*	13,91**
2 x 3'	-14,76**	45,24**	9,19**	13,31**	11,52 ^{ns}	13,16**
2 x 4'	-10,24**	15,16 ^{ns}	3,61 ^{ns}	10,06**	0,46 ^{ns}	14,97**
2 x 5'	-8,04**	27,53 ^{ns}	1,71 ^{ns}	2,97 ^{ns}	4,81 ^{ns}	15,10**
2 x 6'	-8,51**	8,44 ^{ns}	-2,56 ^{ns}	5,13 ^{ns}	10,38 ^{ns}	9,08**
2 x 7'	-8,87**	21,97 ^{ns}	-4,15 ^{ns}	2,84 ^{ns}	0,96 ^{ns}	8,32**
3 x 1'	-0,51 ^{ns}	22,12 ^{ns}	19,60**	13,41**	35,22**	16,86**
3 x 2'	-0,15 ^{ns}	8,88 ^{ns}	23,07**	9,32**	33,63**	12,25**
3 x 3'	-0,53 ^{ns}	26,68*	23,07**	12,57**	8,25 ^{ns}	19,39**
3 x 4'	-0,97 ^{ns}	6,86 ^{ns}	19,37**	13,05**	-1,27 ^{ns}	19,89**
3 x 5'	2,31 ^{ns}	11,81 ^{ns}	9,68**	2,60 ^{ns}	-3,91 ^{ns}	9,52**
3 x 6'	3,35 ^{ns}	0,57 ^{ns}	3,57 ^{ns}	2,42 ^{ns}	1,12 ^{ns}	4,60 ^{ns}
3 x 7'	2,86 ^{ns}	5,39 ^{ns}	9,26**	3,58 ^{ns}	13,22 ^{ns}	6,57*
4 x 1'	-19,79**	44,51**	6,31**	7,75**	16,12 ^{ns}	17,99**
4 x 2'	-20,03**	30,50*	10,93**	6,78*	25,94**	11,74**
4 x 3'	-20,69**	46,67*	7,01**	6,07 ^{ns}	-17,47 ^{ns}	16,08**

Tabela 14 - Valores da heterose (%) em relação à média dos genitores para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

Cruzamento	DF	NP	AP	CP	(conclusão)	
					NG	PG
4 x 4'	-13,85**	6,93 ^{ns}	10,06**	11,01**	2,95 ^{ns}	16,07**
4 x 5'	-12,86**	13,66 ^{ns}	-1,73 ^{ns}	3,01 ^{ns}	-0,60 ^{ns}	10,70**
4 x 6'	-15,38**	19,05 ^{ns}	-8,49**	0,37 ^{ns}	-4,00 ^{ns}	7,00*
4 x 7'	-15,86**	9,06 ^{ns}	-3,45 ^{ns}	-1,74 ^{ns}	-4,27 ^{ns}	7,73**
5 x 1'	-15,13**	14,25 ^{ns}	7,61**	10,82**	18,21 ^{ns}	17,98**
5 x 2'	-12,26**	21,80 ^{ns}	12,54**	9,20**	22,82*	14,65**
5 x 3'	-12,34**	23,32 ^{ns}	10,95**	11,86**	18,51 ^{ns}	10,55**
5 x 4'	-12,48**	3,79 ^{ns}	9,67**	14,26**	2,56 ^{ns}	18,66**
5 x 5'	-8,86**	16,48 ^{ns}	2,92 ^{ns}	7,25*	9,04 ^{ns}	9,30**
5 x 6'	-8,59**	1,29 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	8,24**	10,72 ^{ns}	8,46**
5 x 7'	-5,09**	-3,00 ^{ns}	5,15*	6,26*	23,62*	2,69 ^{ns}
6 x 1'	-12,32**	16,11 ^{ns}	10,96**	15,66**	40,84**	15,39**
6 x 2'	-13,84**	19,67 ^{ns}	20,23**	14,02**	53,37**	17,04**
6 x 3'	-8,76**	28,12 ^{ns}	11,88**	17,82**	32,48**	13,88**
6 x 4'	-13,97**	13,50 ^{ns}	10,70**	16,32**	15,66*	17,19**
6 x 5'	-8,51**	13,92 ^{ns}	4,90 ^{ns}	9,59**	15,44 ^{ns}	16,43**
6 x 6'	-6,13**	-0,48 ^{ns}	2,71 ^{ns}	3,83 ^{ns}	9,41 ^{ns}	6,09*
6 x 7'	-8,58**	2,14 ^{ns}	3,23 ^{ns}	6,58*	19,04*	8,13**
Media	-9,63	18,67	6,93	7,80	10,91	11,04

**, *, ^{ns} Significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo respectivamente, segundo o teste t
1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108 (6)

1'= Quilla 145601 2'= Quilla 173201; 3'=CT6748; 4'= L201; 5'=FL04423; 6'= FL04402; 7'=FL04452

Tabela 15 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise dialélica conjunta pelo método de Gardner e Eberhart (1966) adaptado para dialelos parciais, para os caracteres agrônômicos

FV	GL	Quadrados Médios						
		DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
Genótipos	54	195,34**	40,74**	145,48**	6,79**	1.570,94**	1.018,94**	8,60**
Variedades G1 (V ₁)	5	247,48**	141,83**	293,68**	15,53**	2.578,57**	1051,32**	13,62**
Variedades G2 (V ₂)	6	694,70**	66,69**	598,86**	19,47**	7.346,77**	1.626,24**	22,65**
G1 vs G2 (d)	1	2.366,16**	219,99**	92,37**	56,20**	2.042,78**	59,22**	0,04 ^{ns}
Heterose (H)	42	66,12**	20,72**	64,33**	2,77**	614,63**	950,21**	6,20**
Heterose media (HM)	1	1.655,93**	411,49**	889,75**	65,00**	5.272,27**	15.896,90**	199,84**
Het. variedades G1 (HV ₁)	5	161,60**	18,21**	103,27**	2,49**	1.087,91**	585,91**	0,08 ^{ns}
Het. variedades G2 (HV ₂)	6	24,58**	26,14**	169,82**	4,09**	1.031,84**	2.166,97**	5,75**
Het. específica (s)	30	5,52**	7,03**	9,24**	0,47**	297,06*	269,35**	0,85**
Experimentos x genótipos	54	5,31**	10,71**	9,30**	0,53**	338,78**	25,88**	0,69**
Exp x V ₁	5	1,69 ^{ns}	20,62**	5,23*	1,34**	659,01**	5,50 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Exp x V ₂	6	6,46**	5,88 ^{ns}	30,38**	0,61**	1.450,07**	63,40**	0,77**
Exp x d	1	0,94 ^{ns}	50,62**	33,46**	0,22 ^{ns}	614,06**	73,53**	4,00**
Exp x H	42	5,68**	9,27**	6,20**	0,43**	135,35**	21,81**	0,65**
Exp x HM	1	9,14**	19,13*	3,70 ^{ns}	1,35**	36,62 ^{ns}	34,85**	0,06 ^{ns}
Exp x HV ₁	5	0,89 ^{ns}	5,49 ^{ns}	21,80**	1,06**	119,81 ^{ns}	6,58 ^{ns}	0,88**
Exp x HV ₂	6	2,30*	20,88**	4,55*	0,22 ^{ns}	89,57 ^{ns}	28,96**	2,02**
Exp x s	30	7,04**	7,26**	4,01**	0,33**	150,39**	22,48**	0,36**
Resíduo médio	324	0,90	3,87	1,91	0,18	63,62	8,17	0,17

** , * , ns = significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo respectivamente, pelo teste F

DF=dias para florescimento (dias), NP=número de perfilhos (perfilhos/planta), AP=altura da planta (cm.), CP=comprimento da panícula (cm.), NG=número de grãos por panícula (grãos/panícula), PE= porcentagem de esterilidade (%), PG= peso de 1.000 grãos (gr.).

Tabela 16 - Estimativas dos efeitos da média das médias dos grupos de genitores (μ), diferença entre os grupos de genitores (d), e heterose média ($\bar{h}$) para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

Caráter / Parâmetro	μ	$\hat{d}$	$\hat{h}$
DF	94,60	10,09**	-9,15**
NP	25,35	2,64**	4,56**
AP	97,13	1,49**	6,71**
CP	23,39	1,36**	1,81**
NG	160,60	7,91**	16,33**
PE	27,90	-0,16 ^{ns}	28,36**
PG	24,98	-0,15 ^{ns}	3,18**

**, ns = significativo a 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

Tabela 17 - Estimativas dos efeitos de variedades (v_i e v_j) e da heterose de variedades (h_i e h_j) associadas aos grupos 1 e 2, respectivamente, para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP) e comprimento da panícula (CP)

Grupos	DF		NP		AP		CP	
	$\hat{v}$	$\hat{h}$	$\hat{v}$	$\hat{h}$	$\hat{v}$	$\hat{h}$	$\hat{v}$	$\hat{h}$
<u>Grupo 1 (i)</u>								
1. L3000	-11,69**	1,22**	3,53**	1,72*	-9,65**	-3,21**	-0,26 ^{ns}	-0,94**
2. Oryzica 1	3,06**	-1,93**	-2,50 ^{ns}	1,85*	3,00**	-3,49**	-2,40**	0,05 ^{ns}
3. Irga 417	-10,94**	10,02**	5,48**	-1,40 ^{ns}	-7,65**	7,70**	0,48 ^{ns}	0,11 ^{ns}
4. Irga 410	4,56**	-7,12**	0,73 ^{ns}	1,55 ^{ns}	5,93**	-3,69**	1,76**	-0,66**
5. FL03188	4,06**	-1,09**	-4,52**	-2,16**	4,85**	0,23 ^{ns}	1,61**	0,54**
6. Epagri 108	10,94**	-1,10**	-2,72*	-1,57*	3,50**	2,45**	-1,20**	0,91**
<u>Grupo 2 (j)</u>								
1'. Quilla 145601	-7,39**	-2,92**	-2,51 ^{ns}	2,78**	12,59**	2,20**	1,02**	0,68**
2'. Quilla 173201	-7,77**	-2,13**	-3,70**	0,66 ^{ns}	-1,59 ^{ns}	8,04**	-2,27**	0,39*
3'. CT6748	-11,89**	-1,19**	-3,57**	3,11**	-3,67**	4,49**	-2,13**	0,68**
4'. L201	2,98**	-0,65 ^{ns}	-3,36**	-1,06 ^{ns}	3,59**	3,01**	2,23**	1,11**
5'. FL04423	11,36**	2,19**	-1,29 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-9,59**	-3,96**	0,21 ^{ns}	-0,80**
6'. FL04402	11,86**	2,41**	9,84**	-2,64**	-0,21 ^{ns}	-8,14**	-0,22 ^{ns}	-0,88**
7'. FL04452	0,86 ^{ns}	2,29**	4,59**	-2,58**	-1,11 ^{ns}	-5,64**	1,16**	-1,18**

**, *, ^{ns} Significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste t

Tabela 18 - Estimativas dos efeitos de variedades (v_i e v_j) e da heterose varietal (h_i e h_j) associadas aos grupos 1 e 2, respectivamente, para os caracteres número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

Grupos	NG		PE		PG	
	$\hat{v}$	$\hat{h}$	$\hat{v}$	$\hat{h}$	$\hat{v}$	$\hat{h}$
<u>Grupo 1 (i)</u>						
1. L3000	-13,00*	-18,88**	3,79*	9,10**	-1,07**	0,05 ^{ns}
2. Oryzica 1	-6,51 ^{ns}	-1,13 ^{ns}	0,15 ^{ns}	2,67*	-0,25 ^{ns}	0,00 ^{ns}
3. Irga 417	17,35**	2,76 ^{ns}	-5,68**	-12,15**	-1,62**	-0,10 ^{ns}
4. Irga 410	23,02**	-11,65**	-1,14 ^{ns}	9,02**	-0,50 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
5. FL03188	-11,26*	5,79 ^{ns}	7,03**	-14,79**	2,73**	-0,08 ^{ns}
6. Epagri 108	-9,60*	23,11**	-4,15*	6,15**	0,71**	0,22 ^{ns}
<u>Grupo 2 (j)</u>						
1'. Quilla 145601	-25,71**	16,94**	-11,30**	31,47**	1,01**	0,99**
2'. Quilla 173201	-24,49**	24,43**	-8,51**	15,16**	-2,31**	0,31 ^{ns}
3'. CT6748	-60,21**	7,68*	-4,75*	15,01**	1,04**	0,73**
4'. L201	72,83**	-13,62**	-3,17 ^{ns}	-2,54**	-0,96**	1,04**
5'. FL04423	15,89**	-9,81**	14,84**	-12,28**	1,81**	-0,08 ^{ns}
6'. FL04402	32,44**	-7,70*	7,42**	-25,60**	0,96**	-1,49**
7'. FL04452	-10,96**	-2,56 ^{ns}	5,47**	-21,22**	-1,54**	1,50**

** , * , ^{ns} Significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste t

Tabela 19 - Estimativas dos efeitos de heterose específica (s_{ij}) para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos(NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

(continua)

Cruzamento	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
1 x 1'	-1,46*	1,89 ^{ns}	-2,38**	-0,82**	-15,62**	-11,20**	-0,52*
1 x 2'	-0,68 ^{ns}	-1,38 ^{ns}	1,80*	0,45 ^{ns}	-8,59 ^{ns}	-12,16**	0,73**
1 x 3'	-0,93 ^{ns}	-2,84*	0,08 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	-3,11 ^{ns}	-19,79**	0,91**
1 x 4'	0,71 ^{ns}	5,06**	-1,09 ^{ns}	-0,32 ^{ns}	-6,99 ^{ns}	16,17**	-0,31 ^{ns}
1 x 5'	1,19*	-0,36 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,05 ^{ns}	11,54*	11,81**	-0,41 ^{ns}
1 x 6'	1,71**	-0,81 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,97**	14,98**	-2,49 ^{ns}	-0,64*
1 x 7'	-0,54 ^{ns}	-1,56 ^{ns}	-0,78 ^{ns}	-0,07 ^{ns}	7,80 ^{ns}	17,65**	0,25 ^{ns}
2 x 1'	-1,31*	0,31 ^{ns}	-1,10 ^{ns}	0,21 ^{ns}	3,66 ^{ns}	3,16 ^{ns}	-0,38 ^{ns}
2 x 2'	-0,29 ^{ns}	0,10 ^{ns}	-0,55 ^{ns}	0,42 ^{ns}	-11,96*	3,98*	-0,20 ^{ns}
2 x 3'	-1,04 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,27 ^{ns}	7,13 ^{ns}	2,88*	-0,58*
2 x 4'	1,73**	-1,95 ^{ns}	-2,60**	-0,63*	-0,70 ^{ns}	-4,72**	-0,57*
2 x 5'	0,71 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2,34**	-0,40 ^{ns}	2,56 ^{ns}	-4,19*	0,79**
2 x 6'	-0,02 ^{ns}	-1,32 ^{ns}	2,39**	0,15 ^{ns}	10,50*	-2,23 ^{ns}	0,61*
2 x 7'	0,23 ^{ns}	1,96 ^{ns}	-1,66*	-0,03 ^{ns}	-11,19*	1,12 ^{ns}	0,33 ^{ns}
3 x 1'	1,62**	-0,01 ^{ns}	2,91**	0,63*	19,07**	0,67 ^{ns}	0,10 ^{ns}
3 x 2'	1,14*	-1,49 ^{ns}	-1,11 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	9,33 ^{ns}	-0,72 ^{ns}	-0,57*
3 x 3'	-0,11 ^{ns}	0,74 ^{ns}	2,20**	0,24 ^{ns}	0,07 ^{ns}	8,95*	0,98**
3 x 4'	-1,09 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,20 ^{ns}	-8,08 ^{ns}	-10,00**	0,60*
3 x 5'	-0,86 ^{ns}	0,35 ^{ns}	-1,89*	-0,51 ^{ns}	-16,21**	-8,91**	-0,61*
3 x 6'	-0,09 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-2,95**	-0,47 ^{ns}	-9,31 ^{ns}	10,56**	-0,45 ^{ns}
3 x 7'	-0,59 ^{ns}	1,05 ^{ns}	-0,19 ^{ns}	0,13 ^{ns}	5,13 ^{ns}	-0,55 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
4 x 1'	0,76 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,49 ^{ns}	0,08 ^{ns}	4,06 ^{ns}	2,71 ^{ns}	0,46 ^{ns}
4 x 2'	-0,22 ^{ns}	0,51 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,03 ^{ns}	12,39**	6,39**	-0,64*
4 x 3'	-1,35*	1,94 ^{ns}	-0,62 ^{ns}	-0,42 ^{ns}	-21,82**	6,76**	0,24 ^{ns}
4 x 4'	3,30**	-3,39**	4,22**	0,53*	15,10**	-26,25**	-0,23 ^{ns}

Tabela 19 - Estimativas dos efeitos de heterose específica (s_{ij}) para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos(NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

(conclusão)

Cruzamento	DF	NP	AP	CP	NG	PE	PG
4 x 5'	0,90 ^{ns}	-2,41*	-0,71 ^{ns}	0,38 ^{ns}	4,04 ^{ns}	22,15**	-0,27 ^{ns}
4 x 6'	-1,95**	2,36*	-3,37**	-0,19 ^{ns}	-4,53 ^{ns}	-1,76 ^{ns}	0,17 ^{ns}
4 x 7'	-1,45*	-1,00 ^{ns}	-0,82 ^{ns}	-0,41 ^{ns}	-9,24 ^{ns}	-9,99**	0,27 ^{ns}
5 x 1'	-0,90 ^{ns}	-2,07 ^{ns}	-1,09 ^{ns}	-0,36 ^{ns}	-13,18**	3,87*	0,75**
5 x 2'	0,99 ^{ns}	1,57 ^{ns}	-2,59**	-0,61*	-13,96**	-3,71*	0,28 ^{ns}
5 x 3'	0,24 ^{ns}	-0,55 ^{ns}	-0,73 ^{ns}	-0,29 ^{ns}	8,67 ^{ns}	-3,98*	-1,00**
5 x 4'	-1,36*	-0,53 ^{ns}	-0,15 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-3,61 ^{ns}	8,78**	0,69**
5 x 5'	-1,01 ^{ns}	1,57 ^{ns}	-0,22 ^{ns}	0,21 ^{ns}	2,41 ^{ns}	-8,47**	-0,48 ^{ns}
5 x 6'	-0,99 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,97 ^{ns}	0,52*	3,92 ^{ns}	5,16**	0,66**
5 x 7'	3,01**	-0,59 ^{ns}	3,80**	0,38 ^{ns}	15,75**	-1,65 ^{ns}	-0,90**
6 x 2'	-0,93 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,64**	-0,07 ^{ns}	12,80**	6,22**	0,40 ^{ns}
6 x 1'	1,29*	-2,11 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,24 ^{ns}	2,01 ^{ns}	0,79 ^{ns}	-0,41 ^{ns}
6 x 2'	-0,93 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,64**	-0,07 ^{ns}	12,80**	6,22**	0,40 ^{ns}
6 x 3'	3,19**	0,14 ^{ns}	-2,12*	0,47 ^{ns}	9,06 ^{ns}	5,18**	-0,55*
6 x 4'	-3,29**	1,08 ^{ns}	-1,39 ^{ns}	0,07 ^{ns}	4,28 ^{ns}	16,02**	-0,17 ^{ns}
6 x 5'	-0,93 ^{ns}	0,53 ^{ns}	-0,59 ^{ns}	0,27 ^{ns}	-4,34 ^{ns}	-12,39**	0,98**
6 x 6'	1,34*	-0,49 ^{ns}	1,65*	-0,98**	-15,56**	-9,24**	-0,34 ^{ns}
6 x 7'	-0,66 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,35 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-8,25 ^{ns}	-6,58**	0,10 ^{ns}

**, *, ^{ns}; significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste t

1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108

1'= Quilla 145601; 2'= Quilla 173201; 3'= CT6748; 4'= L201; 5'= FL04423; 6'= FL04402; 7'= FL04452

Tabela 20 - Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (g_i e g_j), média nos dois experimentos, e correlações entre estes valores; para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP)

Efeito	DF		NP		AP		CP	
	g	x	g	x	g	x	g	x
Grupo 1 (i)								
1. L3000	-4,63	93,00	3,49	31,53	-8,03	86,45	-1,07	24,50
2. Oryzica 1	-0,40	107,75	0,60	25,50	-1,98	94,50	-1,15	22,35
3. Irga 417	4,55	93,75	1,34	33,48	3,88	89,20	0,35	25,23
4. Irga 410	-4,84	109,25	1,92	28,73	-0,73	102,25	0,22	26,52
5. FL03188	0,94	108,75	-4,42	23,48	2,66	94,95	1,34	26,37
6. Epagri 108	4,37	115,63	-2,93	25,28	4,20	94,70	0,31	23,56
Correlação ^{/1}	0,17 ^{ns}		0,80*		0,32 ^{ns}		0,70 ^{ns}	
Grupo 2 (j)								
1'. Quilla 145601	-6,62	77,13	1,53	20,20	8,49	103,85	1,19	23,05
2'. Quilla 173201	-6,01	76,75	-1,19	19,01	7,24	93,34	-0,75	19,76
3'. CT6748	-7,14	72,63	1,33	19,14	2,66	92,83	-0,39	19,89
4'. L201	0,84	87,50	-2,74	19,35	4,80	97,70	2,23	24,26
5'. FL04423	7,86	96,38	-0,92	21,43	-8,75	82,00	-0,69	22,24
6'. FL04402	8,34	95,88	2,28	32,55	-8,24	90,40	-0,99	21,81
7'. FL04452	2,72	85,38	-0,28	27,30	-6,19	90,25	-0,60	23,19
Correlação ^{/1}	0,98**		0,49 ^{ns}		0,83*		0,65 ^{ns}	

^{/1} Coeficiente de correlação de Pearson;

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

Tabela 21 - Estimativas dos efeitos de capacidade geral de combinação (g_i e g_j), média nos dois experimentos, e correlações entre estes valores; para os caracteres número de grãos (NG), porcentagem de esterilidade (PE), e peso de 1.000 grãos (PG)

Efeito	NG		PE		PG	
	$\bar{g}$	$\bar{x}$	$\bar{g}$	$\bar{x}$	$\bar{g}$	$\bar{x}$
Grupo 1 (i)						
1. L3000	-25,38	155,51	11,00	31,53	-0,48	23,76
2. Oryzica 1	-4,38	162,00	2,75	27,89	-0,12	24,59
3. Irga 417	11,43	185,86	-15,00	22,05	-0,91	23,21
4. Irga 410	-0,14	191,53	8,45	26,60	-0,34	24,33
5. FL03188	0,16	157,25	-11,27	34,77	1,28	27,56
6. Epagri 108	18,31	158,91	4,07	23,59	0,58	25,54
Correlação ^{/1}	0,32 ^{ns}		0,08 ^{ns}		0,99 ^{**}	
Grupo 2 (j)						
1'. Quilla 145601	4,08	126,99	25,82	16,75	1,49	26,14
2'. Quilla 173201	12,28	128,40	10,91	19,55	-0,84	22,82
3'. CT6748	-37,78	92,49	12,63	23,31	1,25	26,17
4'. L201	22,80	225,53	-4,12	24,88	0,56	24,16
5'. FL04423	-1,86	168,59	-4,86	42,89	0,83	26,94
6'. FL04402	8,52	185,13	-21,89	35,48	-1,01	26,08
7'. FL04452	-8,04	141,74	-18,49	33,52	-2,28	23,58
Correlação ^{/1}	0,76 [*]		-0,78 [*]		0,63 ^{ns}	

Coefficiente de correlação de Pearson,

^{**}, ^{*}, ^{ns} Significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo respectivamente

Tabela 22 - Estimativas dos componentes quadráticos associados aos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (φ_{cgcG1}), capacidade geral de combinação do grupo 2 (φ_{cgcG2}) e capacidade específica de combinação (φ_{cec}) para os caracteres dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP), altura da planta (AP), comprimento da panícula (CP), número de grãos por panícula (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

Componente / Caráter	φ_{cgcG1}	φ_{cgcG2}	φ_{cec}	$\frac{(\varphi_{G1} + \varphi_{G2})}{(\varphi_{G1} + \varphi_{G2} + \varphi_{CEC})}$
DF	17,15	45,06	2,02	0,97
NP	9,23	3,19	2,57	0,83
AP	21,74	56,26	3,38	0,96
CP	0,91	1,49	0,17	0,93
NG	225,86	375,86	108,68	0,85
PE	113,67	301,17	98,54	0,81
PG	0,63	1,95	0,31	0,89

Tabela 23 - Valores das médias observadas dos dois experimentos, valores das médias estimadas e coeficientes de correlação entre estes valores, para os caracteres: dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP) altura da planta (AP) e comprimento da panícula (CP)

(continua)

Cruzamento	DF		NP		AP		CP	
	Red.	Obs.	Red.	Obs.	Red.	Obs.	Red.	Obs.
1 x 1'	74,21	72,75	34,93	36,83	104,31	101,93	25,33	24,51
1 x 2'	74,81	74,13	32,21	30,85	103,05	104,85	23,39	23,84
1 x 3'	73,68	72,75	34,73	31,89	98,47	98,55	23,75	23,48
1 x 4'	81,66	82,38	30,66	35,72	100,61	99,52	26,36	26,05
1 x 5'	88,68	89,88	32,48	32,13	87,06	88,13	23,44	23,50
1 x 6'	89,16	90,88	35,68	34,88	87,57	88,88	23,15	24,11
1 x 7'	83,54	83,00	33,12	31,56	89,62	88,83	23,53	23,46
2 x 1'	78,44	77,13	32,04	32,35	110,35	109,25	25,24	25,46
2 x 2'	79,04	78,75	29,32	29,43	109,09	108,55	23,30	23,72
2 x 3'	77,92	76,88	31,84	32,42	104,51	105,69	23,66	23,94
2 x 4'	85,90	87,63	27,77	25,83	106,65	104,05	26,28	25,65
2 x 5'	92,92	93,63	29,59	29,92	93,10	95,45	23,36	22,96
2 x 6'	93,40	93,38	32,79	31,48	93,61	96,00	23,06	23,21
2 x 7'	87,77	88,00	30,23	32,20	95,66	94,00	23,45	23,42
3 x 1'	83,38	85,00	32,78	32,78	116,21	119,13	26,74	27,38
3 x 2'	83,99	85,13	30,06	28,58	114,96	113,85	24,80	24,59
3 x 3'	82,86	82,75	32,58	33,33	110,37	112,58	25,16	25,40
3 x 4'	90,84	89,75	28,51	28,23	112,52	113,53	27,78	27,98
3 x 5'	97,86	97,00	30,34	30,69	98,96	97,08	24,86	24,35
3 x 6'	98,34	98,25	33,53	33,20	99,47	96,53	24,56	24,09
3 x 7'	92,72	92,13	30,97	32,03	101,52	101,34	24,95	25,08
4 x 1'	73,99	74,75	33,35	35,35	111,61	113,10	26,62	26,71
4 x 2'	74,60	74,38	30,64	31,15	110,35	110,15	24,68	24,71
4 x 3'	73,47	72,13	33,15	35,10	105,77	105,15	25,04	24,62

Tabela 23 - Valores das médias observadas dos dois experimentos, valores das médias estimadas e coeficientes de correlação entre estes valores, para os caracteres: dias para florescimento (DF), número de perfilhos (NP) altura da planta (AP) e comprimento da panícula (CP)

Cruzamento	(conclusão)							
	DF		NP		AP		CP	
	Red.	Obs.	Red.	Obs.	Red.	Obs.	Red.	Obs.
4 x 4'	81,45	84,75	29,08	25,70	107,91	112,13	27,66	28,19
4 x 5'	88,47	89,38	30,91	28,50	94,36	93,65	24,74	25,11
4 x 6'	88,95	87,00	34,11	36,48	94,87	91,50	24,44	24,25
4 x 7'	83,32	81,88	31,55	30,55	96,92	96,10	24,83	24,42
5 x 1'	79,78	78,88	27,02	24,95	114,99	113,90	27,74	27,38
5 x 2'	80,38	81,38	24,30	25,88	113,74	111,15	25,80	25,19
5 x 3'	79,26	79,50	26,82	26,28	109,15	108,43	26,16	25,87
5 x 4'	87,24	85,88	22,75	22,23	111,30	111,15	28,78	28,93
5 x 5'	94,26	93,25	24,57	26,15	97,74	97,53	25,86	26,07
5 x 6'	94,74	93,75	27,77	28,38	98,25	99,23	25,56	26,07
5 x 7'	89,11	92,13	25,21	24,63	100,30	104,10	25,95	26,33
6 x 1'	83,21	84,50	28,51	26,40	116,54	116,70	26,71	26,95
6 x 2'	83,81	82,88	25,79	26,50	115,28	117,93	24,77	24,70
6 x 3'	82,68	85,88	28,31	28,45	110,70	108,58	25,13	25,60
6 x 4'	90,66	87,38	24,24	25,33	112,84	111,45	27,75	27,81
6 x 5'	97,68	96,75	26,06	26,60	99,29	98,70	24,83	25,10
6 x 6'	98,16	99,50	29,26	28,78	99,80	101,45	24,53	23,55
6 x 7'	92,54	91,88	26,70	26,85	101,85	101,50	24,92	24,91
Correlação	0,98**		0,90**		0,98**		0,91**	

DF=dias para florescimento (dias), NP=número de perfilhos (perfilhos/planta), AP=altura da planta (cm.), CP=comprimento da panícula (cm.), Red= Médias estimadas segundo o modelo reduzido, Obs= Médias dos experimentos.

Modelo completo $\hat{Y}_{ij} = u + \hat{g}_i + \hat{g}_j + \hat{s}_{ij}$

Modelo reduzido $\hat{Y}_{ij} = u + \hat{g}_i + \hat{g}_j$

** coeficiente de correlação de Pearson significativo a 1%

Tabela 24 - Valores das médias observadas, valores das médias estimadas e coeficientes de correlação entre estes valores; para os caracteres: número de grãos (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

(continua)

Cruzamento	NG		PE		PG	
	Red.	Obs.	Red.	Obs.	Red.	Obs.
1 x 1'	155,64	140,01	93,08	81,88	29,17	28,65
1 x 2'	163,83	155,24	78,16	66,00	26,84	27,57
1 x 3'	113,78	110,66	79,88	60,10	28,93	29,84
1 x 4'	174,35	167,36	63,13	79,30	28,23	27,92
1 x 5'	149,70	161,24	62,39	74,20	28,50	28,10
1 x 6'	160,07	175,05	45,36	42,87	26,66	26,02
1 x 7'	143,51	151,31	48,77	66,42	25,40	25,64
2 x 1'	176,64	180,30	84,83	87,99	29,25	29,15
2 x 2'	184,83	172,88	69,91	73,89	27,20	27,00
2 x 3'	134,77	141,90	71,64	74,52	29,29	28,71
2 x 4'	195,35	194,65	54,88	50,16	28,59	28,02
2 x 5'	170,70	173,25	54,14	49,95	28,86	29,65
2 x 6'	181,07	191,58	37,11	34,88	27,02	27,63
2 x 7'	164,51	153,33	40,52	41,64	25,76	26,09
3 x 1'	192,45	211,53	67,08	67,75	28,74	28,83
3 x 2'	200,65	209,98	52,17	51,44	26,41	25,83
3 x 3'	150,59	150,66	53,89	62,84	28,50	29,48
3 x 4'	211,17	203,09	37,14	27,14	27,80	28,40
3 x 5'	186,51	170,30	36,40	27,49	28,07	27,46
3 x 6'	196,89	187,58	19,37	29,93	26,23	25,78
3 x 7'	180,33	185,46	22,77	22,23	24,97	24,93
4 x 1'	180,88	184,94	90,53	93,24	29,31	29,77
4 x 2'	189,08	201,46	75,61	82,00	26,98	26,34
4 x 3'	139,02	117,20	77,33	84,09	29,07	29,31

Tabela 24 - Valores das médias observadas através dos experimentos, valores das médias estimadas segundo o modelo reduzido e coeficientes de correlação entre estes valores; para os caracteres: número de grãos (NG), porcentagem de esterilidade (PE) e peso de 1.000 grãos (PG)

Cruzamento	(conclusão)					
	NG		PE		PG	
	Red.	Obs.	Red.	Obs.	Red.	Obs.
4 x 4'	199,59	214,69	60,58	34,33	28,37	28,14
4 x 5'	174,94	178,99	59,84	81,99	28,64	28,38
4 x 6'	185,32	180,79	42,81	41,05	26,80	26,97
4 x 7'	168,75	159,51	46,22	36,22	25,54	25,81
5 x 1'	181,18	168,00	70,81	74,68	30,93	31,68
5 x 2'	189,38	175,41	55,90	52,19	28,60	28,88
5 x 3'	139,32	147,99	57,62	53,64	30,69	29,70
5 x 4'	199,89	196,29	40,86	49,64	30,00	30,69
5 x 5'	175,24	177,65	40,12	31,65	30,27	29,78
5 x 6'	185,62	189,54	23,10	28,26	28,43	29,09
5 x 7'	169,05	184,80	26,50	24,85	27,16	26,26
6 x 1'	199,32	201,33	86,15	86,94	30,23	29,81
6 x 2'	207,52	220,33	71,24	77,46	27,90	28,30
6 x 3'	157,46	166,53	72,96	78,14	29,99	29,44
6 x 4'	218,04	222,33	56,21	72,23	29,29	29,12
6 x 5'	193,38	189,04	55,47	43,07	29,56	30,55
6 x 6'	203,76	188,20	38,44	29,20	27,72	27,38
6 x 7'	187,20	178,95	41,84	35,26	26,46	26,55
Correlação	0,91**		0,89**		0,94**	

NG=número de grãos por panícula (grãos/panícula), PE= porcentagem de esterilidade (%), PG= peso de 1.000 grãos (gr.). Red= Médias estimadas segundo o modelo reduzido, Obs= Médias dos experimentos.

Modelo completo $\hat{Y}_{ij} = \bar{u} + \bar{g}_i + \bar{g}_j + s_{ij}$

Modelo reduzido $\hat{Y}_{ij} = u + g_i + g_j$

** coeficiente de correlação de Pearson significativo a 1%

Tabela 25 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) das análises de variância, média geral, média dos cruzamentos, média dos genitores e coeficiente de variação experimental (CV%) dos experimentos 1, 2 e 3, para os caracteres de tolerância às baixas temperaturas índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)

FV	GL	IE			MS		
		EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 1	EXP 2	EXP 3
Blocos (B)	2	12,66*	14,18**	54,27**	20,55 ^{ns}	73,76*	608,74**
Tratamentos (T)	54	63,88**	39,64**	50,39**	295,70**	294,75**	231,85**
Genitores (G)	12	143,73**	99,41**	147,86**	527,21**	778,40**	667,66**
Suscetíveis (G1)	5	7,86*	18,20**	1,03 ^{ns}	61,64*	159,68**	11,94 ^{ns}
Tolerantes (G2)	6	6,85 ^{ns}	18,82**	12,19**	101,40**	626,92**	481,77**
G1 vs G2	1	1.644,35**	989,30**	1.696,08**	5.409,85**	4.780,86**	5.061,63**
Cruzamentos (C)	41	38,96**	21,68**	19,65**	207,66**	159,80**	98,16**
Genitores vs Cruz.	1	127,09**	58,69*	140,98**	1126,74**	24,07 ^{ns}	483,25**
Erro	108	3,27	2,82	1,97	21,31	20,91	15,68
Total	164						
CV (%)		17,62	16,85	13,36	20,24	20,02	20,05
Media geral		10,26	9,96	10,50	22,81	22,85	19,75
Media cruzamentos		10,74	10,29	11,02	24,26	23,06	20,70
Media genitores		8,68	8,89	8,84	18,11	22,16	16,68

**, *, ns = significativo a 1%; significativo 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste F

Tabela 26 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise de variância conjunta, média geral, e coeficiente de variação experimental (CV%) para os caracteres de tolerância às baixas temperaturas índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)

FV	GL	Quadrados Médios	
		IE	MS
Experimento (L)	2	12,05 ^{ns}	521,30 ^{ns}
Bloco/Experimento	6	27,04 ^{**}	234,35 ^{**}
Tratamentos (T)	54	133,07 ^{**}	668,99 ^{**}
Genitores (G)	12	375,87 ^{**}	1.836,16 ^{**}
Suscetíveis (G1)	5	15,95 ^{**}	641,90 ^{**}
Tolerantes (G2)	6	26,77 ^{**}	1.024,91 ^{**}
G1 vs G2	1	4.270,12 ^{**}	15.242,60 ^{**}
Cruzamentos (H)	41	57,54 ^{**}	313,98 ^{**}
Gen. Vs Cruz. (G vs H)	1	316,38 ^{**}	1.218,30 ^{**}
L x T	108	10,42 ^{**}	76,65 ^{**}
L x G	24	7,57 ^{**}	68,55 ^{**}
L x G1	10	5,57 [*]	52,44 ^{**}
L x G2	12	5,54 [*]	92,60 [*]
L x (G1 vs. G2)	2	24,67 ^{**}	4,87 ^{ns}
L x H	82	11,38 ^{**}	75,82 ^{**}
L x (G vs H)	2	5,19 ^{ns}	207,88 ^{**}
Resíduo	324	2,68	19,30
Total	494		
CV (%)		16,0	20,15
Média geral		10,24	21,80

^{**}, ^{*}, ^{ns} = significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste F

Tabela 27 - Valores médios (três repetições) dos caracteres índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS) obtidos nos experimentos realizados em laboratório

(continua)

Tratamento s	Índice de emergência				Produção de matéria seca			
	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Média	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Média
1	1,63	2,83	2,48	2,32	6,90	9,60	8,00	8,17
2	1,52	2,83	1,53	1,96	6,13	7,43	2,30	5,29
3	4,66	5,46	2,41	4,18	12,80	15,63	5,13	11,19
4	1,66	7,21	1,34	3,40	5,20	21,20	3,73	10,04
5	0,26	0,42	1,44	0,71	0,73	0,33	3,47	1,51
6	0,24	1,96	1,10	1,10	0,57	7,00	3,57	3,71
Grupo 1 (i)	1,66	3,45	1,72	2,28	5,39	10,20	4,37	6,65
1'	13,92	13,06	14,72	13,90	28,40	32,50	21,43	27,44
2'	16,53	16,25	16,71	16,49	34,83	39,93	38,56	37,78
3'	14,78	17,14	17,21	16,38	35,23	59,57	49,03	47,94
4'	16,48	14,58	15,78	15,61	32,93	29,93	27,60	30,16
5'	14,38	11,33	11,88	12,53	26,87	26,40	18,07	23,78
6'	12,15	10,67	15,71	12,84	25,80	25,27	23,77	24,94
7'	14,58	11,84	12,63	13,02	19,03	13,27	12,07	14,79
Grupo 2 (j)	14,69	13,55	14,95	14,40	29,01	32,41	27,22	29,55
1 x 1'	15,99	14,50	11,90	14,09	36,50	32,77	28,90	32,72
1 x 2'	14,34	12,11	12,54	13,00	34,47	24,93	19,23	26,21
1 x 3'	16,06	13,88	11,06	13,67	34,87	29,10	17,37	27,11
1 x 4'	15,80	13,71	15,06	14,85	33,57	27,07	19,00	26,54
1 x 5'	9,17	11,86	10,38	10,47	22,70	31,63	18,10	24,14
1 x 6'	8,59	11,50	6,83	8,97	16,67	19,60	20,57	18,94
1 x 7'	10,33	8,59	7,13	8,68	19,77	18,37	20,77	19,63
2 x 1'	8,47	13,21	9,87	10,52	19,13	32,90	21,63	24,56
2 x 2'	14,15	11,49	12,96	12,87	34,03	17,50	29,20	26,91
2 x 3'	7,36	10,13	9,79	9,09	21,60	23,07	24,23	22,97
2 x 4'	9,31	8,27	5,56	7,72	22,30	14,63	18,37	18,43
2 x 5'	5,62	6,29	10,79	7,57	20,13	13,83	16,93	16,97
2 x 6'	9,86	9,71	7,95	9,17	15,77	17,40	17,47	16,88
2 x 7'	6,42	7,29	11,34	8,35	16,10	18,37	11,97	15,48
3 x 1'	15,13	12,99	13,04	13,72	28,93	32,06	22,70	27,90
3 x 2'	16,54	13,79	12,48	14,27	36,93	34,40	27,30	32,79
3 x 3'	16,76	11,03	12,25	13,35	35,47	22,23	29,30	29,00

Tabela 27 - Valores médios (três repetições) dos caracteres índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS) obtidos nos experimentos realizados em laboratório

(conclusão)

Tratamentos	Índice de emergência				Produção de matéria seca			
	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Média	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Média
3 x 4'	12,27	12,08	12,08	12,14	20,33	26,57	16,50	21,13
3 x 5'	6,15	9,00	7,43	7,53	12,83	25,60	17,60	18,68
3 x 6'	12,41	6,84	13,67	10,98	14,53	9,93	19,57	14,68
3 x 7'	12,40	11,23	12,14	11,92	14,23	24,70	20,20	19,71
4 x 1'	13,74	10,04	11,82	11,87	34,06	25,67	19,60	26,44
4 x 2'	15,35	13,96	15,16	14,82	33,80	32,37	19,57	28,58
4 x 3'	15,14	11,19	14,29	13,54	47,03	29,50	37,93	38,16
4 x 4'	14,20	15,27	13,50	14,33	28,63	30,23	17,10	25,32
4 x 5'	8,63	13,06	12,58	11,42	22,30	34,67	18,43	25,13
4 x 6'	8,46	8,21	9,13	8,60	11,57	14,10	12,23	12,63
4 x 7'	12,24	10,47	10,53	11,08	24,90	27,30	14,77	22,32
5 x 1'	9,77	10,30	11,28	10,36	22,73	29,27	19,80	23,93
5 x 2'	11,84	9,85	12,46	11,38	27,97	28,97	27,83	28,26
5 x 3'	7,47	11,54	8,18	9,06	21,87	30,87	21,43	24,72
5 x 4'	11,20	7,62	11,85	10,22	18,40	13,10	11,37	14,29
5 x 5'	4,55	7,46	11,35	7,79	16,23	17,73	20,60	17,86
5 x 6'	4,95	3,50	6,39	4,95	12,80	8,00	12,73	11,18
5 x 7'	6,57	5,25	12,48	8,10	22,30	13,43	22,23	19,33
6 x 1'	12,68	12,65	17,45	14,26	31,17	25,10	32,80	29,69
6 x 2'	11,87	9,54	10,09	10,50	28,27	21,63	19,83	37,78
6 x 3'	9,31	8,91	12,23	10,15	24,17	21,33	29,07	47,94
6 x 4'	9,88	9,50	9,56	9,65	6,70	18,20	23,93	30,16
6 x 5'	6,72	10,12	7,36	8,06	21,23	21,00	19,87	23,78
6 x 6'	8,35	8,04	9,96	8,78	17,83	16,20	17,67	24,94
6 x 7'	5,14	6,64	8,93	6,91	15,10	13,10	13,97	14,79
Cruz. (ij)	10,74	10,29	11,02	10,68	24,26	23,06	20,70	22,6
DMS (0,05)	2,93	2,71	2,27	1,52	7,47	7,40	6,41	4,07

1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108

1'= Quilla 145601; 2'= Quilla 173201; 3'= CT6748; 4'= L201; 5'= FL04423; 6'= FL04402 ; 7'=FL04452

Valores da MS em mg.

Tabela 28 - Valores da heterose (%) em relação à média dos genitores para os caracteres índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)

Cruzamento	IE	MS	Cruzamento	IE	MS
1 x 1'	73,85**	83,78**	4 x 1'	46,33*	41,08*
1 x 2'	38,22**	14,10 ^{ns}	4 x 2'	59,11**	19,52 ^{ns}
1 x 3'	46,23**	-3,37 ^{ns}	4 x 3'	44,60**	31,60*
1 x 4'	65,71**	38,53*	4 x 4'	61,75**	25,98 ^{ns}
1 x 5'	41,02*	51,17*	4 x 5'	55,18*	48,62*
1 x 6'	18,38 ^{ns}	14,43 ^{ns}	4 x 6'	7,42 ^{ns}	-27,79 ^{ns}
1 x 7'	13,24 ^{ns}	71,06*	4 x 7'	44,09*	79,78**
2 x 1'	32,62 ^{ns}	50,03*	5 x 1'	41,89*	65,31**
2 x 2'	39,42**	24,97 ^{ns}	5 x 2'	32,35*	43,83*
2 x 3'	-0,83 ^{ns}	-13,71 ^{ns}	5 x 3'	6,10 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
2 x 4'	-12,19 ^{ns}	4,01 ^{ns}	5 x 4'	25,28 ^{ns}	-9,75 ^{ns}
2 x 5'	4,44 ^{ns}	16,74 ^{ns}	5 x 5'	17,66 ^{ns}	41,21 ^{ns}
2 x 6'	23,94 ^{ns}	11,65 ^{ns}	5 x 6'	-27,01 ^{ns}	-15,50 ^{ns}
2 x 7'	11,48 ^{ns}	54,18**	5 x 7'	18,05 ^{ns}	137,22**
3 x 1'	51,76**	44,43*	6 x 1'	90,18**	90,58**
3 x 2'	38,03**	33,92*	6 x 2'	19,36 ^{ns}	12,05 ^{ns}
3 x 3'	29,83*	-1,92 ^{ns}	6 x 3'	16,17 ^{ns}	-3,76 ^{ns}
3 x 4'	22,69 ^{ns}	2,23 ^{ns}	6 x 4'	15,47 ^{ns}	35,5 ^{ns}
3 x 5'	-9,93 ^{ns}	6,83 ^{ns}	6 x 5'	18,34 ^{ns}	50,61 ^{ns}
3 x 6'	28,95 ^{ns}	-18,76 ^{ns}	6 x 6'	26,02 ^{ns}	20,28 ^{ns}
3 x 7'	38,62*	51,75*	6 x 7'	-2,17 ^{ns}	51,95 ^{ns}
Média	28,85	30,34	Media	28,85	30,34

** , * , ^{ns} significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente pelo teste t

1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108

1'= Quilla 145601; 2'= Quilla 173201; 3'= CT6748; 4'= L201; 5'= FL04423; 6'= FL04402 ; 7'=FL0445

Tabela 29 - Valores e significâncias dos quadrados médios (QM) da análise dialélica (nove repetições) pelo método de Gardner e Eberhart (1966) adaptado para dialelos parciais para os caracteres da tolerância às baixas temperaturas

FV	GL	Quadrados Médios	
		IE	MS
Genótipos	54	14,79**	74,33**
Variedades G1 (v_1)	5	15,64**	48,67**
Variedades G2 (v_2)	6	18,71**	231,23**
G1 vs G2 (d)	1	455,13**	1.622,30**
Heterose (h)	42	3,64**	18,12**
Heterose média ($\bar{h}$)	1	54,48**	206,69**
Het. Variedades G1 (h_1)	5	2,73**	4,82 ^{ns}
Het. Variedades G2 (h_2)	6	3,49**	36,51**
Het. específica (s)	30	2,13**	10,37**
Resíduo médio	432	0,51	3,74

**, *, ns = significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste F
IE= Índice de emergência, MS= Produção de matéria seca por fileira (mg)

Tabela 30 - Estimativas dos efeitos média das médias dos grupos de genitores (u) diferença entre os grupos de genitores (d) e heterose média ($\bar{h}$), para os caracteres: índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)

Parâmetro	IE	MS
$\bar{u}$	8,34	18,10
$\hat{d}$	-6,06**	-11,45**
$\hat{h}$	2,35**	4,57**

**, *, ^{ns} Significativo a 1%; significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste t

Tabela 31 - Estimativas dos efeitos de variedades (v_i e v_j), e da heterose varietal (h_i e h_j) associadas aos grupos 1 e 2 respectivamente, e da heterose específica (s_{ij}) dos híbridos para o caráter índice de emergência (IE)

s_{ij}	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	$\hat{v}_i$	$\hat{h}_i$
1	0,347 ^{ns}	-1,086*	0,912 ^{ns}	2,091**	0,384 ^{ns}	-0,880 ^{ns}	-1,768**	0,038 ^{ns}	1,259**
2	-0,595 ^{ns}	1,418*	-1,025*	-2,410**	0,120 ^{ns}	1,957**	0,535 ^{ns}	-0,315 ^{ns}	-1,201**
3	-0,052 ^{ns}	0,162 ^{ns}	0,567 ^{ns}	-0,643 ^{ns}	-2,581**	1,100*	1,447**	1,906**	0,349 ^{ns}
4	-2,154**	0,464 ^{ns}	0,512 ^{ns}	1,289*	1,064*	-1,529**	0,354 ^{ns}	1,123*	0,991**
5	-0,262 ^{ns}	0,423 ^{ns}	-0,567 ^{ns}	0,585 ^{ns}	0,829 ^{ns}	-1,783**	0,775 ^{ns}	-1,573**	-1,062**
6	2,716**	-1,381*	-0,400 ^{ns}	-0,911 ^{ns}	0,184 ^{ns}	1,135*	-1,343*	-1,179*	-0,336 ^{ns}
$\hat{v}_j$	-0,499 ^{ns}	2,098**	1,981**	1,217*	-1,866 ^{ns}	-1,554**	-1,377*		
$\hat{h}_j$	2,034**	1,073**	-0,198 ^{ns}	0,192 ^{ns}	-0,946*	-1,333**	-0,822*		

** , * , ^{ns} Significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, pelo teste t

1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108

1'= Quilla 145601; 2'= Quilla 173201; 3'= CT6748; 4'= L201; 5'= FL04423; 6' =FL04402 ; 7'=FL0445

Tabela 32 - Estimativas dos efeitos de variedades (v_i e v_j) e da heterose de variedades (h_i e h_j) associadas aos grupos 1 e 2 respectivamente, e da heterose específica (s_{ij}) dos híbridos para o carácter produção de matéria seca (MS)

s_{ij}	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	$\hat{v}_i$	$\hat{h}_i$
1	2,810 ^{ns}	-3,825*	-3,062 ^{ns}	2,729 ^{ns}	1,192 ^{ns}	1,316 ^{ns}	-1,160 ^{ns}	1,515 ^{ns}	1,614 ^{ns}
2	-0,625 ^{ns}	1,607 ^{ns}	-2,475 ^{ns}	-0,651 ^{ns}	-1,253 ^{ns}	3,981*	-0,584 ^{ns}	-1,363 ^{ns}	-1,679 ^{ns}
3	-0,380 ^{ns}	4,384**	0,459 ^{ns}	-1,051 ^{ns}	-2,642 ^{ns}	-1,319 ^{ns}	0,549 ^{ns}	4,537**	-1,529 ^{ns}
4	-3,936**	-1,927 ^{ns}	7,514**	1,038 ^{ns}	1,715 ^{ns}	-5,464**	1,060 ^{ns}	3,393*	1,143 ^{ns}
5	-0,873 ^{ns}	3,326*	-0,345 ^{ns}	-4,421**	0,012 ^{ns}	-1,345 ^{ns}	3,646*	-5,141**	-0,164 ^{ns}
6	3,004 ^{ns}	-3,565*	-2,091 ^{ns}	2,356 ^{ns}	0,976 ^{ns}	2,831*	-3,511*	-2,941*	0,615 ^{ns}
$\hat{v}_j$	-2,103 ^{ns}	8,230**	18,397**	0,608 ^{ns}	-5,770**	-4,603**	-14,759**		
$\hat{h}_j$	5,919**	0,877 ^{ns}	-4,070**	-1,533 ^{ns}	0,792 ^{ns}	-5,114**	3,129**		

** , * , ^{ns} Significativo a 1%; significativo a 5%; e não significativo, respectivamente, segundo o teste t

1= L3000; 2= Oryzica 1; 3= Irga 417; 4= Br-Irga 410; 5= FL03188; 6= Epagri 108

1'= Quilla 145601; 2'= Quilla 173201; 3'= CT6748; 4'= L201; 5'= FL04423; 6' =FL04402 ; 7'=FL0445

Tabela 33 - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) dos genitores dos grupos 1 e 2, valores médios através dos três experimentos e correlações entre estes, para os caracteres: índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)

Genitor	IE		MS	
	ĝ	x	ĝ	x
Grupo 1 (i)				
1 L3000 (1)	1,277	2,32	2,371	8,17
2 Oryzica (2) 1	-1,358	1,96	-2,360	5,29
3 Irga 417 (3)	1,303	4,18	0,740	11,19
4 Irga 410	1,552	3,40	2,840	10,04
5 FI3188	-1,848	0,71	-2,735	1,51
6 Epagri 108 (6)	-0,926	1,10	-0,856	3,71
Correlação	0,85*		0,81*	
Grupo 2 (j)				
1' Quilla 145601 (1')	1,785	13,90	4,868	27,44
2' Quilla 173201 (2')	2,122	16,49	4,992	37,78
3' CT6748 (3')	0,792	16,38	5,129	47,94
4' L201 (4')	0,801	15,61	-1,229	30,16
5' FL04423 (5')	-1,879	12,53	-2,093	23,78
6' FL04402 (6')	-2,110	12,84	-7,416	24,94
7' FL04452 (7')	-1,511	13,02	-4,251	14,79
Correlação	0,81*		0,72 ^{ns}	

*, ns; coeficiente de correlação de Pearson significativo a 5% e não significativo

Tabela 34 - Estimativas dos componentes quadráticos associados aos efeitos da capacidade geral de combinação do grupo 1 (φ_{cgcG1}), capacidade geral de combinação do grupo 2 (φ_{cgcG2}), e capacidade específica de combinação (φ_{cec}) para os caracteres da tolerância às baixas temperaturas

Componente	Índice de emergência	Matéria seca
φ_{cgcG1}	2,37	5,60
φ_{cgcG2}	3,20	26,64
φ_{cec}	1,52	7,59
$\frac{(\varphi_{G1} + \varphi_{G2})}{(\varphi_{G1} + \varphi_{G2} + \varphi_{CEC})}$	0,79	0,80

φ_{cgcG1} = Componente quadrático associado à capacidade geral de combinação do grupo 1

φ_{cgcG2} = Componente quadrático associado à capacidade geral de combinação do grupo 1

φ_{cec} = Componente quadrático associado à capacidade específica de combinação

Tabela 35 - Estimativas das médias observadas dos três experimentos, das médias estimadas e correlações entre estes valores para os caracteres: índice de emergência (IE) e produção de matéria seca (MS)

(continua)

Cruzamento	IE		MS	
	Red.	Obs.	Red.	Obs.
1 x 1'	13,75	14,09	29,91	32,72
1 x 2'	14,08	13,00	30,04	26,21
1 x 3'	12,75	13,67	30,17	27,11
1 x 4'	12,76	14,85	23,82	26,54
1 x 5'	10,08	10,47	22,95	24,14
1 x 6'	9,85	8,97	17,63	18,94
1 x 7'	10,45	8,68	20,79	19,63
2 x 1'	11,11	10,52	25,18	24,56
2 x 2'	11,45	12,87	25,30	26,91
2 x 3'	10,12	9,09	25,44	22,97
2 x 4'	10,13	7,72	19,08	18,43
2 x 5'	7,45	7,57	18,22	16,97
2 x 6'	7,22	9,17	12,90	16,88
2 x 7'	7,82	8,35	16,06	15,48
3 x 1'	13,77	13,72	28,28	27,90
3 x 2'	14,11	14,27	28,40	32,79
3 x 3'	12,78	13,35	28,54	29,00
3 x 4'	12,79	12,14	22,18	21,13
3 x 5'	10,11	7,53	21,32	18,68
3 x 6'	9,88	10,98	16,00	14,68
3 x 7'	10,48	11,92	19,16	19,71
4 x 1'	14,02	11,87	30,38	26,44
4 x 2'	14,36	14,82	30,50	28,58
4 x 3'	13,03	13,54	30,64	38,16
4 x 4'	13,04	14,33	24,28	25,32

Tabela 35 - Estimativas das médias observadas dos três experimentos, das médias estimadas e correlações entre estes valores para os caracteres: índice de emergência e produção de matéria seca (MS)

Cruzamento	IE		MS	
	Red.	Obs.	Red.	Obs.
4 x 5'	10,36	11,42	23,42	25,13
4 x 6'	10,13	8,60	18,10	12,63
4 x 7'	10,73	11,08	21,26	22,32
5 x 1'	10,62	10,36	24,81	23,93
5 x 2'	10,96	11,38	24,93	28,26
5 x 3'	9,63	9,06	25,07	24,72
5 x 4'	9,64	10,22	18,71	14,29
5 x 5'	6,96	7,79	17,84	17,86
5 x 6'	6,73	4,94	12,52	11,18
5 x 7'	7,33	8,10	15,69	19,33
6 x 1'	11,54	14,26	26,69	29,69
6 x 2'	11,88	10,50	26,81	23,24
6 x 3'	10,55	10,15	26,95	24,86
6 x 4'	10,56	9,65	20,59	22,94
6 x 5'	7,88	8,06	19,72	20,70
6 x 6'	7,65	8,78	14,40	17,23
6 x 7'	8,25	6,91	17,57	14,06
Correlação	0,87**		0,88**	

IE= índice de emergência; MS= matéria seca em mg; Red= Médias estimadas segundo o modelo reduzido, Obs= Médias dos experimentos.

Modelo completo $\hat{Y}_{ij} = u + \hat{g}_i + \hat{g}_j + \hat{s}_{ij}$

Modelo reduzido $\hat{Y}_{ij} = u + \hat{g}_i + \hat{g}_j$

** coeficiente de correlação de Pearson significativo a 1%