

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

HERANÇA GENÉTICA E ESTABILIDADE DE CARACTERÍSTICAS
RELACIONADAS À QUALIDADE DOS GRÃOS E DA FARINHA DE TRIGO

Vanderlei Doneda Tonon
Engenheiro Agrônomo/UFSM, Mestre em Agronomia/UFRGS

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Área de Concentração em Plantas de Lavoura

Porto Alegre (RS), Brasil
Março de 2010

HOMOLOGAÇÃO

**Dedico este trabalho a minha esposa
Reginara e ao meu filho Guilherme
pela compreensão da minha ausência
e pelo apoio incondicional.**

AGRADECIMENTOS

À FUNDACEP e ao Departamento de Plantas de Lavoura do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia da UFRGS pela oportunidade de execução do curso.

Ao Professor Luiz Carlos Federizzi pela orientação.

À Comissão de orientação composta pela Pesquisadora da Embrapa-Trigo Eliana Maria Guarienti e pelos professores Marcelo Teixeira Pacheco (PPG Fito-UFRGS) e Caciano Pelayo Zapata Noreña (ICTA-UFRGS) pelas críticas e sugestões de melhoria do trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação de Fitotecnia da UFRGS pelos ensinamentos.

Aos colegas pesquisadores da FUNDACEP, principalmente ao Luiz Hermes Svoboda pelo apoio na condução dos experimentos a campo e sugestões na realização das análises de laboratório.

À Embrapa Trigo, em especial a pesquisadora Martha Miranda e a todos os funcionários do laboratório de qualidade de trigo pelo auxílio na execução das análises.

Aos alunos do programa de Pós Graduação de fitotecnia Mércio Luiz Strieder, Ana Paula Wiethölter, Tatiana Terra, Divanilde Guerra e Ana Carolina Roso, pela harmoniosa convivência e apoio mútuo.

HERANÇA GENÉTICA E ESTABILIDADE DE CARACTERÍSTICAS RELACIONADAS À QUALIDADE DOS GRÃOS E DA FARINHA DE TRIGO ¹

Autor: Vanderlei Doneda Tonon
Orientador: Luiz Carlos Federizzi
Co-Orientadora: Eliana Maria Guarienti

RESUMO

A qualidade da farinha de um lote de trigo determina a velocidade e o valor da sua comercialização. O conceito de qualidade é definido a partir da interpretação da análise de diversos parâmetros físicos, químicos e reológicos que possibilita sua indicação para determinada finalidade. O conhecimento das bases genéticas que determinam estas características e a influência do ambiente sobre elas é de interesse dos programas de melhoramento genético que objetivam criar cultivares com qualidade de farinha definida. Neste trabalho foram estudadas as características de qualidade relacionadas a dureza dos grãos, a força do glúten e a cor da farinha. Os experimentos foram conduzidos a campo nos anos de 2007 e 2008 na Estação Experimental Agronômica da UFRGS em Eldorado do Sul, na FUNDACEP em Cruz Alta e em Bom Jesus. Os principais objetivos foram: quantificar a contribuição genética de genitores com valor fenotípico semelhante; determinar parâmetros genéticos de herdabilidade e número de genes envolvidos na expressão das três características em populações de linhagens homozigotas recombinantes (LHR) e verificar a interação genótipo x ambiente (GxA), a adaptabilidade e a estabilidade de 20 cultivares e linhagens elites em seis ambientes do RS. Concluiu-se que os parâmetros de qualidade avaliados foram controlados por genes de efeito aditivos e não aditivos e identificou-se genótipos com maior capacidade para transferir às progêneses seu valor fenotípico. A herança das características de cores da farinha e dureza dos grãos foi monogênica e para a força do glúten foi poligênica. A herdabilidade no sentido amplo foi de moderada a elevada para as três características. Os parâmetros de cor da farinha definidas pela luminosidade (L^*) e coordenadas de cromaticidade (b^*) foram significativamente influenciadas pela dureza dos grãos, sendo que as farinhas escuras derivaram de grãos mais duros. Nas populações de LHR estudadas, a força do glúten não foi correlacionada significativamente com a dureza dos grãos e cor da farinha, indicando a possibilidade de se obter genótipos recombinantes com farinha clara e glúten forte. Houve interação tríplice (genótipo x ano x local) para as três características e foi possível identificar genótipos com maior adaptabilidade e estabilidade.

¹ Tese de Doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (120 p.) Março, 2010.

GENETIC INHERITANCE AND STABILITY OF CHARACTERISTICS RELATED TO WHEAT GRAINS AND FLOUR QUALITY¹

Author: Vanderlei Doneda Tonon
Advisor: Luiz Carlos Federizzi
Co-advisor: Eliana Maria Guarienti

ABSTRACT

Flour quality of a wheat lot determines the speed and the value of its commercialization. Quality concept is defined departing from the interpretation of the analysis of several physical, chemical and rheological parameters which determine its indication for a given purpose. The knowledge of the genetic basis which determines these characteristics and the environmental influence on them is of interest of genetic improvement programs aiming to release cultivars with well defined flour characteristics. This work studied the quality characteristics related to grain hardness, gluten strength and flour color. The experiments were carried out in the field in the years 2007 and 2008 at the Agronomic Experimental Station of the Federal University of Rio Grande do Sul, in Eldorado do Sul, and at FUNDACEP, in Cruz Alta and Bom Jesus. The main goals were: quantify the genetic contribution of genitors with similar phenotypic values; determine heritable genetic parameters and number of genes in recombinant inbred line (RIL) progeny population and check the interaction genotype x environment (G x E), the adaptability and the stability of 20 cultivars and elite progenies in six environments in Rio Grande do Sul. It was concluded that the quality parameters evaluated were controlled by additive and non-additive effect genes, and genotypes with higher capacity to transfer to their progenies their phenotypic value were identified. The flour color parameters lightness (L*) and chromaticity coordinate (b*) grain hardness heritable characteristics were monogenic and for gluten strength polygenic. Heritability in the wide sense was moderate to high in the three characteristics studied. Flour colors were significantly influenced by grain hardness, and dark flours were derived from harder grains. In the RIL populations studied, gluten strength did not correlate significantly with grain hardness characteristics, indicating the possibility to obtain recombinant genotypes with light-colored strong gluten flour. There was triplex interaction (genotype x year x locality) for the three characteristics, and it was possible to identify genotypes with higher adaptability and stability.

¹ Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (120 p.) March, 2010.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Constituição do grão de trigo.....	5
2.2 Composição do endosperma dos grãos de trigo.....	6
2.3 Composição e estrutura das proteínas dos grãos de trigo.....	7
2.4 Estrutura das proteínas que compõem o glúten.....	9
2.5 Força do glúten.....	12
2.5.1 Testes reológicos para avaliação da força do glúten ...	14
2.5.1.1 Alveografia.....	14
2.5.1.2 Mixografia.....	15
2.5.2 Genética das proteínas que formam o glúten.....	16
2.6 Cor de Farinha.....	18
2.6.1 Medida da cor de farinha.....	20
2.6.2 Genética da cor de farinha.....	21
2.7 Dureza dos grãos.....	23
2.7.1 Medida da dureza dos grãos.....	24
2.7.2 Genética da dureza dos grãos.....	24
2.8 Fatores bióticos e abióticos que modificam a qualidade.....	26
2.8.1 Fertilidade do solo e fertilizantes.....	27
2.8.2 Precipitação.....	27
2.8.3 Temperatura.....	28
2.8.4 Doenças.....	29
2.9 Interação genótipo x ambiente.....	30
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Experimentos de campo.....	32
3.2 Testes físicos e reológicos.....	33
3.2.1 Alveografia.....	33
3.2.2 Mixografia.....	33
3.2.3 Dureza dos grãos.....	34
3.2.4 Cor da farinha.....	35
3.2.4 Número de queda ou Falling Number de Hagberg.....	35
3.3 Experimento 1 - Análise dialélica de seis genótipos de trigos brasileiros para características de qualidade tecnológica..	36
3.3.1 Híbridos e condução dos ensaios a campo	36
3.3.2 Estimativas dos parâmetros genéticos.....	37
3.4 Experimento 2 - Análise genética de características relacionadas a qualidade dos grãos e da farinha de trigo.....	38

3.4.1	Formação das populações das linhagens recombinantes homozigotas (LHR) e condução dos ensaios a campo.....	38
3.4.2	Estimativas dos parâmetros genéticos.....	41
3.5	Experimento 3 - Interação genótipo x ambiente de características de qualidade tecnológica da farinha de 20 genótipos de trigo em seis ambientes do RS.....	43
3.5.1	Escolha dos genótipos e condução do ensaio a campo	43
3.5.2	Análise genética.....	44
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.2	Experimento 1 - Análise dialélica de seis genótipos de trigos brasileiros para características de qualidade tecnológica.	47
4.1.1	Análise dos efeitos da Capacidade Geral (CGC) e Específica (CEC) de Combinação.....	47
4.1.2	Dureza dos grãos.....	48
4.1.3	Luminosidade (L*) da Farinha.....	51
4.1.4	Tempo de amassamento – Mixografia.....	52
4.1.5	Correlações.....	55
4.3	Experimento 2 Análise genética de características relacionadas a qualidade dos grãos e da farinha de trigo.....	57
4.2.1	Número de queda.....	57
4.2.2	Luminosidade (L*) da farinha.....	57
4.2.3	Cor b* da farinha	66
4.2.4	Dureza dos grãos.....	71
4.2.5	Tempo de amassamento -Mixografia.....	75
4.2.6	Correlações.....	84
4.4	Experimento 3 - Interação genótipo x ambiente de características de qualidade dos grãos e da farinha de 20 genótipos de trigo em seis ambientes do RS.....	89
4.3.1	Número de queda.....	89
4.3.1	Análise da variância da força do glúten, da luminosidade (L*) da farinha e da dureza dos grãos.....	90
4.3.2	Força de glúten – Alveografia.....	91
4.3.3	Luminosidade (L*) da farinha.....	93
4.3.4	Adaptabilidade e Estabilidade.....	95
4.3.5	Correlações.....	101
5.	CONCLUSÕES GERAIS.....	103
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
7.	APÊNDICES.....	113
8.	VITA.....	116

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1 Genealogia e classe comercial de seis genótipos de trigo utilizados na formação dos dialélicos.....	37
2 Metodologia de avanço de gerações para obtenção das linhagens homozigotas recombinantes das gerações F _{6:7} e F _{7:8}	41
3 Genótipos, genealogia e classificação quanto à classe comercial de cultivares e linhagens de trigo incluídas no estudo.....	44
4 Análise de variância para capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação do cruzamento dialélico entre seis cultivares de trigo, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.....	48
5 Média dos valores de dureza dos grãos de seis cultivares de trigo e seus híbridos F ₁ , Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.....	50
6 Estimativas dos efeitos de capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação do cruzamento dialélico entre seis cultivares de trigo para dureza dos grãos, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.....	50
7 Média dos valores de luminosidade (L*) da farinha de trigo de cinco cultivares de trigo e seus híbridos F ₁ , Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007....	52
8 Estimativas dos efeitos de capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação do cruzamento dialélico entre seis cultivares de trigo para luminosidade da farinha, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.....	52
9 Média dos valores de tempo de amassamento de seis cultivares de trigo e seus híbridos F ₁ , Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.....	54
10 Estimativas dos efeitos de capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação do cruzamento dialélico entre seis cultivares de trigo para teste de mixografia, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.....	55

	página	
11	Correlações entre as características de qualidade de grãos e farinha dos cruzamentos dialélicos, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.....	55
12	Teste de ajuste do qui-quadrado (χ^2) para a luminosidade da farinha nas LHR das gerações F _{6:7} e F _{7:8} das quatro populações, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	60
13	Valores da Variância Fenotípica (VP), de ambiente (VE), variância genotípica (VG) e herdabilidade no sentido amplo (h ² a) para o caráter luminosidade (L*) da farinha de duas populações de trigo, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	62
14	Teste de ajuste do qui-quadrado (χ^2) para a Cor b* da farinha nas LHR das gerações F _{6:7} e F _{7:8} de quatro populações, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	67
15	Valores da Variância Fenotípica (VP), de ambiente (VE), variância genotípica (VG) e herdabilidade no sentido amplo (h ² a) para o caráter coordenada b* da farinha em duas populações de trigo, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	69
16	Teste de ajuste do qui-quadrado (χ^2) para a dureza dos grãos nas LHR da geração F _{6:7} de duas populações, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2007.....	73
17	Valores do caráter tempo de amassamento (s), desvio padrão e número de indivíduos avaliados dos genitores e das LHR nas gerações F _{6:7} e F _{7:8} de quatro populações de trigo, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	76
18	Valores da Variância Fenotípica (VP), de ambiente (VE), variância genotípica (VG) e herdabilidade no sentido amplo (h ² a) para o caráter tempo de amassamento em duas populações de trigo, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	78
19	Correlação entre características de qualidade tecnológica avaliadas na População BRS120/Fundacep Cristalino , UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	87
20	Correlação entre características de qualidade tecnológica avaliadas na População BRS179/Fundacep Cristalino, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	87

	página	
21	Correlação entre características de qualidade tecnológica avaliadas na População BRS 120/CEP 9874, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2007.....	87
22	Correlação entre características de qualidade tecnológica avaliadas na População BRS 177/CEP 9874, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2007.....	88
23	Tempo de amassamento (s) e luminosidade da farinha de 10 LHR que apresentaram os maiores valores de tempo de amassamento das quatro populações, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.....	88
24	Valores médios de número de queda (s) e amplitude de variação de 20 genótipos de trigo nos seis ambientes do Rio Grande do Sul. UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	90
25	Resumo da análise da variância conjunta para as variáveis, força de glúten (W), luminosidade da farinha e dureza dos grãos de 20 genótipos de trigo avaliados em seis ambientes do Rio Grande do Sul, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	91
26	Valores de força de glúten (W) de vinte genótipos de trigo conduzidos em três locais no Estado do RS, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	93
27	Valores de luminosidade da farinha de vinte genótipos de trigo conduzidos em seis ambientes do RS, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	94
28	Valores médios para o caráter força de glúten (W), parâmetros de adaptabilidade (B_1), estabilidade (S^2d) e coeficiente de determinação (R^2) de 20 genótipos de trigo avaliados em seis ambientes, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	97
29	Valores médios para o caráter luminosidade da farinha, parâmetros de adaptabilidade (B_1), estabilidade (S^2d) e coeficiente de determinação (R^2), para 20 genótipos de trigo avaliados em seis ambientes, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	98
30	Valores médios para o caráter dureza dos grãos, parâmetros de adaptabilidade (B_1), estabilidade (S^2d) e coeficiente de determinação (R^2), de 20 genótipos de trigo em seis ambientes, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	100

	página	
31	Coefficiente de correlação linear dos testes de alveografia (força de glúten $\times 10^{-4}$ J) e mixografia (Tempo de amassamento em segundos) dentro (negrito) e entre os ambientes avaliados, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	101
32	Coefficiente de correlação linear das características de dureza dos grãos, luminosidade (L*) e cromaticidade (b*) da farinha e força de glúten nos ambientes avaliados, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.....	102

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1 Gráfico de alveografia mostrando a curva com seus componentes. W – Força do glúten, P – Tenacidade e L – Elasticidade.....	15
2 Gráficos de mixografia representando diferenças no tempo de amassamento (TA). Glúten fraco ou TA curto (0, 1 e 2), Média força de glúten ou TA médio (3, 4 e 5) e glúten forte ou TA longo (6 e 7).....	16
3 Distribuição de freqüência das linhas recombinantes para o caráter luminosidade da farinha das LHR da população BRS 120/Fundacep Cristalino na geração F _{6:7} em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e F _{7:8} em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	64
4 Distribuição de freqüência para o caráter luminosidade (L*) da farinha das LHR da população de BRS 179/Fundacep Cristalino na geração F _{6:7} em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e F _{7:8} em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	64
5 Distribuição de freqüência para o caráter luminosidade (L*) da farinha das LHR da população BRS 120/CEP9874 na geração F _{6:7} em Eldorado do Sul, 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	65
6 Distribuição de freqüência do caráter luminosidade (L*) da farinha das LHR da população BRS 177/Cep 9874 da geração F _{6:7} em 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	65
7 Distribuição de freqüência para o caráter coordenada b* da farinha das LHR da população BRS 120/Fundacep Cristalino na geração F _{6:7} em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e F _{7:8} em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	69

8	Distribuição de freqüência para o caráter coordenada b^* da farinha das LHR da população BRS 179/Fundacep Cristalino na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e $F_{7:8}$ em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	70
9	Distribuição de freqüência do caráter coordenada b^* da farinha de LHR da população BRS 177/Cep 9874 da geração $F_{6:7}$ em 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	70
10	Distribuição de freqüência do caráter coordenada b^* da farinha da população BRS 177/Cep 9874 da geração $F_{6:7}$ em 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	71
11	Distribuição de freqüência para o caráter dureza dos grãos das LHR da população BRS 120/Fundacep Cristalino na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007.....	74
12	Distribuição de freqüência para o caráter dureza dos grãos das LHR da população BRS 179/Fundacep Cristalino na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007.....	74
13	Distribuição de freqüência para o caráter tempo de amassamento da farinha das LHR da população BRS 120/Fundacep Cristalino na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e $F_{7:8}$ em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	80
14	Distribuição de freqüência para o caráter tempo de amassamento da farinha das LHR da população BRS 179/Fundacep Cristalino na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e $F_{7:8}$ em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	81
15	Distribuição de freqüência para o caráter tempo de amassamento da farinha das LHR da população BRS 120/CEP 9874 na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	81
16	Distribuição de freqüência para o caráter tempo de amassamento da farinha das LHR da população BRS 177/CEP 9874 na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.....	82
17	Mixografia indicando tempo de amassamento (TA) e medida da altura da curva (AC) de duas LHR da população BRS 179/Fundacep Cristalino, Cruz Alta – RS, 2008.....	83

RELAÇÃO DE APÊNDICES

	Página
1 Valores de índice de queda (s) de LHR colhidas aleatoriamente nas três épocas de colheita de quatro populações em Eldorado do Sul, 2007 e Cruz Alta, 2008.....	113
2 Resumo da análise da variância das características de cor de farinha, dureza dos grãos e tempo de amassamento (TA) das LHR das quatro populações nos dois anos de avaliação.....	114
3 Dados meteorológicos de temperatura (°C), índice de precipitação (mm), Umidade relativa do ar (URA-%) e insolação (horas) na cidade de Cruz Alta em 2007.....	114
4 Dados meteorológicos de temperatura (°C), índice de precipitação (mm), Umidade relativa do ar (URA-%) e insolação (horas) na cidade de Bom Jesus em 2008.....	115

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) foi introduzida em 1534 e desde então a sua produção passou por grandes oscilações, chegando a ser exportado no século 18. Posteriormente, em função do surgimento da ferrugem do colmo, o trigo praticamente deixou de ser cultivado, retornando às lavouras no século 20. A partir deste momento, o país inicia um processo de valorização da cultura, investindo em instituições de pesquisa, que tinham como objetivo dar suporte técnico aos produtores, atingindo com isso a quase auto-suficiência em produção na década de 80 (Lagos, 1983).

Atualmente, apesar dos grandes avanços na área tecnológica gerada pela pesquisa e significativo aumento na produtividade de grãos, a maior parte do trigo consumido no país ainda é importada, sendo uma das principais causas desta importação a inconstância da produção brasileira de trigo com relação a qualidade da farinha dificultando, desta forma, a sua comercialização. Este fato agravou-se ainda mais a partir de 1990 com a privatização da compra do trigo no Brasil. Até então, as indústrias moageiras eram obrigadas a comprar o trigo nacional repassados pelo governo através de cotas, sem considerar o aspecto de qualidade industrial. Desta forma, a partir desta data, a qualidade tecnológica da farinha de trigo passou a ser um requisito fundamental na comercialização, pois as indústrias puderam escolher

livremente de quem comprar o trigo e acabaram dando preferência para o produto importado, em função da sua qualidade industrial mais definida ao uso final e das melhores condições de comercialização através de maiores prazos de pagamento e isenções de determinadas taxas de importação (Petry, 2001). Entende-se por qualidade industrial ou tecnológica de farinha de trigo, o somatório de características que, em conjunto, fazem com que ela seja apropriada para uma respectiva finalidade. Estas propriedades são avaliadas através de testes físicos, químicos e reológicos, sendo possível, a partir de uma correta interpretação, prever o comportamento das farinhas para diferentes finalidades a que se destinam (Guarienti, 1996).

Para conseguir competir com o mercado internacional, os programas de melhoramento genético, que até aquele momento estavam mais concentrados no desenvolvimento de genótipos com elevado potencial de rendimento de grãos e resistência a estresses bióticos e abióticos, tiveram que se organizar na busca de variabilidade genética para o desenvolvimento de cultivares que também contemplassem a qualidade tecnológica definida ao uso final.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria do Trigo – ABITRIGO (2008), o volume de produção de farinha de trigo no Brasil atinge por ano aproximadamente 7 milhões de toneladas. Destes, 55 % é destinada a panificação, 17,1% para a produção de massas, 11,1% para a produção de biscoitos, 13,4% para farinha de uso doméstico e 3,4% para outros usos (tintas, colas, etc.). A Associação Brasileira da Indústria de panificação (ABIP) constatou que o consumo per capita de pão foi de 33 kg em 2006. Portanto, os pães industriais e artesanais são os alimentos derivados do trigo mais consumidos no Brasil. Neste sentido, a aparência do pão, determinada pelo

seu volume (força de glúten) e a cor, são fatores importantes para aceitação dos consumidores. A força do glúten, que é determinada pela proporção e interação entre proteínas de reserva do endosperma do grão, é o que expressa maior contribuição na determinação do uso final e esta característica é empregada para classificar a qualidade dos lotes de trigo no Brasil (BRASIL,1999).

A indústria de alimentos, sempre atenta à exigência do mercado, procura disponibilizar produtos que atendam as demandas do consumidor. Sendo assim, os programas de melhoramento genético de trigo no Brasil precisam desenvolver cultivares com características de qualidade definidas para os diferentes segmentos da indústria, sendo os mais importantes, pela maior quantidade consumida, aqueles destinados à panificação. Desta forma, o conhecimento das bases genéticas das características envolvidas na qualidade industrial da farinha de trigo é importante no auxílio a programas de melhoramento genético. Este conhecimento pode auxiliar os melhoristas nas diferentes etapas do processo de criação de novas cultivares, desde a escolha correta dos genitores nas hibridações até nos métodos de condução de populações nas gerações segregantes. Da mesma forma, para não haver redução da variabilidade genética pela restrição dos cruzamentos entre mesma classe de qualidade, é necessário conhecer o desempenho de progênies resultantes da combinação entre trigos distintos em qualidade, obtendo novas constituições genéticas superiores para qualidade de grãos, rendimento e tolerância a estresses bióticos e abióticos. Além disso, o entendimento das interações entre genótipo e ambiente para as características de qualidade tecnológica possibilita interpretação mais precisa de resultados de análises

obtida em distintos locais de cultivo. Esta caracterização mais criteriosa das cultivares em distintos ambientes de cultivo favorece o agricultor e a assistência técnica na escolha por cultivares que apresentem previsibilidade mais segura dos resultados de qualidade no ambiente que se pretende cultivar.

No Brasil, até o momento não existem estudos genéticos para as características de força de glúten avaliado pela mixografia, dureza dos grãos e cor de farinha. Este trabalho pretende gerar conhecimento sobre as bases genéticas destas características, assim como das interações do genótipo x ambiente que poderá auxiliar os programas de melhoramento na melhor escolha de métodos de seleção, assim como melhores genitores para obtenção de genótipos superiores para as características de qualidade tecnológica. Desta forma, os principais objetivos deste trabalho foram: quantificar a contribuição genética de diferentes genótipos de trigos brasileiros para características de qualidade tecnológica, através das medidas da capacidade geral e específica de combinação em cruzamentos dialélicos; determinar parâmetros genéticos de herdabilidade e número de genes envolvidos na força de glúten, dureza dos grãos e cor de farinha em populações de linhagens recombinantes resultante da hibridação entre genótipos pertencentes a distintas classes comerciais de trigo; caracterizar genótipos elites de trigos com distintas classificações quanto à força de glúten, dureza do endosperma e cor de farinha, cultivados em seis ambientes no RS e estudar as interações do genótipo com o ambiente, a adaptabilidade e a estabilidade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Constituição do grão de trigo

O grão de trigo é separado em três partes principais: o endosperma (83%), o pericarpo (14%) e o gérmen (3%). O pericarpo é derivado do ovário das flores e é constituído por seis camadas denominadas epiderme, hipoderme, células finas, células intermediárias, células cruzadas e células tubulares (Mousia *et. al.*, 2004). Além disso, apresenta alto conteúdo de fibras e cinzas (minerais) (Atwell, 2001). O germe de trigo representa a planta de trigo na fase embrionária. A maioria dos lipídios e muitos dos nutrientes essenciais para o grão estão concentrados no germe.

O endosperma representa o maior constituinte do grão e nele estão contidas as proteínas e o amido, que tornam o trigo um cereal único em relação a qualidade. Por isso, a composição do endosperma recebeu mais atenção no que diz respeito a análise genética de características de qualidade. Oitenta por cento do endosperma é composto de amido e a maior parte do restante é proteína. Até o momento, a maior contribuição da genética para o melhoramento da qualidade tem sido aprimorar a compreensão do controle genético dos componentes do endosperma (Wieser & Kieffer, 2001).

2.2 Composição do endosperma dos grãos de trigo

O maior componente químico do grão de trigo é o amido que representa 60 a 70% do seu peso. O endosperma contém dois tipos de grânulos de amido nomeados amido lenticular (A) e amido quase esférico (B). Os dois maiores componentes do amido são a amilose e a amilopectina que estão presentes na proporção 1:3. Propriedades distintas dos grânulos de amido como tamanho, forma e proporção amilose: amilopectina estão sob controle genético (Shewry *et al.*, 2001).

Com base na distribuição do tamanho dos grânulos podem ser esperadas mudanças nas propriedades reológicas da massa do pão, pois um aumento na proporção dos grânulos B fornece uma superfície muito maior para a ligação de proteínas, lipídios e água (Rahman *et al.*, 2000). Os pequenos grânulos de amido B aumentam a extensibilidade da massa do pão, enquanto os grânulos A aumentam a resistência à extensão.

A deposição de amido e de proteína ocorre em diferentes estágios de desenvolvimento dos grãos. No quinto dia após antese, existem pequenos grânulos de amido presentes em muitas células do endosperma e no centro do endosperma, as paredes celulares estão completamente formadas. Nesta fase, a aleurona é visível e embora os corpos de proteína não tenham sido formados, eles tornam-se evidentes no período entre o quinto e o décimo dia após antese. Entre 10 a 15 dias após antese os grânulos de amido aumentam e ocupam 50 a 60% das células do endosperma formado com grânulos B e corpos de proteína. Em 32 dias após antese as células são empacotadas com numerosos grânulos B, grandes grânulos A e corpos de proteína entre os grânulos de amido (Turnbull *et al.*, 2003).

A proteína no grão é acumulada lentamente nos tecidos do endosperma do trigo aos 20 dias após antese onde, durante este tempo, 40% da proteína são compostas pela gluteninas e gliadinas, consideradas as maiores classes de proteínas de reserva do grão e aos 45 dias o estoque de proteína do grão esta completa (Clarke *et al.*, 2001).

2.3 Composição e estrutura das proteínas dos grãos de trigo

O papel biológico das proteínas que compõem o glúten é fornecer uma reserva de carbono, nitrogênio, e enxofre para suprir a germinação das sementes, sendo suas propriedades visco elástica consequência puramente fortuita de sua constituição e interações.

A estrutura do endosperma dos grãos de diferentes cereais é similar. Com base na morfologia dos grãos de cereais, as proteínas podem ser divididas em três grupos: proteínas do endosperma, proteínas da camada de aleurona, e proteínas do embrião. A concentração da proteína nas diferentes partes morfológicas dos grãos revela grandes variações. O teor de proteínas do embrião é o mais alto (cerca de 30%). Concentração relativamente elevada (cerca de 20%) pode ser observada na camada de aleurona e as mais baixas concentrações de proteínas estão no endosperma. As proteínas de reserva formam uma matriz ou grânulos de proteína em volta dos grânulos de amido. A concentração da proteína diminui do interior para o exterior do endosperma (Wieser, 2007).

As proteínas de reserva do grão são tipicamente proteínas do endosperma. As proteínas do glúten estão entre as mais complexas redes de proteínas da natureza através de seus numerosos componentes que variam de tamanho e forma. Sua variabilidade depende da constituição genotípica e das

condições que ocorrem durante o processo de desenvolvimento dos grãos, como clima e procedimentos tecnológicos usados na condução das plantas, como rotação de culturas, adubação e controle de pragas e de doenças (Wieser, 2007).

Proteínas geralmente constituem de 7 a 15% da farinha considerando uma base de umidade de 14% (Atwell, 2001). As proteínas que formam o glúten são as mais amplamente estudadas proteínas de plantas, com trabalhos datados de 1745 por Beccari na Universidade de Bologna que reportou a primeira separação do glúten (Shewry *et al.*, 2001).

O clássico procedimento de fracionamento das proteínas desenvolvido por Thomas Osborne, em 1924 tem sido usado há anos para dividir as proteínas de cereais em quatro grandes grupos em função das suas solubilidades (Anjum *et al.*, 2007). As albuminas são solúveis em água; as globulinas são solúveis em soluções salinas; as prolaminas são solúveis em alcoóis aquosos e algumas glutelinas são solúveis em meio ácido ou alcalino. É importante salientar que cada uma dessas frações é uma mistura complexa de diferentes polipeptídios, e também, que estes polipeptídios se sobrepõem em suas solubilidades. Isto é particularmente verdade para as gluteninas. Os dois grupos de proteínas que conferem propriedades especiais na qualidade do trigo são a glutenina, responsável pela elasticidade e a gliadina pela extensibilidade da massa (Payne *et al.*, 1984). A glutenina é subdividida em subunidades conforme seu peso molecular, em alto (APM) e baixo peso molecular (BPM) (Payne *et al.*, 1981). Cerca de 50% das proteínas de reserva do grão é constituído por gliadina, enquanto que entre 10% e 40% são subunidades de glutenina de APM e BPM, respectivamente (Payne *et al.*,

1984). As gliadinas são proteínas monoméricas e uma das duas principais constituintes do complexo do glúten de trigo. É uma prolamina que compõe cerca de 30% de todas as proteínas da farinha. O outro grande componente do glúten, as gluteninas são proteínas poliméricas e classificadas como glutelinas.

As prolaminas são as principais proteínas de reserva do trigo presentes nas células do endosperma do grão, onde elas são sintetizadas e depositadas através do sistema secretor. Assim, os polipeptídios individuais são sintetizados nos ribossomos do retículo endoplasmático rugoso (RER) e passam pela maquinaria de translocação usual para dentro do lúmen, com a perda do peptídeo sinal N-terminal. O destino posterior das proteínas pode variar com o tipo de proteína e com a idade e estágio de desenvolvimento do tecido. Algumas das proteínas parecem ser transportadas através do aparelho de Golgi para o vacúolo, onde elas formam depósitos de proteínas (Shewry, 1999). No entanto, as outras parecem acumular-se diretamente no lúmen do retículo endoplasmático (RE) para formar uma segunda população de corpos de proteína (Anjum *et al.*, 2007).

2.4 Estrutura das proteínas que compõem o glúten

As proteínas que compõem o glúten desempenham papel determinante na qualidade única do trigo, conferindo capacidade de absorção de água, coesão, viscosidade e elasticidade na massa (Wieser, 2007).

Os aminoácidos são os blocos estruturais das proteínas. Vinte deles ocorrem naturalmente na maior parte das proteínas, e cada um contém um grupo amino, um grupo ácido carboxílico, e um grupo lateral (referido como o grupo R). Os grupos amino e grupos ácidos carboxílico estão unidos em

proteínas para formar ligações peptídicas e, portanto uma seqüência de aminoácidos em conjunto para formar longas cadeias de proteínas. A seqüência de aminoácidos, chamada cadeia, é a principal estrutura da proteína. O grupo R não está envolvido na ligação peptídica. No entanto, o caráter do grupo R influencia a forma como a proteína interage com outras cadeias de proteínas ou outros componentes do sistema. A composição dos aminoácidos das proteínas do glúten, gliadinas e gluteninas, é diferenciada pelo fato de que relativamente poucos aminoácidos são predominantes. Glutamina, um aminoácido que contém um grupo amina lateral que se liga bem a água, constitui mais de 40% dos todos os aminoácidos que compõem estas proteínas. Outro aminoácido que compõem cerca de 15% das gliadinas e 12% das gluteninas é a prolina, que tem uma estrutura cíclica e grupo R que coloca uma dobra em uma cadeia de aminoácidos ácidos (Atwell, 2001; Wieser, 2007). A cisteína, embora represente o aminoácido de menor constituição do glúten (2%), é extremamente importante para a funcionalidade do glúten (Wieser, 2003). A maioria das cisteínas está presente num estado oxidado e formam pontes de dissulfeto dentro da proteína ou pontes de dissulfeto entre proteínas (Wieser, 2007).

Em química, um dissulfeto usualmente refere-se a unidade estrutural composta de um par ligado de átomos de enxofre. Estas ligações são o alvo principal para a maioria das reações redox que ocorrem durante a maturação dos grãos, na moagem, na preparação de massas e na panificação. A cisteína é o único aminoácido que tem a capacidade de formar ligação com as proteínas e suas cadeias contêm no grupo R o enxofre, que constitui outro tipo de estrutura secundária de proteínas. A formação ou a destruição das ligações

tem grande efeito sobre o tamanho das moléculas de glúten. Estes três aminoácidos (glutamina, prolina e cisteína) desempenham papel importante na explicação das características das proteínas do glúten. Eles podem ser caracterizados em quatro tipos, dependendo da estrutura do seu grupo R: ácido, básico, neutro e imparcial hidrofílico e hidrofóbico. Os aminoácidos ácidos e básicos entram em interações envolvendo atração ou repulsão eletrostática e os aminoácidos neutros, exercem influência na forma como as proteínas ligam-se a água (Atwell, 2001). Os resíduos de cisteína formam pontes de dissulfetos intermoleculares entre gluteninas de baixo e alto peso molecular (Wrigley, 1996). O alto nível de resíduos de glutamina apresenta alta capacidade de formar pontes de hidrogênio intra e intermolecular e é postulado que esta característica esteja envolvida na elasticidade da massa (Belton, 1999). A estrutura covalente da rede de glúten é sobreposta por ligações não-covalentes (hidrogênio, ligações iônicas e ligações hidrofóbicas). Embora esta classe de ligações químicas tenha menos energia do que ligações covalentes, elas estão claramente envolvidas na agregação do glúten e de proteínas de estrutura de massa. Elas são diferentes de outras ligações, porque a sua energia aumenta com o incremento da temperatura, o que pode explicar a estabilidade da massa durante o processo de cozimento (Wieser, 2007). Desta maneira, pontes de dissulfeto desempenham papel importante na determinação da estrutura e das propriedades das proteínas do glúten. Proteínas monoméricas (gliadinas) apresentam entre três e quatro pontes intermoleculares, enquanto que as poliméricas (gluteninas) de APM e BPM incluem pontes de dissulfeto tanto intra como intermoleculares (Shewry & Tatham, 1997). A distribuição do peso molecular das gluteninas foi reconhecida

como uma das principais determinantes da qualidade de panificação devido o estado da estrutura das pontes de dissulfeto que depende de fatores genéticos (presença de determinadas subunidades), fatores ambientais (deficiência de enxofre, calor ou estresse hídrico), e pela presença de agentes redutores ou oxidantes (Wieser *et al.*, 2006b).

2.5 Força do glúten

A força de glúten representada na alveografia pela letra W (work) é um valor relacionado com a quantidade e qualidade das proteínas que interagem para formar o glúten. As proteínas gliadina e glutenina apresentam propriedade única, pois quando em contato com a água formam uma massa visco-elástica conhecida como glúten. A gliadina confere elasticidade na massa, enquanto que a glutenina é responsável pela extensibilidade no complexo de glúten (Peña, 2002).

O glúten, em panificação, é responsável pela retenção do gás carbônico produzido durante o processo fermentativo e faz com que o pão aumente de volume. Uma farinha de trigo com glúten forte possui, em geral, maior capacidade de retenção de gás carbônico. Uma farinha com glúten fraco, por sua vez, apresenta deficiência nesta característica. A força de glúten é uma das principais medidas de qualidade de uma farinha, ditando a finalidade a que ela se destina. Normalmente é utilizada para designar a maior ou menor capacidade de uma farinha de sofrer tratamento mecânico ao ser misturada com água, associada à maior ou menor capacidade de absorção de água pelas proteínas formadoras do glúten e combinadas com a capacidade de retenção

do gás carbônico, resultando em bom produto final de panificação, biscoito ou massa alimentícia.

A variação na quantidade de proteína no grão pode influenciar a propriedade de força da massa de uma determinada cultivar. Porém, somente a quantidade de glúten não pode explicar a diferença de qualidade entre as cultivares, pois, além disso, pode existir um desequilíbrio no balanço ideal de glutenina/gliadina, que provoca a alteração nas propriedades visco-elásticas. (Weegels, 1996; Wieser et al., 2007).

A classificação comercial da qualidade tecnológica de um lote de trigo é definida pelo “Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Trigo” cujos parâmetros atualmente em vigor, estão definidos na Instrução Normativa nº 7 de 15 de agosto de 2001. Segundo esta legislação e, em base a força de glúten determinada pelo teste de alveografia, os lotes comerciais de trigo são distribuídos em três classes, a saber: Trigo Melhorador ($W \geq 300 \times 10^{-4} J$), Trigo Pão ($W = 180-299 \times 10^{-4} J$) e Trigo Brando ($W = 50-179 \times 10^{-4} J$). Estes mesmos parâmetros servem de base para classificar as cultivares pelas instituições obtentoras de genótipos quando do seu registro no Ministério da Agricultura e no lançamento comercial. O enquadramento de uma cultivar em determinada classe é determinada em base na maior frequência percentual de suas análises pertencerem a determinada classe, uma vez que o efeito do ambiente apresenta interferência no desempenho qualitativo de suas amostras.

2.5.1 Testes reológicos usados para avaliação da força do glúten

Por reologia entende-se o ramo da mecânica (física) que estuda as deformações e o fluxo da matéria, especialmente, o comportamento das massas ante seus limites de resistência à deformação. Na farinha de trigo são importantes as medidas de extensibilidade e de tenacidade da massa.

2.5.1.1 Alveografia

A alveografia é um teste reológico que simula, graficamente, o comportamento da farinha durante a etapa de fermentação no processo de panificação, utilizando para isso o equipamento alveógrafo. São avaliados na alveografia, a força e o trabalho mecânico ($W = \text{work} = \text{trabalho}$) necessários para expandir a massa. Neste teste, é preparada uma massa, com farinha de trigo e solução de cloreto de sódio, considerando absorção padrão de água. Com esta massa são feitos pequenos discos de circunferência e espessura uniformes que são colocados sobre uma meia esfera metálica oca e, através de orifícios, nessa meia esfera, insufla-se ar, sob a lâmina da massa, para a formação de uma "bolha" de massa até a sua ruptura. Durante este processo ocorrem variações de pressão que são registradas por um manômetro que expressa os valores em forma de gráfico (FIGURA 1). A partir deste gráfico são calculados: força de glúten (W), tenacidade (P), extensibilidade ou elasticidade (L), e a relação tenacidade / extensibilidade (P/L) (Guarienti et al., 1996).

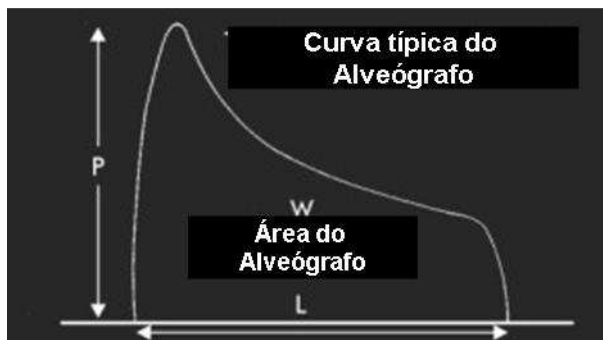


FIGURA 1. Gráfico de alveografia mostrando a curva com seus componentes.
W – força do glúten, P – tenacidade e L – elasticidade.

2.5.1.2 Mixografia

A mixografia é um teste que avalia a qualidade da proteína da farinha. O equipamento utilizado é denominado mixógrafo que simula uma amassadeira de uso comercial (Khatkar *et al.*, 1996). O aparelho usa pinos fixos e rotativos para trabalhar a mistura de farinha com água. Enquanto o trabalho mecânico produzido na massa é desenvolvido, paralelamente uma informação gráfica em forma de curva é construída em papel, com escala de tempo. Esta curva fornece informações sobre as propriedades da farinha. O ponto mais alto da curva está relacionado com o tempo ideal de desenvolvimento da massa ou tempo de amassamento (TA). O TA é o tempo medido em segundos do início até o ponto mais alto da curva (FIGURA 2). Outra determinação é a altura em centímetros do ponto mais alto da curva e que apresenta relação com o índice de proteína da farinha.

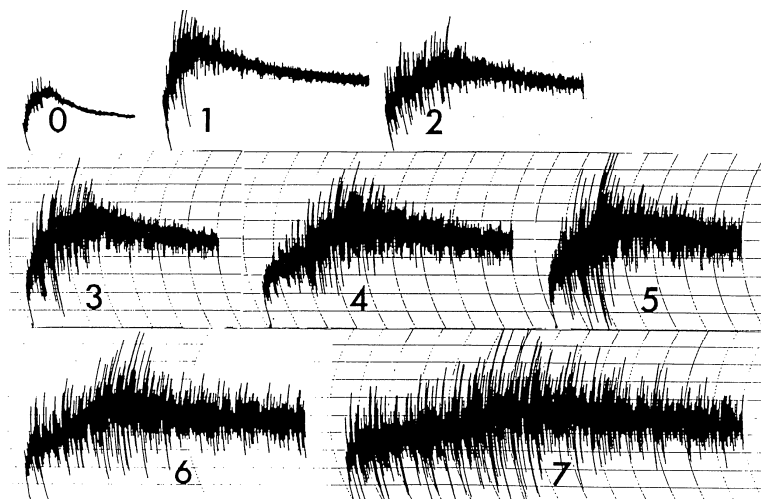


FIGURA 2. Gráficos de mixografia representando diferenças no tempo de amassamento (TA). Glúten fraco ou TA curto (0, 1 e 2), Media força de glúten ou TA médio (3, 4 e 5) e glúten forte ou TA longo (6 e 7).

2.5.2 Genética das proteínas que formam o glúten

As gluteninas são produzidas por genes localizados apenas nos cromossomos do grupo 1. As subunidades de gluteninas APM surgem de genes nos braços longos, enquanto as subunidades BPM são produzidas pelos genes fortemente ligados a genes da gliadina, no braço curto. Variações genéticas com base na mobilidade em gel de poliacrilamida, tanto para subunidades de gliadinas e gluteninas é extensa. Exaustiva experimentação foi conduzida na tentativa de explicar a variação da qualidade do trigo em função da variação genética na subunidade de proteínas da composição do glúten (Payne *et al.*, 1984, Bietz & Lookhart, 1996; MacRitchie, 1999; Zanatta *et al.*, 2002).

As gluteninas de APM são codificadas no locus Glu-1 nos braços longos dos cromossomos do grupo 1 (1A, 1B e 1D) (Payne, 1987). Esses locos são denominados Glu-A1, Glu-B1 e Glu-D1, respectivamente. Cada loco inclui dois

conjuntos de genes ligados que codificam dois tipos de subunidades de gluteninas APM denominadas tipo-x e tipo-y (Payne, 1987; Shewry *et al.*, 1992). A subunidade do tipo-x geralmente tem uma menor mobilidade eletroforética em gel de SDS-PAGE e massa molecular superior a subunidade do tipo-y. Payne e Lawrence (1983) resumiram a quantidade dos alelos no loco Glu-1, sendo três formas alélicas no Glu-1A, 11 alelos no Glu-1B, e seis alelos no Glu-1D. As gluteninas de BPM são controladas por genes no loco Glu-A3, Glu-B3 e Glu-D3 no braço curto do cromossomo 1A, 1B e 1D, respectivamente.

Num estudo feito com uma coleção de 222 variedades de trigo hexaplóide oriundas de 32 países, Gupta e Shepherd (1990) detectaram 20 padrões de bandas diferentes, sendo seis para o loco Glu-A3, nove para o loco Glu-B3 e cinco para o loco Glu-D3. Análise da substituição de linhas e translocação do cromossomo do grupo 1 mostrou que os diferentes padrões dos grupos foram controlados por genes no braço curto dos cromossomos 1A, 1B e 1D. Em função do real número de combinações de bandas eletroforéticas em gluteninas de BPM ser muito menor que o total de combinações possíveis de forma aleatória, presume-se que os genes que controlam as gluteninas BPM estão intimamente ligados. Elas formam grupos que são herdados em conjunto, semelhantes aos blocos de controle de gliadina (Lagudah *et al.*, 1991).

Gliadinas surgem de famílias multigênicas localizadas no braço curto do grupo 1 e do grupo 6 de cromossomos homólogos (Bietz & Lookhart, 1996). Eles são genes intimamente ligados localizados em três locos homólogos do cromossomo do grupo 1: Gli-A1, Gli-B1, e Gli-D1 e do grupo 6: loci Gli-A2, Gli-B2 e Gli-D2. Cada grupo codifica para um número de polipeptídeos (blocos) que são herdados de forma mendeliana e alelismo múltiplo foi estabelecido em

ambos os locos Gli-1 e Gli-2. Alguns pesquisadores têm sugerido que as gliadinas são controladas pelo grupo de genes nos locos Gli-1 e Gli-2 e que outros genes são independentes destes locos. Variantes alélicas dos blocos diferem no número, mobilidade e intensidade de seus componentes e pode ser caracterizada através do A-PAGE.

A herança da característica força de glúten em trigo, medida indiretamente através da mixografia apresenta herança quantitativa (Campbell, 2001; Barnard et al., 2002). Com relação a herdabilidade da força de glúten, Mittelman *et al.*, (2000) num estudo envolvendo vários cruzamentos de genótipos brasileiros contrastantes para a característica, medido através do volume de sedimentação de dodecil sulfato de sódio (SDS), encontraram estimativa da herdabilidade variando entre 0,04 até 0,74 dependendo da população. Barnard *et al.*, (2002) estimaram a herdabilidade para características relacionadas a força de glúten através de cruzamentos dialélicos e encontraram valores baixos para herdabilidade no sentido amplo e restrito para o teste de micro sedimentação (MS-SDS) e valores variando de baixo (0,21) no sentido restrito a alto (0,72) no sentido amplo, para o teste de mixografia. Gras & O'Brien (1992) encontraram valores médios a altos para herdabilidade pai-progenie para tempo de amassamento usando teste de mixografia nas geração segregantes F_2 e F_3 .

2.6 Cor de Farinha

A cor da farinha, apesar de ter uma função muito mais organoléptica do que propriamente funcional no processo de industrialização do trigo, também é um importante critério utilizado para aferir a qualidade do lote de trigo. A farinha

deve ser alva ou levemente amarelada e sem pontos negros (farelo), principalmente quando destinada ao mercado de pães e massas. A cor da farinha deriva, principalmente, do seu teor de carotenóides, de proteínas, de fibras e da presença de impurezas na moagem. Sendo assim, a cor é um importante atributo da característica de qualidade, pois irá refletir diretamente na aparência do produto que será fabricado com a mesma (Ortolan, 2006).

Dois tipos de medidas de cores são usados na farinha: luminosidade e amarelecimento. O primeiro é influenciado pelo teor de farelo e outros materiais estranhos na farinha e está diretamente relacionado com o teor de cinzas. O segundo é o resultado da quantidade de pigmentos naturais presentes. Estas características são afetadas pelo genótipo e o ambiente de cultivo. Além disso, outras condições são determinantes na cor, como teor de proteína das amostras, dureza dos grãos e do efeito da moagem, que interfere diretamente no teor de cinzas e na granulometria das partículas. Ainda, o condicionamento e a atividade enzimática, principalmente pelas enzimas polifenoloxidasas (PPO) e α -amilase e ainda, a presença de pigmentos, têm influência direta na cor da farinha (Pomeranz, 1988; Davies & Berzonski, 2003; Souza *et al.* 2004).

Segundo Ortolan (2006), a cor da farinha é um importante parâmetro de aceitação por parte dos consumidores, sendo que as alterações nesta fração podem trazer problemas para a cadeia produtiva do trigo. Farinhas mais claras são produzidas por grãos de textura mais macia e, em geral com menor força de glúten e farinhas mais escuras podem apresentar qualidade de panificação superior, pois são obtidas geralmente por trigos de endosperma duro com maior força de glúten e, portanto mais adequados para a panificação.

No Brasil, segundo a ABITRIGO (2009) a maior parte do consumo de farinha de trigo (55%) é para panificação, por isso a cor da farinha representa importante aspecto na qualidade, pois a preferência nacional é por pães de coloração mais clara. Desta maneira, os lotes de trigo que resultam em farinhas de coloração mais branca são preferidos pela indústria com o propósito de efetuação de mesclas com o trigo importado que geralmente apresenta coloração de farinha mais escura. Considerando a média dos últimos nove anos, o Brasil importou anualmente 6,4 milhões de toneladas de grãos de trigo contra um consumo médio de 10,5 milhões de toneladas (CONAB, 2009). Neste período o maior fornecedor foi a Argentina que exportou para o Brasil anualmente em média 5,2 milhões de toneladas. É necessário, desta forma, que os programas de melhoramento genético forneçam variedades que apresentem coloração de farinha mais clara, sendo indispensável, para isso, o conhecimento das bases genéticas que controlam esta característica.

2.6.1 Medida da cor de farinha

A Commission Internationale de L'Éclairage (CIE), em 1931, propôs um sistema para representação perceptual de cores usando as cores básicas: azul, verde e vermelho. Este método, no entanto, apresentava problemas, pois os padrões não correspondiam a estímulos reais de cores (Minolta, 1994). Em 1976, o CIE desenvolveu um novo sistema para a definição de cores denominado sistema tristímulos de cores CIE $L^* a^* b^*$ e atualmente é um dos mais populares sistemas utilizados para medir cores de um objeto. Um exemplo destes aparelhos é o colorímetros da marca Minolta. Estes instrumentos oferecem várias escalas de cor, sendo todas estas transformadas

matematicamente. As medidas são contribuições proporcionais do vermelho, verde e azul de um espectro visível que combina a amostra de cor. Os valores determinados são a luminosidade (L^*) e as coordenadas de cromaticidade (a^* e b^*). O L^* é uma função da contribuição do espectro verde e uma medida do brilho ou luminosidade que vai do preto (0) até o branco (100). O a^* é uma função da diferença do vermelho-verde, quando for positivo indica vermelho e quando negativo, verde. O b^* é uma função da diferença do verde-azul, quando for positivo indica amarelo e quando negativo, azul. Instrumentos que utilizam o sistema L^* , a^* e b^* com a construção da iluminação padrão oferecem a possibilidade de simultâneas medidas de todos os atributos de cor de uma farinha (Minolta, 1994).

2.6.2 Genética da cor de farinha

O maior volume de estudos genéticos constantes na literatura internacional com cor de farinha é sobre a coordenada de cromaticidade b^* , em função do seu uso na caracterização da qualidade de massas instantâneas (*noodles*), consumidas em grande quantidade nos países do continente asiático.

Parker *et al.* (1998) localizaram no cromossomo 7A marcadores moleculares associados a coordenada b^* da farinha estudando o comportamento de 150 linhagens das gerações F_4 e F_5 e encontraram valor de herdabilidade elevada (0,68). As avaliações deste estudo foram realizadas em dois anos, sendo que no primeiro ano foi encontrada distribuição de frequência bimodal nas linhagens e no segundo ano de estudo os resultados revelaram frequência contínua para a característica. Posteriormente, Mares & Campbell

(2001) num estudo desenvolvido com linhas duplo haplóides, encontraram que o conteúdo de xantofila, carotenóide responsável pela coloração amarela, está relacionado com a coordenada b^* e apresenta forte associação com QTLs localizado também no cromossomo 7A, corroborando com os trabalhos anteriores. Recentemente, Zhang e colaboradores (2009) trabalhando com população de trigo duplo-haplóides encontraram distribuição de segregação contínua e alguns QTLs associados à coordenada b^* da farinha.

O L^* da farinha que tem associação com o brilho ou luminosidade tem maior importância para os produtos consumidos no Brasil, principalmente o pão. No entanto, a literatura nacional é desprovida de trabalhos genéticos com a luminosidade. Estudo realizado por Barnard *et al.* (2002), utilizando cruzamentos dialélicos e analisando amostras de grãos da geração F_2 para características do L^* da farinha, encontraram que o efeito da capacidade geral de combinação foi altamente significativo, indicando que esta característica está sob controle genético aditivo, embora a capacidade específica de combinação apresentasse também alguma influência.

Recentemente, Zhang e colaboradores (2009) concluíram que os parâmetros de L^* e b^* da farinha seguem padrão de herança quantitativa e identificaram diversos locos de herança quantitativa (QTL) de efeito aditivo, distribuídos em 19 cromossomos do genoma em população de linhagens duplo-haplóides.

2.7 Dureza dos grãos

A dureza do endosperma dos grãos é utilizada como forma de classificação de trigo. Esta característica atua de forma direta no processo de moagem determinando a forma e o tamanho das partículas e o rendimento de farinha (Turnbull & Rahman, 2002).

A textura do grão de trigo é definida como a energia necessária para reduzir o endosperma em fragmentos. O mecanismo fisiológico que controla a dureza dos grãos ainda não foi totalmente elucidado, mas o controle genético é determinado pelo loco *ha* que inclui genes codificando proteínas da suavidade dos grãos, associados com grânulos de amido e proteínas nomeadas puroindolina-a e puroindolina-b. Desta forma, precocemente é possível identificar o fenótipo para a característica de dureza dos grãos (Turnbull *et al.*, 2003).

A textura do grão de trigo hexaplóide é dura ou mole e cada dureza resulta em farinha com características de diferentes finalidades de uso, que são dependentes da hidratação da proteína e do desenvolvimento através da mistura. Farinha de trigo duro é geralmente usada para fazer pão e massas alimentícias, e de trigo mole é geralmente preferido para confecção de biscoitos e bolos. Grãos duros requerem mais energia para serem reduzidos a farinha, em comparação aos de grão mole e, seus grânulos de amido são mais danificados durante o processo de moagem. Grânulos de amido danificado absorvem mais água, alterando diversas propriedades durante o processo de cozimento (Mok & Dick, 1991).

2.7.1 Medida da dureza dos grãos

A dureza do grão pode ser definida como o grau de adesividade entre as moléculas de amido e proteína e depende diretamente da continuidade da matriz protéica do endosperma. A dureza dos grãos pode ser determinada usando equipamento SKCS - Single Kernel Characterization System (Sistema de Caracterização Individual da Semente). Este equipamento utiliza amostra de 300 grãos e analisa individualmente cada grão. O índice de dureza, medido pelo SKCS, mede a força necessária para triturar o grão de trigo levando em consideração o peso, o diâmetro e a umidade individual do grão.

2.7.2 Genética da dureza dos grãos

As diferenças de textura do endosperma, que existem entre genótipos de trigo, são explicadas pelas diferenças na resistência de união entre a superfície dos grãos de amido e da matriz de proteínas no interior das células do endosperma (Lillemo & Morris, 2000).

Estudos do controle genético da dureza dos grãos de trigo têm demonstrado que a diferença da dureza entre trigo duro e mole é devido a um grande loco responsável pela dureza denominado *ha* (hardness=dureza), localizado no braço curto do cromossomo 5D (Giroux & Morris, 1998). Uma proteína de tamanho 15-kDa está presente nos extratos de água de lavagem com grânulos de amido de trigo mole e ausente nos grãos de difícil desagregação ou duros (Jolly *et al.*, 1993). Assim, esta proteína é um marcador da suavidade dos grãos e tem sido chamada de "friabilina" ou proteína da suavidade do grão. Também foi mostrada a sua correlação com o nível qualitativo da dureza do grão. Evidências experimentais têm indicado que a

friabilina está associada com a suavidade do grão e que esta é uma característica dominante (Turnbull & Rahman, 2002). Friabilina está presente na superfície de água de lavagem do amido e é abundante em trigo mole e escasso ou ausente em amido de trigo duro (Morris, 1994). A friabilina é essencialmente composta por dois sub-polipeptídeos denominados puroindolina-a (pin-a) e puroindolina-b (pin-b). No entanto, esta proteína polipeptídica não parece ser específica para o trigo mole, porque ela também está presente no endosperma do trigo duro (Jolly *et al.*, 1993). Desta maneira, a friabilina sozinha não é útil como marcador da dureza ou maciez dos grãos (Wrigley, 1994). Além disso, o ambiente também foi mostrado modular a penetrância do loco *Ha* (Jolly *et al.*, 1993). Não existe evidência direta de que os genes *pin* sejam produto do loco *Ha* (Sourdille *et al.*, 1996). No entanto, alguns resultados sugerem que o loco *Ha* consistiria de genes pin-a e pin-b. Foi constatado que a presença de uma única mutação em qualquer proteína, no aminoácido glicina ou na seqüência da serina de pin-b está associada com grãos de textura dura. Morris *et al.*, (2001) concluíram que a dureza dos grãos de trigo é conferida pelo alelo nulo do loco de pin-a ou por mutação específica no loco pin-b.

2.8 Fatores bióticos e abióticos que modificam a qualidade

A qualidade tecnológica da farinha de trigo pode ser definida pela interação que ocorre entre o genótipo, as condições de ambiente e as práticas de cultivo. Os fatores abióticos de maior relevância na definição da qualidade são fertilidade do solo, índice de precipitação, luminosidade e temperatura durante a formação dos grãos. O controle de pragas e doenças representam os

fatores bióticos que podem interferir de forma significativa no resultado das análises que definem a qualidade de um lote de trigo.

2.8.1 Fertilidade do solo e fertilizantes

Dentre os fertilizantes mais estudados que alteram as características de qualidade de trigo está o nitrogênio. A fertilização com nitrogênio é um importante fator influenciando o conteúdo de proteína. Grande quantidade de nitrogênio disponível, traduz-se em maior conteúdo de proteína no grão e na farinha (Altenbach *et al.*, 2002).

O incremento no conteúdo de proteína usualmente resulta em maior extensibilidade da massa e melhor potencial para fabricação de pão (Bushuk, 1998). Johansson *et al.*, (2003), desenvolveram um estudo da influência do genótipo, ano de cultivo e nível de fertilizante na quantidade e distribuição de proteínas mono e poliméricas e sua influência na qualidade de panificação. Estes autores constataram que quando se disponibilizou maiores níveis de nitrogênio para a planta, ocorreu acréscimo na quantidade das proteínas do grão e, como consequência aumento nos valores de força de glúten.

Segundo Boehm *et al.* (2004), o aumento de proteínas do grão de trigo pode ser explicado pelo uso de fertilizantes a base de nitrogênio. Desta forma, a quantidade de proteína é diretamente proporcional a disponibilidade de nitrogênio. Para a cor de farinha, isto tem implicação negativa, pois Lang *et al.* (1998) encontraram que variedades de trigo que continham altos teores de proteína apresentavam produtos finais com coloração tendendo ao escuro, ou seja, a cor da farinha e de seus produtos foi afetada negativamente pela quantidade de proteína.

2.8.2 Precipitação

No campo, a embebição de água em condição de baixa temperatura é o fator primordial para a superação da dormência dos grãos e resulta na germinação antecipada na espiga (Noda *et al.*, 1994). A enzima α -amilase, que é sintetizada no tecido da aleurona do endosperma e no escutelo do embrião é a principal enzima que baixa a qualidade da farinha de trigo. O excesso de precipitação tem como consequência principal a diminuição no rendimento de grãos e a deterioração da qualidade da farinha (Derera, 1989, Bassoi, 2004).

As principais implicações da germinação na espiga na qualidade dos grãos são o baixo peso do hectolitro, associada a baixa extração de farinha, assim como pão de pouco volume e com estrutura deficiente (Tretowan, 2001). Esta deterioração do trigo germinado é resultado da atuação da enzima α -amilase, que age em conjunto com outras enzimas hidrolizando o amido e as proteínas de reserva do grão. Segundo Wieser *et al.*, (2006a), as gliadinas degradam em maior quantidade e mais rapidamente quando comparadas com as gluteninas. Esta diferença na degradação pode ter grandes implicações no uso de grãos germinados na fabricação de pão. A enzima α -amilase também afeta a cor da farinha. Ela é responsável pelo escurecimento da massa durante o seu processamento no forno, pois o aumento de açúcares redutores livres quando combinado com o grupamento amino das proteínas em alta temperatura, levam a uma reação de escurecimento denominada de “Reação de Maillard”, onde ocorre a formação de compostos escuros denominados melanoidinas (Ragae & Abdel-aal, 2006).

2.8.3 Temperatura

O estresse de temperatura é identificado como um dos principais fatores que afetam o rendimento e a qualidade do trigo no mundo. A alta temperatura durante o período de enchimento do grão é indicada como uma das principais causas para o aumento da quantidade de proteína, porém com decréscimo de sua funcionalidade (Stone & Nicolas, 1998). Isto ocorre pelo decréscimo da proporção de glutenina para gliadina em função de que a síntese de gliadina continua mesmo com o estresse, enquanto que a síntese de glutenina é reduzida (Blumenthal *et al.*, 1995). Em função disso, a força da massa enfraquece causando diminuição na tolerância e no tempo de amassamento.

Ciaffi *et al.* (1996) e Stone & Nicolas (1995), determinaram a influência do estresse por alta temperatura ($> 35^{\circ}\text{C}$) durante a fase de enchimento de grãos de trigo na acumulação das diferentes frações de proteínas. Os autores verificaram que houve aumento da fração polimérica insolúvel de proteínas, quando o trigo foi submetido ao estresse térmico, comparativamente às amostras controle. A produção deste tipo de proteínas influenciou negativamente a força do glúten.

Tahir *et al.*, (2006) desenvolveram pesquisa em ambientes com temperaturas elevadas durante o período de enchimento de grãos. Estes autores avaliaram o conteúdo e a composição de proteínas através de teste de sedimentação (SDS) e de mixografia. Encontraram incremento das proteínas solúveis e insolúveis em água e no valor de sedimentação. No entanto, observaram decréscimo no tempo ideal de amassamento avaliado através da mixografia. Por outro lado, a baixa temperatura, ocasionando a formação de geada, provoca o decréscimo de algumas características relacionadas a

qualidade. A indução de diferentes graus de frio (geada) provocou decréscimo nas características de tamanho de grão, extração de farinha e força de glúten, além de alteração na cor e incremento da atividade da enzima α -amilase nas amostras (Allen *et al.*, 2001).

No Brasil, Guarienti *et al.*, (2004) avaliaram a influência das temperaturas máximas e mínimas nas características de qualidade de farinha e investigaram em qual período (dias que antecede a colheita) esta influência era significativa. Para isso, dividiram o período de 80 dias anterior a colheita em 4 grupos, de 5 em 5, 10 em 10, 15 em 15 e 20 em 20 dias. Realizaram então a análise de correlação múltipla para verificar a relação linear entre as variáveis. Encontraram que o aumento da temperatura máxima média influenciou positivamente o aumento dos valores de força do glúten. Da mesma forma, a temperatura mínima média também influenciou positivamente a força de glúten. No entanto, as características de peso de mil grãos e extração de farinha, decresceram com o aumento da temperatura média mínima.

2.8.4 Doenças

A giberela no trigo é uma doença que produz infecção nas flores e que apresenta forte relação com o tempo chuvoso durante o florescimento do trigo (Del Ponte *et al.*, 2004). Quando em contato com as espigas, tanto macroconídios como ascósporos do fungo, infectam os tecidos sob condições de alta umidade e de temperatura variando entre 20 e 30 °C do período que vai da extrusão das anteras, consideradas o sítio primário de infecção, pela presença das substâncias colina e betaina, até estágios de grão em massa.

O fungo propaga-se através da estrutura do ráquis das espiguetas infetadas por vias vasculares, podendo expandir-se por toda a espiga. Grãos infetados apresentam-se deformados e chochos (Del Ponte *et al.*, 2004). Estudos têm repetidamente demonstrado que a giberela reduz significativamente o peso dos grãos, pois afeta diretamente o seu enchimento. Vários componentes do grão, como amido, celulose e proteínas são modificadas (Boyacioglu & Hettiarachchy, 1995), explicando a degradação da qualidade de panificação em trigos contaminados por giberela.

Nightingale *et al.* (1999) determinaram através de imagens de microscopia eletrônica de varredura, visível degradação protéica do endosperma e reduzido teor de proteína de reserva dos grãos de trigo infectados com giberela, evidenciado decréscimo de testes reológicos em farinhas oriundas destes grãos. Cultivares suscetíveis a giberela, quando infectadas, sofrem significativa mudança nas suas propriedades relacionadas a qualidade tecnológica nos aspectos de capacidade de absorção de água, força de extensão da massa (Gartner *et al.*, 2008).

2.9 Interação genótipo x ambiente

Na literatura existem inúmeros trabalhos que demonstram a interação genótipo x ambiente para as características de qualidade de trigo.

Robert (1997) encontrou interação positiva quando avaliou genótipos em ambientes com níveis diferenciados de adubação nitrogenada para diversos testes que medem a força do glúten. Zhang *et al.*, (2004) estudando 39 genótipos de trigo, em quatro zonas agro-ecológicas na China encontraram

interação significativa entre genótipo x local para as características de peso do hectolitro e força de glúten medida através da mixografia.

Em estudo sobre características que definem a qualidade da farinha, usando como variáveis genótipos, local, adubação (N) e ambiente de cultivo (irrigado e não irrigado), Souza *et al.* (2004), encontraram interação significativa para as três variáveis (genótipo x adubação x local) para conteúdo de proteína no grão e cor de farinha (valor b*). A interação genótipo x ambiente foi significativa para cor do macarrão produzido a partir da farinha de 38 genótipos de trigo conduzidos em três locais (Graybosch *et al.*, 2004).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimentos de campo

Foram realizados a campo três tipos de experimentos:

Experimento 1: Constituído pelos híbridos resultante dos cruzamentos dialélicos e seus respectivos genitores. O objetivo deste experimento foi avaliar a capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação e quantificar a contribuição genética de seis genótipos de trigo. A condução do ensaio foi em Cruz Alta no ano de 2006.

Experimento 2: Constituído pelas linhas recombinantes de quatro populações de cruzamento e seus respectivos genitores. O objetivo do experimento foi avaliar a herança genética e o número de genes envolvido nas características de qualidade de grãos e farinha. A condução dos ensaios foi realizada em Eldorado do Sul, no ano de 2007 e em Cruz Alta, no ano de 2008.

Experimento 3: Constituído por vinte genótipos elites. O objetivo do experimento foi avaliar a interação genótipo x ambiente para as características de qualidade de grãos e da farinha de trigo. A condução dos ensaios foram em Eldorado do Sul, Cruz Alta e Bom Jesus, nos anos de 2007 e 2008.

3.2 Testes físicos e reológicos

As análises de alveografia, dureza dos grãos, cor de farinha e número de queda foram realizadas no laboratório de Qualidade de grãos da Embrapa Trigo e a mixografia no Laboratório da FUNDACEP, conforme metodologias descritas a seguir. A moagem das amostras de grãos foi realizada em moinho da marca Brabender Quadrumat Senior na Embrapa e Brabender Quadrumat Junior na FUNDACEP na base de 14% de umidade.

3.2.1 Alveografia

Realizada em alveógrafo Chopin, de acordo com o método 54-30A da AACC, 2000. A alveografia avalia as seguintes características visco-elástica da farinha:

Força de glúten (W): Representa o trabalho de deformação da massa e é expresso em 10^{-4} Joules.

Tenacidade (P): Representa a pressão máxima necessária para expandir a massa, expressa em mm.

Extensibilidade (L): Indica a capacidade máxima de extensão da massa, sem que ela se rompa, expressa em mm.

Relação Tenacidade/Extensibilidade - P/L: Expressa o equilíbrio da massa.

3.2.2 Mixografia

Medida no aparelho mixógrafo (National Manufacturing Division) que utiliza amostras de 35 gramas de farinha. A metodologia utilizada foi a preconizada pela AACC (2000) com modificação, usando água constante, com

duas réplicas. Foram utilizadas nas análises 17 e 18 ml de água em 2007 e 2008, respectivamente.

A mixografia determina as propriedades do glúten de uma farinha através da medida da resistência da mistura de farinha com água pela ação do movimento de pinos fixos e móveis do aparelho. Enquanto o trabalho mecânico produzido na massa pela ação dos pinos é desenvolvido, paralelamente uma informação gráfica em forma de curva é registrada em papel com escala de tempo. Esta curva fornece informações sobre as propriedades do glúten da farinha. O tempo ideal de desenvolvimento da massa ou tempo de amassamento (TA), medido em segundos, representa a distância entre o início do processo da mistura até o ponto mais alto da curva, onde a mistura atingiu sua consistência máxima.

3.2.3 Dureza dos grãos

Determinado segundo o método 55-31, da AACC (2000) usando equipamento SKCS - Single Kernel Characterization System (sistema de caracterização individual da semente), modelo 4100, da Perten Instruments, empregando a quantidade de 300 grãos para cada amostra com o objetivo de estimar o índice de dureza (ID) do grão.

A classificação para a dureza dos grãos segue a seguinte escala: SKCS-ID > 90 = grão extra duro; 81-90= grão muito duro; 65-80= grão duro; 45-64= grão semi-duro; 35-44= grão semi-mole; 25-34= grão mole; 10-24= grão muito mole; ID < 23= grão extra mole.

3.2.4 Cor da farinha

A cor da farinha foi determinada pelo sistema CIE L*a*b* em colorímetro Minolta® CR 310 (método 14-22 da AACC, 2000). Os parâmetros avaliados foram o L* e b* que representam a luminosidade e a coordenada de cromaticidade, respectivamente. A escala do L* varia de zero (totalmente preto) a 100 (totalmente branco), enquanto que o b* varia entre o azul quando negativo e amarelo quando positivo. Desta forma, quanto maior o valor de b* mais amarela ou pigmentada é a farinha. As análises de cor para cada amostra utilizada no estudo foram constituída de aproximadamente 80g de farinha e realizadas em triplicata,

3.2.5 Número de queda ou Falling Number de Hagberg

Este teste determina indiretamente a atividade da enzima α -amilase presente no grão, com o propósito de determinar danos causados pela germinação pré-colheita ou germinação na espiga. A avaliação é feita com aparelho de Falling Number de Hangberg. O objetivo do teste é gelatinizar e liquefazer a suspensão de farinha. Juntos, os tempos de gelatinização e de liquefação determinam o número diastásico, que é correlacionado com a atividade da enzima α -amilase.

O número de queda é um método descrito na AACC (American Association of Cereal Chemists), 2000. O número de queda é definido como o tempo total, em segundos, de imersão do tubo viscosimétrico no banho de água, incluindo o tempo de agitação e finalizando quando a haste agitadora atingir o fundo do tubo, o que prescreve a distância da suspensão gelatinizada (Guarienti e Miranda, 2004).

3.2 Experimento 1. Análise dialélica de seis genótipos de trigos brasileiros para características de qualidade tecnológica

3.2.1 Híbridações e condução dos experimentos a campo

No ano de 2005 foram realizados cruzamentos dialélicos envolvendo seis genitores de trigo que apresentam distinta classificação quanto a qualidade comercial de trigo (Brasil, 1999), sendo dois destes da classe trigo brando e de cor de farinha clara (BRS 179 e BRS LOURO) e quatro classificados como Trigo Pão e Trigo Melhorador (Fundacep Cristalino, Safira, Ônix e Cep 01-167), de farinha escura (TABELA 1). Foram emasculadas e polinizadas 10 espigas por cruzamento, que resultaram em aproximadamente 250 sementes por cruzamento.

As 15 progênies (F_1), sem os recíprocos e seus genitores foram conduzidos a campo em 2006, na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDA CEP), localizada em Cruz Alta, RS. O desenho experimental foi de blocos completamente ao acaso com duas repetições. A semeadura foi feita manualmente em 07 de junho. As parcelas foram compostas de três linhas de 3m de comprimento com espaçamento de 0,20m entre as linhas e 5 cm entre as plantas na linha. Foram feitas três aplicações de fungicida Tebuconazole, para o controle de doenças da parte aérea. Os demais tratamentos culturais utilizados foram os preconizados para a cultura, seguindo as indicações da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (2005).

A colheita ocorreu quando as plantas encontravam-se em maturação. As amostras de grãos foram armazenadas em temperatura ambiente até o

momento da análise. Uma amostra dos grãos foi caracterizada quanto a sua dureza e o restante foi moída e a farinha avaliada para as características de tempo de amassamento (em mixografo) e cor nos laboratórios de qualidade de trigo da FUNDACEP e da Embrapa Trigo, respectivamente.

TABELA 1. Genealogia e classe comercial de seis genótipos de trigo utilizados na formação dos dialélicos.

Genótipos	Genealogia	Classe comercial*
BRS 179	BR 35/PF 8596/3/PF 813//PF 83899	Trigo Brando
BRS Louro	PF 869114/BR 23	Trigo Brando
Fundacep Cristalino	BR35/CEP9291/4/BR32/3/CNO/PF70354//MUS	Trigo Melhorador
CEP 01-167	ORL91256/FUNDACEP 29//BRS 177	Trigo Pão **
Safira	PF 9099/OR 1//Granito	Trigo Pão
Ônix	CEP 24/RUBI	Trigo Pão

*Classificação da qualidade tecnológica segundo a Instrução Normativa nº 7 de 15 de agosto de 2001, informada pela instituição criadora, com base na força de glúten.

Trigo Melhorador = Valor de W, da alveografia igual ou superior a 300 x 10J⁻⁴.

Trigo Pão = Valor de W, da alveografia igual ou superior a 180 x 10J⁻⁴.

Trigo Brando = Valor de W, da alveografia inferior a 180 x 10J⁻⁴.

** Linhagem caracterizada preliminarmente pela instituição obtentora - FUNDACEP.

3.2.2 Estimativas dos parâmetros genéticos

A análise de variância para os dialélicos considerando o modelo fixo, método 2 de Griffing (1956) para as características estudadas, foi feita através do programa GENES (Cruz, 1997). Esta análise permite estimar os efeitos das capacidades geral e específica de combinação, com $p(p+1)/2$ combinações, sem os híbridos F₁ recíprocos. O teste de Duncan a 5% foi utilizado para a comparação entre médias.

O modelo de Griffing estabelece que:

$$Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{e}_{ij}$$

onde:

Y_{ij} = valor médio da combinação híbrida ($i \neq j$) ou do genitor ($i = j$)

m = média geral

g_i , g_j = efeito da capacidade geral de combinação do i-ésimo e do j-ésimo genitor

s_{ij} =efeito da capacidade específica de combinação para os genitores i e j

\bar{e}_{ij} = erro experimental médio

A significância dos efeitos de CGC e CEC foram analisadas pelo teste t com 5% de probabilidade.

O coeficiente de correlação linear de Pearson entre as características de dureza de grãos, luminosidade (L^*) da farinha e tempo de amassamento, foi estimado conforme Steel & Torrie (1980).

$$r = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{Var}(X)\text{Var}(Y)}}$$

onde X e Y são as características em estudo, Var é a estimativa da variância e Cov é a estimativa de covariância.

3.3 Experimento 2 – Análise genética de características relacionada a qualidade dos grãos e da farinha de trigo em populações de linhagens homozigotas recombinantes (LHR)

3.3.1 Formação das populações de linhagens homozigotas recombinantes (LHR) e condução dos ensaios a campo

Foram utilizados neste estudo cinco genótipos de trigo, sendo três cultivares pertencentes a Embrapa Trigo (BRS 120, BRS 177 e BRS 179), uma

cultivar (Fundacep Cristalino) e uma linhagem (CEP 9874) oriundas do programa de melhoramento genético de trigo da FUNDACEP. A escolha destes genótipos foi com base nas diferenças de textura ou dureza dos seus grãos e nas propriedades físicas e reológicas de suas farinhas, principalmente com respeito à força de glúten e cor. As cultivares BRS 120, BRS 177 e BRS 179 apresentam grãos de endosperma de textura mole a semi-mole, com farinha de coloração clara e baixa força de glúten, enquanto que Fundacep Cristalino e CEP 9874 tem textura do endosperma dura a extra-dura, com farinha de coloração escura e alta força de glúten.

Em 2003, foram realizados cruzamentos controlados para combinar genótipos que apresentassem contrastes para as três características com o propósito de desenvolver quatro populações de linhagens recombinantes: BRS 120/Fundacep Cristalino, BRS 179/Fundacep Cristalino, BRS 120/CEP 9874 e BRS 177/CEP 9874.

Em 2004, as gerações híbridas F_1 originárias dos cruzamentos foram conduzidas individualmente em vasos em casa de vegetação. As sementes da geração F_2 foram colhidas de forma massal e, em 2005 foram conduzidas a campo. Cada população constituiu uma parcela de cinco linhas de 10m de comprimento. Em torno de 250 plantas por cruzamento foram coletadas aleatoriamente. Cada planta foi trilhada e conduzida individualmente como geração F_3 no verão de 2005/2006 em casa de vegetação. A partir deste momento, até a obtenção de linhagens homozigotas recombinantes (geração $F_{6:7}$), utilizou-se o avanço de gerações pelo método de descendência de semente única (SSD), fazendo-se duas gerações por ano, sendo no inverno a campo e no verão em casa de vegetação (TABELA 2).

No verão de 2006/2007, na geração $F_{5:6}$, foi escolhida uma planta de cada linhagem recombinante e suas sementes serviram para montar os experimentos de avaliação. Os experimentos foram conduzidos a campo no ano de 2007 na Estação Experimental Agronômica (EEA) da UFRGS em Eldorado do Sul e em 2008 na FUNDACEP em Cruz Alta. O ensaio foi constituído pelas linhagens homozigotas recombinantes (LHR), geração $F_{6:7}$, de cada população, seus respectivos genitores e os híbridos F_1 que foram desenvolvidos no ano anterior. As parcelas foram compostas de dois sulcos de 3m de comprimento e espaçadas a 0,20m em delineamento experimental ao acaso, sem repetição. Foram consideradas para análise somente as LHR que apresentavam homozigose fenotípica, sendo eliminadas aquelas que mostravam elevados níveis de segregação fenotípica. Com o objetivo de manter o nível de homozigose das linhas recombinantes, em 2007 foi retirada uma planta de cada linha recombinante da geração $F_{6:7}$ para formar a geração $F_{7:8}$ que deram origem aos experimentos avaliados em 2008. Os experimentos foram semeados a máquina no dia 22 de junho de 2007 em Eldorado do Sul e 18 de junho de 2008 em Cruz Alta. Os tratos culturais foram feitos seguindo as indicações técnicas da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (2005), com duas aplicações de fungicida tebuconazole.

Nos dois anos de avaliação, a colheita foi realizada individualmente para cada parcela no estágio de maturação de grãos. As amostras de grãos foram divididas em duas, sendo a primeira caracterizada quanto a dureza do endosperma e a outra moída em moinho experimental e a farinha resultante avaliada para característica de cor e força do glúten.

As colheitas ocorreram nos dias 20/10, 12/11 e 21/11 em Eldorado do Sul e 29/10, 7/11 e 18/11 em Cruz Alta. Em função das diferenças de ciclo entre as LHR e seus genitores, a colheita foi realizada em três etapas nos dois anos de avaliação. Em cada etapa de colheita foram retiradas amostras de grãos de quatro linhagens recombinantes escolhidas aleatoriamente, com o intuito de verificar a existência de dano de germinação pré-colheita ou germinação na espiga. O teste empregado foi o número de queda ou Falling Number que mede indiretamente a atividade da enzima α -amilase responsável pelo processo inicial de germinação dos grãos através da transformação do amido em açúcar e dextrinas.

TABELA 2. Metodologia de avanço de gerações para obtenção das linhagens homozigotas recombinantes das gerações $F_{6:7}$ e $F_{7:8}$.

Ano	Geração	Número de progênie por população
2003- Inverno	Cruzamento	-
2004- Inverno	F_1	Todas
2005- Inverno	F_2	250
2005/2006 Verão	F_3	± 200
2006-Inverno	F_4	± 200
2006/2007 Verão	F_5	± 200
2007-Inverno	$F_{6:7}$	± 200
2008-Inverno	$F_{7:8}$	± 200

3.3.2 Estimativas dos parâmetros genéticos

As distribuições de freqüência nas gerações $F_{6:7}$ e $F_{7:8}$ para todas as populações e para as características estudadas foram obtidas pelo agrupamento dos dados em classes. Os intervalos de classes foram estabelecidos com base no desvio padrão médio, tendo sido utilizado $\frac{1}{4}$ do desvio padrão conforme recomendado por Steel e Torrie (1980).

Para o tempo de amassamento medido pela mixografia o valor utilizado foi de 19 segundos, luminosidade (L^*) da farinha 0,49, coordenada b^* 0,39 e

para a dureza dos grãos o valor foi 5,0. A hipótese genética quanto ao número de genes envolvidos na expressão de L* e b* da farinha e da dureza do grão, foi testada com base no teste de Qui-quadrado (Steel & Torrie, 1980).

O valor de teste de Qui-quadrado (χ^2) foi obtido pela fórmula:

$$\chi^2 = \sum [(Fo - Fe)^2 / Fe], \text{ onde:}$$

Fo = frequência observada para cada classe;

Fe = frequência esperada para cada classe, com base na proporção mendeliana.

A herdabilidade no sentido amplo (h^2a) foi calculada a partir da análise da variância gerada pelo programa SAS (Statistical **Analysis System** - Sistema de análise estatística) dos experimentos conduzidos com as famílias de linhas recombinantes. Em função dos tratamentos dos experimentos não terem repetição no campo, para o cálculo da variação ambiental (VE), o ano foi considerado como repetição.

$$h^2a = VG/(VG + VE/r), \text{ na média das progênies.}$$

VG = Variância Genotípica

$$VG = (QMt - QMe)/r$$

QMt = Quadrado médio do tratamento

QMe = Quadrado médio do erro

VE = Variância ambiental

$$VE = QMe$$

r = número de repetições

3.4 Experimento 3 - Interação genótipo x ambiente de características de qualidade tecnológica da farinha de 20 genótipos de trigo em seis ambientes do RS.

3.4.1 Escolha dos genótipos e condução dos ensaios a campo

Foram utilizados neste estudo, vinte genótipos de trigo classificados distintamente quanto a qualidade tecnológica com base no Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Trigo regida pela Instrução Normativa nº 7 de 15 de agosto de 2001 (TABELA 3).

Dos vinte genótipos, dezesseis são cultivares indicadas para cultivo no Rio Grande do Sul e quatro são linhagens em fase de avaliação nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso e pertencem aos programas de melhoramento genético da FUNDACEP (CEP) e OR-Sementes (ORL). Os ensaios que deram origem as amostras de grãos foram conduzidos a campo nos anos de 2007 e 2008 em três locais no Rio Grande do Sul (Cruz Alta, Eldorado do Sul e Bom Jesus). Os locais foram escolhidos pela representatividade de três regiões produtoras de trigo no RS com diferenças nas características edafoclimáticas. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com duas repetições e as unidades experimentais foram compostas por parcelas com tamanho de cinco fileiras com cinco metros de comprimento, espaçados 0,20m. A época de semeadura e os tratos culturais realizados seguiram as Indicações da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale (2005), objetivando o pleno desenvolvimento das plantas. A colheita foi feita individualmente para cada genótipo na fase de maturação morfológica ou de colheita com os grãos apresentando em torno de 13% de umidade. Após a colheita foi realizada a

limpeza das amostras e encaminhadas para análise ao Laboratório de Qualidade de grãos da Embrapa Trigo, em Passo Fundo.

TABELA 3. Genótipos, genealogia e classificação quanto à classe comercial de cultivares e linhagens de trigo incluídas no estudo.

Genótipos	Genealogia	Classe
BRS 177	PF 83899/PF 813//F 27141	Trigo Brando
BRS 179	BR35/PF8596/3/PF772003*2/PF813//...	Trigo Brando
BRS Louro	PF 869114/BR 23	Trigo Brando
BRS Guabijú	BR 23/PF 86743	Trigo Melhorador
BRS Guamirim	EMBRAPA27/BUCK NANDU//PF93159	Trigo Pão
ABALONE	ORL93229/PARANÁ//RUBI'S´	Trigo Pão
SAFIRA	PF 9099/OR 1//Granito	Trigo Pão
SUPERA	PF9099/OR 1	Trigo Pão
FUNDACEP CRISTALINO	BR35/CEP9291/4/BR32/3/CNO/PF70354//MUS	Trigo Melhorador
FUNDACEP RAÍZES	EMB.27/CEP24/3/BUC/FCT//PF85229	Trigo Pão
CEP24-Industrial	BR3/CEP 7887//CEP 7775/CEP 11	Trigo Pão
FUNDACEP 30	BR 32/CEP 21//CNO 79	Trigo Brando
CEP 9874	CNO//PF70354/MUS/3/CEP8979/4/PF859238	Trigo Pão
FUNDACEP CAMPO REAL	CEP 89171/PF869114//OR 1	Trigo Brando
FUNDACEP HORIZONTE	EMBRAPA 119/CEP 97184	Trigo Pão
QUARTZO	ÔNIX/AVANTE	Trigo Pão
CEP 05-68	CEP 99128/CEP 99116	Trigo Pão ¹
ORL 03165	ÔNIX/AVANTE	Trigo Pão ¹
CEP 05-119	ICEP96306/PF950419//FUNDACEP42	Trigo Pão ¹
ORL 03151	ORL9152/2*RUBI/ÔNIX	Trigo Pão ¹

¹Determinação preliminar e informada pela instituição obtentora.

3.4.2 Análise Genética

A análise de variância foi feita individualmente para todos os ensaios e a homogeneidade das variâncias residuais testada para a efetuação da análise conjunta através do teste de F máximo de Hartley (1950) *apud* Cruz e Regazzi (1994) dado por:

$$F_m = \frac{\text{Maior } \sigma^2}{\text{Menor } \sigma^2}$$

O cálculo das estimativas das esperanças dos quadrados médios foi realizado com o programa computacional SAS (SAS, 1989), sendo que as variáveis, genótipos, anos e locais foram considerados aleatórios. A

comparação entre médias foi feita através do teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Foi estimado o parâmetro de adaptabilidade e estabilidade para as características de força de glúten, luminosidade (L^*) de farinha e dureza dos grãos através dos coeficientes de regressão e desvios da regressão, segundo a metodologia de Eberhart e Russell (1966), descrito por Cruz e Regazzi (1994) usando o programa genes. O seguinte modelo de regressão linear foi adotado:

$$Y_{ij} = \beta_{oi} + \beta_{1i} l_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

sendo:

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;

β_{oi} : média geral do genótipo i ;

β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente;

l_j : índice ambiental codificado [$\sum_j l_j = 0$]

δ_{ij} : desvio da regressão;

ε_{ij} : erro experimental médio.

O coeficiente de correlação linear de Pearson entre as características

avaliadas foi estimado conforme Steel & Torrie (1980), onde X e Y são as características em estudo, Var é a estimativa da variância e Cov é a estimativa de covariância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e discussões dos experimentos realizados serão expostos na mesma ordem da apresentação do material e métodos.

4.1 Experimento 1. Análise dialélica de seis genótipos de trigos brasileiros para características de qualidade tecnológica

Os parâmetros genéticos avaliados das características relacionadas com a qualidade de farinha foram separados e serão apresentados em tópicos.

4.1.1 Análise dos efeitos da Capacidade Geral (CGC) e Específica (CEC) de Combinação

A análise de variância revelou diferenças significativas entre os genótipos testados para as características de tempo de amassamento (TA), dureza dos grãos e luminosidade (L*) da farinha (TABELA 4). A significância da capacidade geral de combinação (CGC) indica a existência de variabilidade genética aditiva entre os genótipos. A capacidade específica de combinação (CEC), que evidencia a presença de efeitos não aditivos (dominância), também foi significativa, com exceção para Luminosidade (L*) da farinha. Embora os efeitos dos quadrados médios para a CGC e CEC tenham sido significativos,

as proporções CGC:CEC foram elevadas, evidenciando assim, efeito maior para os genes aditivos controlando as características avaliadas.

TABELA 4. Análise de variância para capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação de 15 híbridos (F_1) do cruzamento dialélico entre seis cultivares de trigo, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.

Causas da variação	GL	QM		
		Tempo de amassamento (s)	Luminosidade (L*) da farinha	Dureza dos grãos
Genótipos	20	15287*	4,1*	965*
CGC	5	52319*	13*	3571*
CEC	15	2943*	1,1	97*
CGC:CEC	-	17,7	11,8	36,8
Erro	20	212	0,01	13

* significativo a 1% pelo teste F.

4.1.2 Dureza dos grãos

Na TABELA 5 são apresentados os valores da dureza do grão das seis cultivares e seus híbridos F_1 . Para esta característica, os menores valores indicam grãos com endosperma mais suave, enquanto que os valores elevados, indicam grãos com endosperma mais duro. Pelo teste de Duncan a 5%, os genitores foram separados em dois grupos, ficando as cultivares BRS 179 e BRS Louro com menor nível de dureza sendo classificados pelos critérios da AACCC como semi-mole e mole, respectivamente. A cultivar Safira e a linhagem CEP 01-167 apresentaram grãos com classificação muito duro. Ônix e Fundacep Cristalino foram os cultivares com maiores níveis de dureza, sendo classificadas como grão extra-duro.

A variação da dureza dos grãos dos híbridos foi de 41,1 a 95,9, sendo que apenas o híbrido entre Safira e Fundacep Cristalino atingiu valor significativamente superior (95,9) ao dos genitores com grãos mais duros. Os híbridos com os valores mais elevados de dureza são os resultantes das combinações entre os genitores das classes de grãos duros. Os híbridos resultantes das combinações de grãos suaves (moles a semi-moles) com grãos de classificação muito duros apresentaram valores de dureza tendendo a suavidade (semi-mole a semi-duro). Estes resultados indicam que a herdabilidade para a suavidade do endosperma é dominante, corroborando com trabalhos na literatura que mostram que o loco responsável pela textura *Ha* é dominante (Morris *et al.*, 2001; Turnbull & Rahman, 2002).

Na TABELA 6, são apresentadas as estimativas dos efeitos da CGC e CEC dos genitores e seus cruzamentos para índice de dureza dos grãos. Os valores negativos de CGC indicam menor dureza, enquanto que os valores positivos correspondem a grãos mais duros. Os resultados apontam que os melhores cruzamentos para incrementar a dureza dos grãos foram aqueles obtidos com genitor de maior valor individual (Fundacep Cristalino), embora a CGC não tenha apresentado valor significativo. Por outro lado, a cultivar BRS Louro apresentou valor de CGC negativo e significativo, indicando que este genótipo pode contribuir de forma significativa para diminuir o nível de dureza dos grãos.

Com base nos resultados obtidos é possível sugerir que em programas de melhoramento que objetivam incrementar a característica de dureza dos grãos, devem orientar seus cruzamentos entre genótipos com elevada dureza dos grãos, pois dos seis híbridos avaliados do cruzamento entre genitores de

grãos duros, apenas um obteve valor inferior estatisticamente quando comparado com os genitores de grãos duros (TABELA 5). Já os cruzamentos envolvendo genótipos com dureza de grãos diferentes somente devem ser usados se o objetivo for obter grãos com menor dureza.

TABELA 5. Média dos valores de dureza dos grãos de seis genitores de trigo e seus híbridos F₁, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.

Genótipos	1	2	3	4	5	6
1-BRS 179	44,7 f *	41,1 fg	49,8 ef	64,9 d	50,9 ef	66,5 d
2-BRS Louro		30,0 g	49,9 ef	47,1 ef	49,2 ef	54,5 e
3-Ônix			92,9 ab	92,5 ab	91,5 ab	89,9 abc
4-Safira				88,5 abc	90,5 abc	95,9 a
5-Cep 01167					82,6 c	84,6 bc
6-Fundacep Cristalino						92,4 ab

* = médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5%.

TABELA 6. Estimativas dos efeitos de capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação do cruzamento dialélico entre seis cultivares de trigo para dureza dos grãos, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.

Genótipos	CEC						CGC
	1	2	3	4	5	6	
1-BRS 179		9,8	-13,6*	0,4	-9,2	-0,9	-15,1
2-BRS Louro			-5,9	-9,7	-3,1	-3,5	-22,7*
3-Ônix				3,3	6,9	-0,3	9,5
4-Safira					4,8	4,6	10,6
5-Cep 01167						-2,2	6,1
6-Fundacep Cristalino							11,6

* significativo a 5% pelo teste T.

4.1.3 Luminosidade (L*) da Farinha

Os valores de Luminosidade (L*) da farinha estão na TABELA 7. Quanto mais elevado o valor, mais clara é a farinha. Os cultivares genitores ficaram separados em distintos grupos em relação à cor pelo teste de Duncan a 5%. Os híbridos F₁ que envolvem os cultivares Fundacep Cristalino, Safira e Ônix apresentaram média inferior às demais combinações proporcionando, desta forma, farinhas mais escuras. Todos os híbridos que envolveram os genitores BRS 179 e BRS Louro apresentaram farinhas claras (L* > 93), demonstrando que a cor clara é um caráter dominante. O genitor que apresentou a farinha mais clara foi o BRS 179 e a farinha mais escura foi a cultivar Ônix. No entanto, nenhum F1 atingiu valor superior ao genitor mais claro e nem inferior ao genitor mais escuro.

As estimativas dos efeitos da CGC e CEC de combinação para luminosidade (L*) da farinha (TABELA 8) apresentam valores positivos para farinhas claras e negativos para escuras. Os efeitos da CGC revelaram que as cultivares BRS 179 e BRS Louro com valores positivos, são as que potencialmente podem contribuir para o desenvolvimento de genótipos com cor mais clara de farinha. No entanto, a CGC não apresentou valor significativo pelo T-teste para nenhum dos genitores avaliados.

TABELA 7. Média dos valores de luminosidade (L*) da farinha de trigo de cinco cultivares de trigo e seus híbridos F₁, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.

Genótipos	1	2	3	4	5	6
1-BRS 179	94,67a*	94,70 a	94,46 b	93,79 d	94,52 ab	93,79 d
2-BRS Louro		94,48 b	93,83 d	94,66 a	94,44 b	94,14 c
3-Ônix			90,81 k	91,87 h	92,35 f	91,54 i
4-Safira				92,03 g	91,90 gh	91,11 j
5-Cep 01167					92,88 e	90,80 k
6-Fundacep Cristalino						91,97 gh

* = médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5%

TABELA 8. Estimativas dos efeitos de capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação do cruzamento dialélico entre seis cultivares de trigo para luminosidade (L*) de farinha, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.

Genótipos	CEC						CGC
	1	2	3	4	5	6	
1-BRS 179	-	-0,6	1,0	-0,1	-0,5	-0,4	1,1
2-BRS Louro		-	-0,3	-0,9	-0,4	-0,7	1,1
3-Ônix			-	-0,1	-0,2	-0,02	-0,7
4-Safira				-	-0,4	-0,6	-0,5
5-Cep 01167					-	-1,2	-0,2
6-Fundacep Cristalino						-	-0,7

4.1.4 Tempo de amassamento - Mixografia

Na TABELA 9 são apresentados os valores em segundos do tempo de amassamento (TA), através do teste de mixografia dos seis genitores e seus respectivos híbridos F₁. Os valores mais baixos indicam menor força de glúten pelo TA, enquanto que os valores mais elevados sugerem glúten mais forte. Os

genitores foram separados em três grupos pelo TA, coincidindo com sua classificação comercial quanto a força de glúten avaliada pela alveografia, com exceção de Fundacep Cristalino e Safira. As cultivares BRS 179 e BRS Louro (Trigo Brando) apresentaram valores de TA menores que 180 segundos, enquanto que Ônix, CEP 01-167 e Fundacep Cristalino (Trigo Pão e Trigo Melhorador) mostraram tempos entre 200 e 300 segundos. A cultivar Safira (Trigo Pão) apresentou o maior TA com valor superior a 400 segundos. A combinação de Safira com CEP 01-167 e Fundacep Cristalino apresentou valores muito altos de TA, porém não significativamente superior a Safira, que foi o genitor com TA mais elevado.

Os cruzamentos envolvendo os genótipos Onix, Safira, CEP 01-167 e Fundacep Cristalino sempre produziram F1 com TA acima de 300 segundos. Já os cruzamentos envolvendo os cultivares BRS 179 e BRS Louro produziram F1 com valores sempre inferiores a 260 segundos. Estes resultados indicam que o cruzamento envolvendo genótipos com baixo TA, resulta sempre em progênie de baixo a médio TA. No entanto, os genótipos Safira, CEP 01-167 e Fundacep Cristalino são os genitores que incrementam o valor de TA dos outros genitores participantes do dialélico (TABELA 9).

As estimativas dos efeitos da CGC e CEC para o TA dos genitores e seus cruzamentos são apresentadas na TABELA 10. Os valores negativos de CGC indicam menor contribuição para a característica, enquanto que os valores positivos correspondem à maior contribuição. Os dados mostram que apenas o genótipo Safira apresentou valor significativo e positivo para a CGC e é o que pode contribuir para incrementar a características de TA. Por outro lado, a cultivar BRS Louro com valor negativo e significativo, representa o

genótipo que contribuiu para a diminuição do TA. Desta maneira, a partir dos genótipos avaliados, a cultivar Safira pode ser indicada como genitor em programas de melhoramento que objetivam incrementar esta característica. Por outro lado, o uso de genitores com baixo TA devem ser evitados, quando o objetivo é aumentar o valor da característica, pois os resultados mostraram que os híbridos que envolvem estes genitores apresentaram valores de baixo a médio TA.

TABELA 9. Média dos valores de tempo de amassamento de seis cultivares de trigo e seus híbridos F₁, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.

Genótipos	1	2	3	4	5	6
1-BRS 179	175 hi*	145 ij	190 gh	260 de	245 ef	260 de
2-BRS Louro		115 j	170 hi	210 g	210 g	200 gh
3-Ônix			260 de	310 bc	335 b	300 c
4-Safira				410 a	430 a	410 a
5-Cep 01167					290 cd	315 bc
6-Fundacep Cristalino						215 fg

* = médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Duncan a 5%.

TABELA 10. Estimativas dos efeitos de capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação do cruzamento dialélico entre seis cultivares de trigo para o TA, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.

Genótipos	CEC						CGC
	1	2	3	4	5	6	
1-BRS 179		12,9	-24,5	-31,4	-5,8	34,2	-46,0
2-BRS Louro			-8,9	-45,8*	-5,2	9,8	-81,6*
3-Ônix				-28,3	37,3*	27,3	0,8
4-Safira					55,4*	60,4*	77,7*
5-Cep 01167						6,1	37,1
6-Fundacep Cristalino							12,1

* significativo a 5% pelo teste T.

4.1.5 Correlações

As determinações da luminosidade (L^*) da farinha, dureza dos grãos e tempo de amassamento (TA) da mixografia, realizados nos cruzamentos dialélicos apresentaram correlação linear simples significativa entre si (TABELA 11).

A análise da luminosidade (L^*) da farinha mostrou correlação inversa com a dureza dos grãos e o TA. A correlação da dureza dos grãos com o TA apresentou valor positivo e significativo. Desta maneira, para os genótipos usados no estudo, quanto mais duro os grãos, mais escura foi a farinha e maior a força de glúten, avaliada através do tempo de amassamento.

TABELA 11. Correlações entre as características de qualidade de grãos e farinha dos cruzamentos dialélicos, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2007.

Características	Luminosidade (L^*) da farinha	Dureza dos grãos	Tempo de amassamento
Luminosidade (L^*) da farinha	-	-0,52*	-0,71**
Dureza dos grãos		-	0,47*
Tempo de amassamento			-

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

Os genes de efeito aditivo são os mais importantes para o melhoramento de plantas autógamas, onde praticamente não se faz uso da heterose. Isto é de extrema importância uma vez que somente os efeitos de aditividade são transferidos para as gerações descendentes (Falconer, 1989). Desta maneira, o conhecimento da CGC dos parentais é a informação de maior utilidade, pois ela depende da variância aditiva.

Os resultados da análise de correlação revelaram que para as três características estudadas, a CGC foi significativa, possibilitando desta forma, ganho genético em programas de melhoramento. Pelos resultados obtidos da significância da CGC, foi possível identificar que a cultivar Safira representa um genótipo com potencial para ser usado em programas de melhoramento, com o propósito de incrementar a característica de força de glúten. No entanto, a linhagem Cep 01-167 também incrementou a característica de TA nos híbridos em que ela participou, porém a sua CGC não foi significativa.

A semelhança do que foi encontrado no presente trabalho, Schmidt *et al.* (2009), conduziram estudo de avaliação da variabilidade genética de 22 genótipos para caracteres importantes para o melhoramento da cultura e concluíram que entre os melhores genótipos para serem usados em cruzamentos artificiais, a cultivar Safira representa um genitor promissor para ser utilizado em programas de melhoramento que objetivam incrementar a produtividade e a força de glúten.

Para a característica de dureza dos grãos, a cultivar BRS Louro foi identificada como genótipo promissor para obtenção de cultivares com endosperma mais suave, pela CGC significativa. Devido as medidas de CGC não serem significativas, não foi possível identificar, no presente estudo, nenhum genótipo que pudesse incrementar a luminosidade (L^*) da farinha, no entanto, os híbridos que envolviam a cultivar BRS Louro e BRS 179 resultaram em farinhas mais claras.

Nenhum híbrido foi identificado apresentando grãos duros com farinha clara. Os híbridos com valores de textura do grão mais suaves, classificados entre semi-mole a semi-duros (todos com BRS Louro ou BRS 179),

apresentaram farinhas com valores de luminosidade (L^*) acima de 94 (clara), enquanto que aqueles com classificação entre muito-duro a extra-duro mostraram luminosidade (L^*) da farinha abaixo de 92 (escura). Desta forma, pelos resultados obtidos com o estudo dos híbridos, observou-se que existe uma forte dependência da luminosidade (L^*) da farinha em relação a dureza do endosperma e, conseqüentemente, dificuldade de quebrar esta relação em programas de melhoramento. Sendo assim, o desenvolvimento de genótipos com luminosidade (L^*) da farinha mais clara, será obrigatoriamente com grãos de textura de endosperma entre semi-duros a moles.

4.2 Experimento 2 - Análise genética de características relacionada à qualidade dos grãos e da farinha de trigo

4.2.1 Número de queda

A avaliação indireta da atividade da enzima α -amilase, medida pelo número de queda, nas três épocas de colheita não identificou problemas com germinação pré-colheita nas amostras de grãos. Todos os valores do número de queda medidos nas quatro linhas recombinantes, selecionadas aleatoriamente, foram superiores a 200 segundos (APÊNDICE 1), comprovando pouca ou nenhuma interferência da atividade enzimática que pudesse intervir nos resultados de análise da qualidade dos grãos e da farinha.

4.2.2 Luminosidade (L^*) da farinha

Os genótipos utilizados como genitores para a formação das linhas recombinantes apresentaram diferenças significativas para luminosidade (L^*)

da farinha. A cultivar Fundacep Cristalino apresentou a cor mais escura e BRS 177 a mais clara, entre os genitores usados no estudo (TABELA 12). Quando comparados dentro da mesma população, os valores médios obtidos para luminosidade (L^*) da farinha em Cruz Alta, no ano 2008, foram mais elevados, ou seja, mais claros que os obtidos em Eldorado do Sul em 2007, demonstrando a interferência do ambiente na expressão desta característica.

As distribuições das freqüências apresentaram padrão bimodal nas gerações $F_{6:7}$ e $F_{7:8}$ e nas quatro populações (FIGURAS 4, 5, 6 e 7).

A hipótese do número de genes envolvidos na expressão fenotípica da luminosidade (L^*) da farinha foi examinada através do teste de qui-quadrado com base no comportamento dos genitores, da geração F_1 e das distribuições de freqüências das LHR. Foi verificada a hipótese de segregação de 1 genótipo claro, para 1 genótipo escuro em todas as populações.

O critério de separação das classes claro x escuro foi o valor de 93 obtido no colorímetro. As linhas recombinantes com valor superior a 93 foram consideradas de coloração clara e abaixo deste, escura. Este valor foi usado como critério por separar os genitores (homozigotos) em classe clara e escura, porque valores acima de 93 são considerados, na prática, como referência de farinha com coloração clara.

Em todas as populações, a geração F_1 apresentou luminosidade (L^*) da farinha semelhante ao pai mais branco, indicando a existência de dominância para coloração mais clara da farinha. Esta evidência também foi verificada no estudo desenvolvido com cruzamentos dialélicos apresentados anteriormente.

O teste de qui-quadrado confirmou segregação 1 claro : 1 escuro em todas as populações nas gerações $F_{6:7}$ e $F_{7:8}$ (TABELA 14), com exceção da

população BRS 179/Fundacep Cristalino, no ano de 2008. Entretanto, o valor do χ^2 calculado (7,26) para esta população ficou muito próximo do tabelado (6,64). Desta forma, os resultados sugerem que a luminosidade (L^*) da farinha em trigo nas populações avaliadas é governada por um gene dominante.

O resultado obtido neste estudo contraria com o encontrado recentemente por Zhang e colaboradores (2009). Estes autores verificaram distribuição de frequência contínua para a luminosidade (L^*) da farinha, em estudo usando linhas duplo-haplóides. A justificativa para esta diferença pode estar nos genitores usados nos distintos estudos para formar a população de avaliação. Estes autores utilizaram genótipos que apresentaram valores menos contrastantes para a cor, sendo que os valores médios de luminosidade (L^*) das linhas duplo-haplóides, considerando os três ambientes de avaliação, variou de 89,99 a 93,44.

No presente estudo, a variação média da luminosidade (L^*) da farinha, considerando as quatro populações, em todos ambientes, foi de 88,81 a 95,50, sendo que a população BRS 120/Fundacep Cristalino apresentou o maior contraste, variando de 87,92 a 95,83. Desta forma, a diferença observada para luminosidade (L^*) da farinha encontrada por Zhang e colaboradores em 2009 possam ser originadas da expressão de genes aditivos de menor efeito no fenótipo, enquanto que no presente estudo, a presença de um gene dominante pode ter encoberto a expressão dos genes de menor efeito.

A avaliação da luminosidade (L^*) da farinha representa a luz refletida pela farinha dentro da extensão do espectro visível, indicando tendência ao clareamento ou ao escurecimento, variando conforme a quantidade de luz refletida ou absorvida. Vários fatores interferem na coloração da farinha e

alguns destes são intrínsecos do próprio grão de trigo como a dureza ou textura do endosperma.

TABELA 12. Teste de ajuste do qui-quadrado (χ^2) para a luminosidade (L^*) da farinha nas LHR das gerações $F_{6:7}$ e $F_{7:8}$ das quatro populações, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.

Gerações/ano	Média±DP	Número de indivíduos			Proporção Esperada	χ^2
		< 93,00	> 93,00	Total		
2007						
BRS 120/Fundacep Cristalino						
BRS 120	93,12 ± 0,12	1	3	4		
Fundacep Cristalino	90,90 ± 0,05	4	0	4		
F_1	93,36 ± 0,07	0	1	1		
$F_{6:7}$	92,94 ± 1,76	56	60	116	1:1	0,14ns
2008						
BRS 120	94,18± 0,17	0	4	4		
Fundacep Cristalino	90,76± 0,19	4	0	4		
F_1	93,60 ± 0,12	0	1	1		
$F_{7:8}$	92,73 ± 1,89	52	64	116	1:1	1,24 ns
BRS 179/Fundacep Cristalino						
2007						
BRS 179	93,80±0,19	0	4	4		
Fundacep Cristalino	90,20±0,28	4	0	4		
F_1	93,35±0,08	0	1	1		
$F_{6:7}$	92,79±1,53	65	85	150	1:1	2,67 ns
2008						
BRS 179	94,08± 0,10	0	4	4		
Fundacep Cristalino	90,88±0,37	4	0	4		
F_1	94,70±0,03	0	1	1		
$F_{7:8}$	93,22±1,81	47	67	114	1:1	3,51 ns
BRS 120/CEP 9874						
2007						
BRS 120	93,77±0,11	0	4	4		
CEP 9874	91,43±0,10	4	0	4		
F_1	93,50±0,08	0	1	1		
$F_{6:7}$	93,11±1,58	48	37	85	1:1	1,42ns
BRS 177/CEP 9874						
2007						
BRS 177	94,86±0,14	0	4	4		
CEP 9874	92,82±0,23	3	1	4		
F_1	93,92±0,05	0	1	1		
$F_{6:7}$	93,52±1,48	48	74	122	1:1	5,54ns

DP= Desvio padrão; ns = não significativo pelo teste de qui-quadrado a 1%. $\chi^2_{(1)} = 6,64$

No presente estudo, foi avaliada a dureza dos grãos de duas populações conduzidas no ano 2007 em Eldorado do Sul. A análise de correlação entre a dureza e a Luminosidade (L^*) da farinha (TABELA 19 e 20) revelou valores altamente significativos e inversos, sendo $r=-0,87^{**}$ para a população BRS120/Fundacep Cristalino e $r=-0,92^{**}$ na população BRS 179/Fundacep Cristalino. Este resultado indica que quanto mais duros os grãos, mais escura é a farinha. Também foi demonstrado por (Zhang *et al.*, 2005) a alta correlação entre luminosidade (L^*) da farinha e dureza dos grãos. Desta forma, é provável que a segregação monogênica encontrada nas linhas recombinantes para a luminosidade (L^*) da farinha seja devida a presença do gene Ha, responsável pela dureza do grão, em função da alta correlação encontrada entre estas duas características.

O resultado do cálculo de herdabilidade no sentido amplo (h^2a) revelou valores elevados para luminosidade (L^*) da farinha (TABELA 13). Estes resultados reforçam a forte influência genética monogênica da característica. Considerando a alta herdabilidade é possível realizar seleção desta característica em gerações precoces de populações segregantes nos programas de melhoramento. No entanto, a maior limitação seria desenvolver metodologia para obtenção de farinha branca a partir de pequenas quantidades de amostra de grãos.

Programas de melhoramento que utilizam o método de seleção massal modificada poderiam disponibilizar quantidade suficiente de amostra, enquanto que programas que utilizam o método genealógico (plantas ou espigas individuais), dependeriam do potencial de desenvolvimento da planta para produzir grãos suficientes para amostra e ainda sobrar semente para a

formação da próxima geração. Outra dificuldade é escolher a geração para iniciar a seleção para a característica em função do efeito de dominância para o genótipo de cor mais clara. A expressão do fenótipo do homozigoto dominante e do heterozigoto apresenta o mesmo comportamento. Considerando a geração F_3 , 37,5% dos indivíduos seriam homozigotos dominantes contra 25% de heterozigotos. Na geração F_4 , a chance de escolher o homozigoto aumenta para 44%, contra 12,5% do heterozigoto.

Em função da alta correlação encontrada entre dureza dos grãos e luminosidade (L^*) da farinha, a seleção indireta para dureza dos grãos é uma alternativa de selecionar genótipos com cor de farinha mais clara. Grãos de endosperma suave determinam farinhas com coloração clara. A maioria dos programas de melhoramento genético de trigo executa seleção de grãos para os aspectos de enchimento do grão, presença de doenças como giberela (*Giberella zeae*), septoriose (*Septoria tritici*) e também para textura do endosperma nas gerações segregantes.

Visualmente é possível, com certa experiência e dentro de determinadas limitações, diferenciar grãos de endosperma suave dos duros. Desta forma, seria viável a seleção indireta para textura de endosperma mais suave e obter genótipos com coloração de farinha mais clara. Esta seleção poderia ser realizada com forte intensidade nas primeiras gerações de segregação, pelo fato desta característica apresentar expressão genética monogênica.

TABELA 13. Valores da variância fenotípica (VP), variância de ambiente (VE), variância genotípica (VG) e herdabilidade no sentido amplo (h^2a) para o caráter luminosidade (L^*) da farinha de duas populações de trigo, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.

Populações	VP	VE	VG	h^2a
BRS120/Cristalino	3,21	1,04	2,17	0,81
BRS179/Cristalino	2,49	0,69	1,80	0,84

O resultado da análise de distribuição de frequência das linhas recombinantes nas gerações $F_{6:7}$ e $F_{7:8}$ para luminosidade (L^*) da farinha revelou linhagens com segregação transgressiva positiva e negativa em todas as populações (FIGURAS 3, 4, 5 e 6). Os maiores e menores valores encontrados em todas as linhas recombinantes excederam significativamente os valores dos genitores (dados não mostrados). A segregação transgressiva indica que alelos de menor efeito na expressão do fenótipo estão contribuindo na expressão da característica. Isto significa que ambos os genitores possuem alelos que colaboram para o incremento ou decréscimo da característica. Embora tenha ficado evidenciado, através do cálculo da hipótese do número de genes, que o controle gênico da luminosidade (L^*) da farinha enquadra-se no modelo de um gene dominante de grande efeito no fenótipo, é possível que outros genes de menor efeito e aditivos, possam estar interferindo na expressão da característica pela expressão de fenótipos transgressivos. Barnard *et al.* (2002) em estudo com cruzamentos dialélicos encontraram que o efeito da capacidade geral de combinação para luminosidade (L^*) foi altamente significativo, indicando que a característica esta sob controle genético aditivo, apesar da capacidade específica de combinação também apresentar influência. No estudo desenvolvido com populações dialélicas descrito anteriormente, também foi evidenciando controle genético aditivo, através da significância da capacidade geral de combinação.

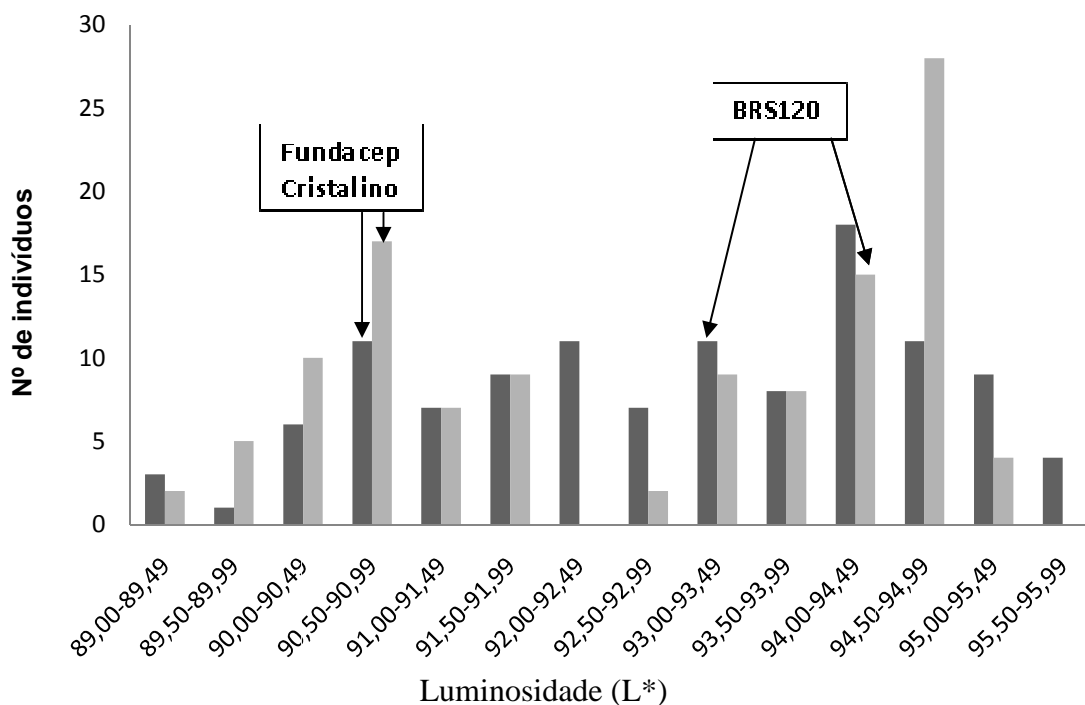


FIGURA 3. Distribuição de freqüência das linhas recombinantes para o caráter luminosidade (L*) da farinha das LHR da população BRS 120/Fundacep Cristalino na geração F_{6:7} em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e F_{7:8} em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.

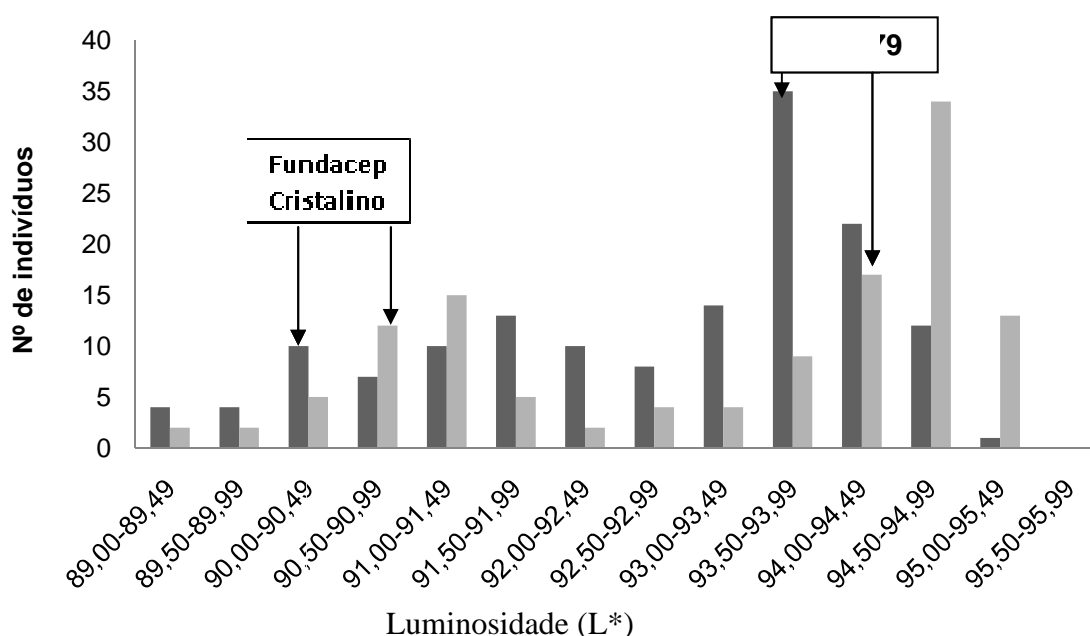


FIGURA 4. Distribuição de freqüência para o caráter luminosidade (L*) da farinha das LHR da população de BRS 179/Fundacep Cristalino na geração F_{6:7} em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e F_{7:8} em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.

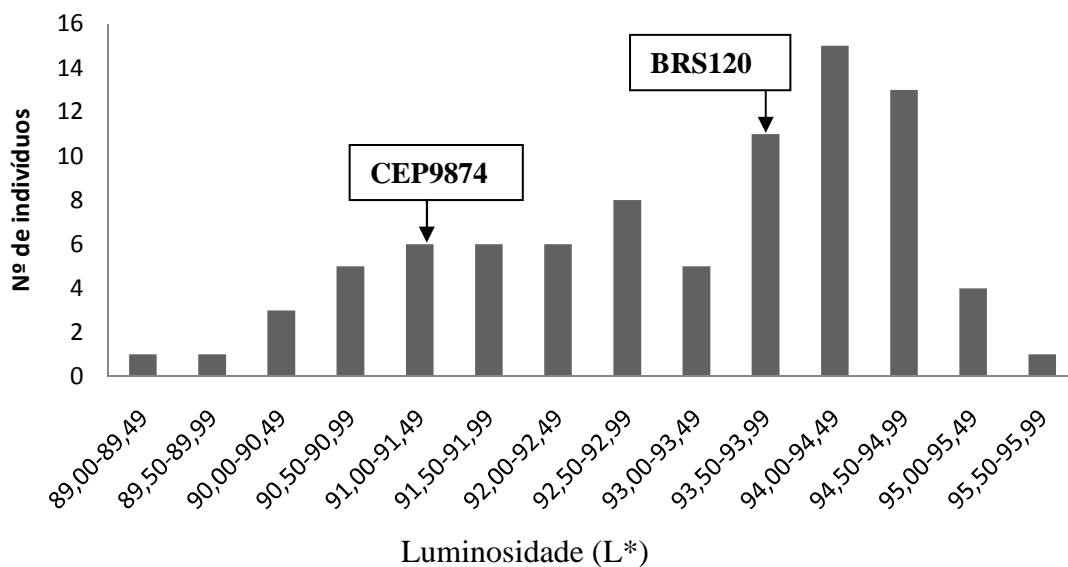


FIGURA 5. Distribuição de freqüência para o caráter luminosidade (L^*) da farinha das LHR da população BRS 120/CEP9874 na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.

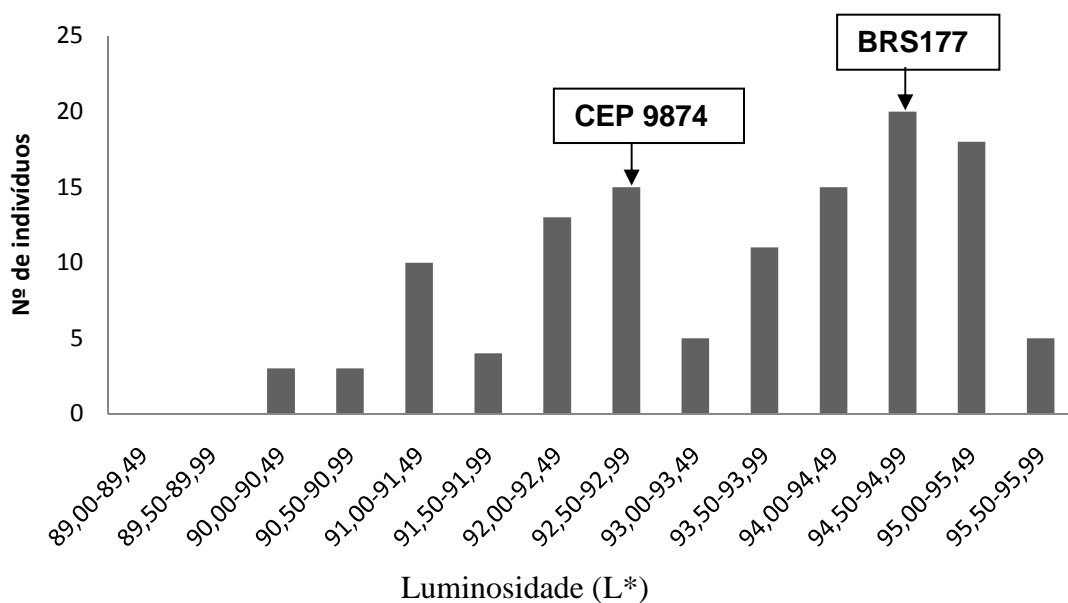


FIGURA 6. Distribuição de freqüência do caráter luminosidade (L^*) da farinha das LHR da população BRS 177/Cep 9874 da geração $F_{6:7}$, Eldorado do Sul em 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.

4.2.3 Coordenada b* da farinha

A medida da coordenada de cromaticidade b* da farinha refere-se a coloração amarela, estabelecida pelo sistema CIEL* a* b* em aparelho colorímetro (Minolta, 1994). A coloração amarela da farinha é o resultado da presença de substâncias causadoras de pigmentação como carotenóides, principalmente, xantofila (Konopka *et al.*, 2005).

Os resultados da análise da variância revelaram diferenças significativas para coordenada b* da farinha entre os genitores das populações e entre as LHR (APÊNDICE 2). As análises de distribuições das freqüências apresentaram padrão bimodal (FIGURAS 7, 8, 9 e 10). Desta forma, foi verificada a hipótese de segregação 1 pigmentado: 1 não pigmentado nas populações. As gerações F₁ apresentaram coordenada b* de farinha semelhante ao genitor de menor valor (não pigmentado). Foram testadas as hipóteses do número de genes envolvidos na expressão fenotípica da coordenada b* da farinha pelo teste de qui-quadrado com base no comportamento dos genitores, da geração F₁ e das distribuições de freqüências das linhas recombinantes. Para a separação das classes foi utilizado o valor 8,0, medido pelo colorímetro em todas as populações e gerações, com exceção da população BRS 179/Fundacep Cristalino na geração F_{6:7} onde foi usado o valor 8,4 pois, o valor 8,0 separou o genitor homocigoto em duas classes. O teste de qui-quadrado confirmou segregação 1 pigmentado : 1 não pigmentado em todas as populações nas gerações F_{6:7} e F_{7:8} (TABELA 14). Sendo assim, os resultados sugerem que a coordenada b* da farinha em trigo nas populações avaliadas é governada por um gene de

grande efeito no fenótipo. Este gene tem efeito dominante em função que a geração F1 apresentou coloração não pigmentada.

TABELA 14. Teste de ajuste do qui-quadrado (χ^2) para a Coordenada b* da farinha nas LHR das gerações F_{6:7} e F_{7:8} de quatro populações, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.

Gerações/ano	Média \pm DP	Número de indivíduos		Total	Proporção Esperada	χ^2
		< 8,00	> 8,00			
BRS 120/Fundacep Cristalino						
2007						
BRS 120	7,1 \pm 0,14	4	0			
Fundacep Cristalino	10,2 \pm 0,21	0	4			
F ₁	6,8 \pm 0,18	1	0			
F _{6:7}	8,6 \pm 1,52	54	62	116	1:1	0,55 ns
2008						
BRS 120	6,7 \pm 0,12	4	0			
Fundacep Cristalino	10,1 \pm 0,09	0	4			
F ₁	7,7 \pm 0,11	1	0			
F _{7:8}	8,1 \pm 1,92	63	53	116	1:1	0,86 ns
BRS 179/Fundacep Cristalino						
2007		< 8,40	> 8,40			
BRS 179	8,3 \pm 0,12	4	0			
Fundacep Cristalino	10,3 \pm 0,16	0	4			
F ₁	7,6 \pm 0,12	1	0			
F _{6:7}	8,7 \pm 1,32	82	68	150	1:1	1,31 ns
2008						
BRS 179	7,7 \pm 0,10	4	0			
Fundacep Cristalino	10,0 \pm 0,08	0	4			
F ₁	7,8 \pm 0,11	1	0			
F _{7:8}	8,3 \pm 1,63	103	81	184	1:1	2,63 ns
BRS 120/CEP 9874						
2007						
BRS 120	7,2 \pm 0,13	4	0			
CEP 9874	9,8 \pm 0,11	0	4			
F ₁	6,9 \pm 0,09	1	0			
F _{6:7}	8,3 \pm 1,35	44	41	85	1:1	0,11 ns
BRS 177/CEP 9874						
BRS 177	6,1 \pm 0,07	4	0			
CEP 9874	9,6 \pm 0,10	0	4			
F ₁	6,6 \pm 0,11	1	0			
F _{6:7}	7,6 \pm 1,31	70	52	122	1:1	2,66 ns

DP= Desvio Padrão.

ns = não significativo pelo teste de qui-quadrado a 1%.

$\chi^2_{(1)} = 6,64$

Relatos de trabalhos anteriores mostram relação positiva entre a coordenada b^* da farinha, com a análise química de determinação de carotenóides (Oliver *et al.*, 1993). Genericamente, farinhas com coloração mais amarela são preferidas para a confecção de determinados produtos alimentícios, como macarrões instantâneos, consumidos em grande escala em países do continente asiático. No entanto, para a confecção de pães, a cor amarela deve ter valor mínimo possível (não pigmentada) para causar a menor interferência no aspecto visual do produto, sendo preferível, desta forma, farinha com valores de coordenada b^* abaixo de 8,0 pela medida do colorímetro.

Existe grande número de estudos genéticos disponíveis na literatura internacional sobre coordenada b^* da farinha em trigo. O mais recente, relatado por Zhang *et al.* (2009), onde foi identificado vários loci de herança quantitativa controlando esta característica e a distribuição de frequência apresentou padrão normal nas populações de estudo, sugerindo que a expressão desta característica é moldada por vários genes ou quantitativa. No presente estudo, a distribuição de frequência foi bimodal com controle genético qualitativo em todas as populações e alto valor de herdabilidade no sentido amplo (0,89 e 0,88) (TABELA 15), sugerindo simplicidade para a seleção da característica de coordenada b^* da farinha em programas de melhoramento interessados em manipular esta característica.

A obtenção de genótipos com valores baixos de coordenada b^* da farinha mais indicados para a panificação é simples em função da herança do caráter ser monogênica e a alta correlação da coordenada b^* da farinha com a dureza dos grãos. Desta forma, em programas de melhoramento genético que

objetivem a obtenção de genótipos com valores baixos de coordenada b^* podem executar indiretamente nas gerações segregantes pelo aspecto de dureza do endosperma dos grãos ou avaliando diretamente a coordenada b^* da farinha.

TABELA 15. Valores da variância fenotípica (VP), variância de ambiente (VE), variância genotípica (VG) e herdabilidade no sentido amplo (h^2a) para o caráter coordenada b^* da farinha em duas populações de trigo, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.

Populações	VP	VE	VG	h^2a
BRS120/ Fundacep Cristalino	2,62	0,5	2,12	0.89
BRS179/Fundacep Cristalino	2,32	0,5	1,82	0,88

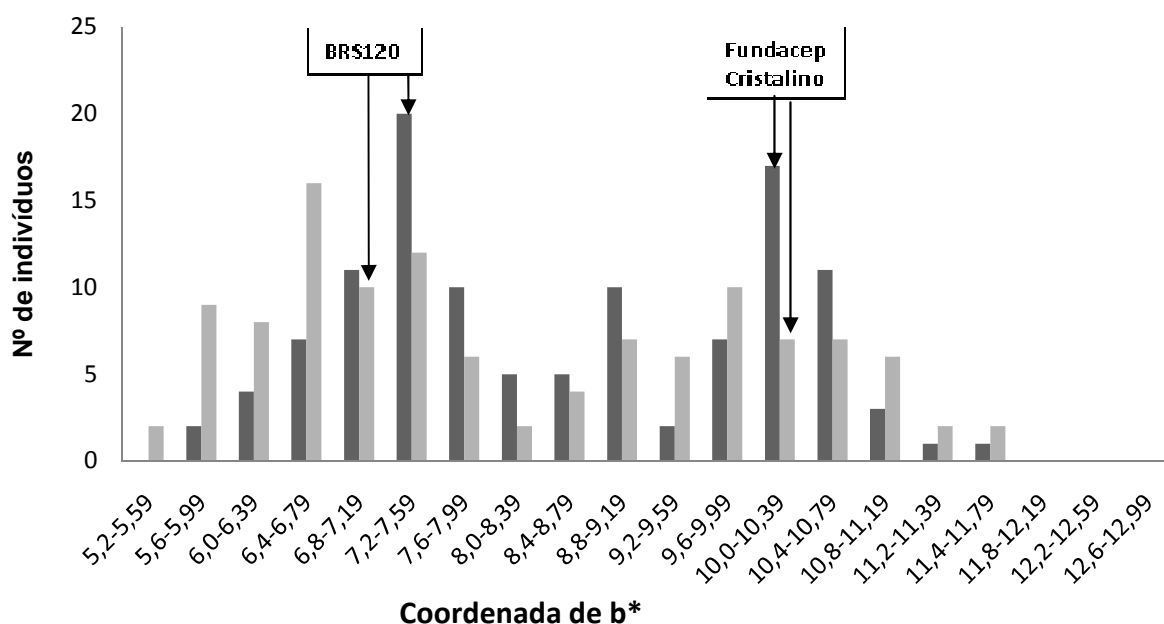


FIGURA 7. Distribuição de freqüência para o caráter coordenada b^* da farinha das LHR da população BRS 120/Fundacep Cristalino na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e $F_{7:8}$ em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.

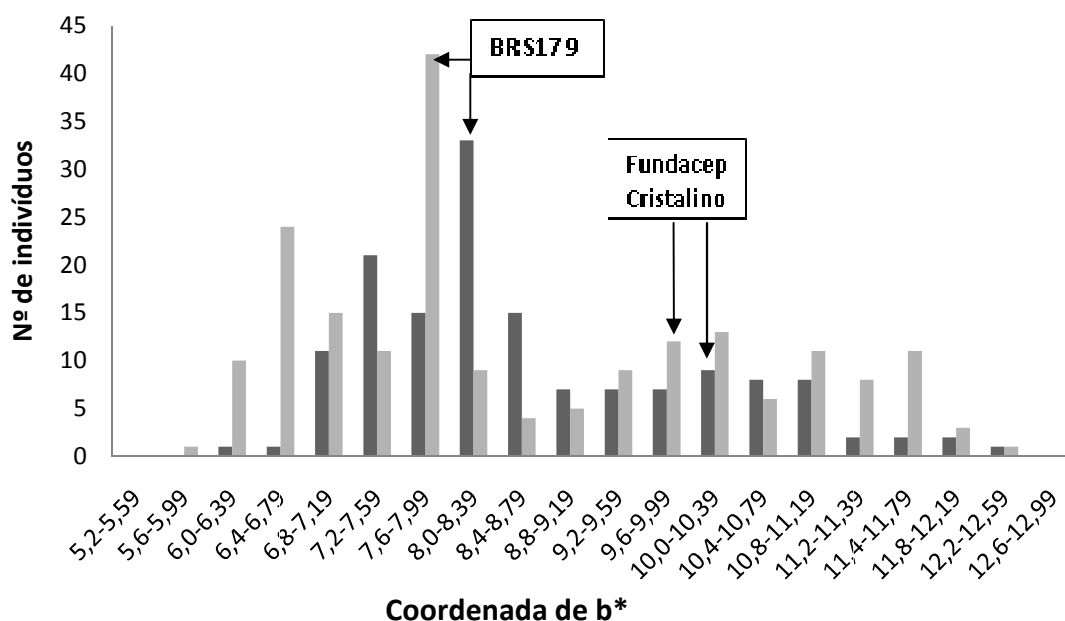


FIGURA 8. Distribuição de frequência para o caráter coordenada b* da farinha das LHR da população BRS 179/Fundacep Cristalino na geração F_{6:7} em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e F_{7:8} em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.

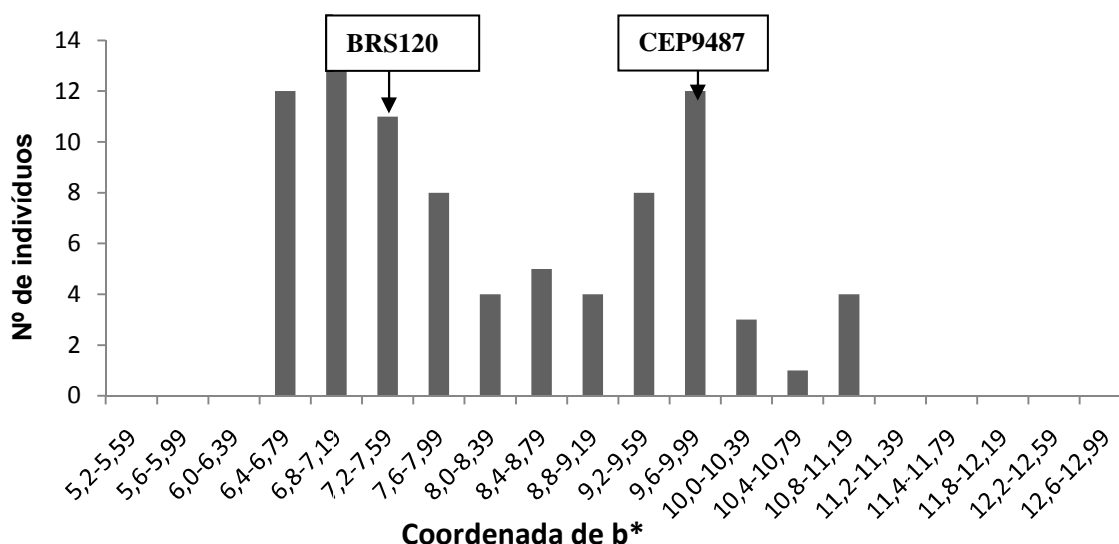


FIGURA 9. Distribuição de frequência para o caráter coordenada b* da farinha das LHR da população BRS 120/CEP9874 na geração F_{6:7} em Eldorado do Sul, 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.

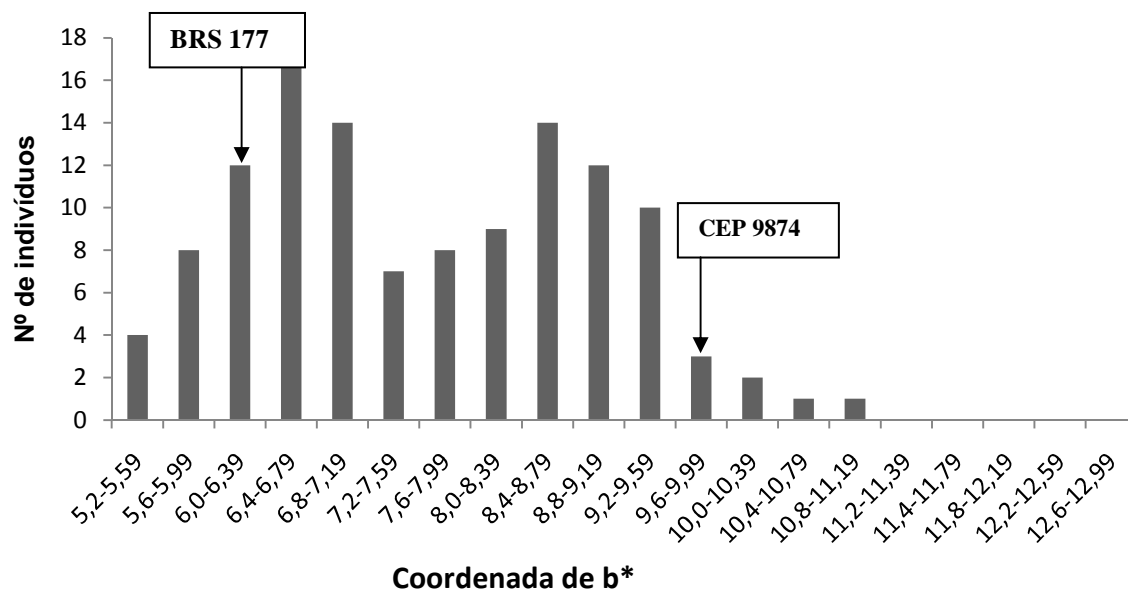


FIGURA 10. Distribuição de freqüência do caráter coordenada b* da farinha de LHR da população BRS 177/Cep 9874 da geração F_{6:7} em Eldorado do Sul, 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.

4.2.4 Dureza dos grãos

As distribuições das freqüências para a característica de dureza dos grãos nas populações avaliadas apresentaram padrão bimodal (FIGURAS 11 e 12). Outros estudos corroboram com este padrão de distribuição (Campbell *et al.*, 2001; Breseghello *et al.*, 2005). Usando o teste de qui-quadrado foi avaliada a hipótese de segregação monogênica para a característica de dureza dos grãos, considerando 1 genótipo suave para 1 genótipo duro com base no comportamento dos genitores, da geração F₁ e das distribuições de freqüências das linhas recombinantes. Para a separação entre as classes de grãos duros e suaves, foi usado o valor de 65 determinado em equipamento SKCS - Single Kernel Characterization System (Sistema de Caracterização Individual da Semente), pela AACC (2000). Segundo a classificação da AACC, os genótipos que apresentam valores superiores a 65 são classificados como

duros a extra-duros. Abaixo deste valor os genótipos apresentam grãos semi-duros a extra-moles. As LHR que apresentaram valores de desvio padrão superior a 25% para a dureza dos grãos foram eliminadas da avaliação.

O teste de qui-quadrado confirmou segregação 1 mole : 1 duro na caracterização da dureza dos grãos, nas duas populações avaliadas na geração F_{6:7} conduzidas a campo em Eldorado do Sul, 2007 (TABELA 16). A cultivar Fundacep Cristalino ficou classificada como grão extra-duro nas duas populações, enquanto que BRS 120 classificou-se como de grão mole e BRS 179 como grão semi-duro. Na população BRS120/Fundacep Cristalino nenhuma linhagem recombinante mostrou valor significativamente superior ao genitor com grão duro (Fundacep Cristalino) e nem inferior ao genitor com grão mole (BRS 120), não apresentando desta forma, segregação transgressiva. Por outro lado, na população BRS 179/Fundacep Cristalino surgiram linhagens recombinantes transgressivas negativas e positivas (FIGURA 13). A população que não apresentou segregação transgressiva foi constituída pelo genitor que apresentava o menor valor para a dureza (BRS 120) e, conseqüentemente, a de maior contraste em relação ao outro genitor. Não houve contribuição de genes de ambos pais para o acréscimo ou diminuição da característica. No entanto, para a outra população, onde surgiu a segregação transgressiva o genitor de grão mais mole contribuiu para o incremento do pai com grão mais duro.

Os resultados encontrados nesse estudo corroboram com outros autores, como Turnbull & Rahman (2002), que concluíram que a dureza dos grãos em trigo é governada por um gene dominante para a suavidade dos grãos e de grande efeito no fenótipo.

A seleção de genótipos em programas de melhoramento para o aspecto de dureza dos grãos é simples, pois esta característica apresenta herança monogênica. Desta forma, basta que um dos genótipos que participe no processo de hibridação apresente a característica de interesse (grão duro ou mole). Pelo fato da característica de endosperma duro ser recessivo, na geração segregante F_2 é possível através da seleção separar o homozigoto recessivo de endosperma duro que fixará a característica e não irá segregar durante todo o processo seletivo até gerações mais avançadas (F_7 e F_8). No entanto, se o objetivo for obter genótipos com grãos de endosperma mole, de caráter dominante, a confirmação do homozigoto dominante poderá ser executada somente a partir da geração F_3 .

TABELA 16. Teste de ajuste do qui-quadrado (χ^2) para a dureza dos grãos nas LHR da geração $F_{6:7}$ de duas populações, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2007.

BRS 120/Fundacep Cristalino		Número de indivíduos			Proporção Esperada	χ^2
Gerações	Média \pm DP	< 65	> 65	Total		
BRS 120	27,7 \pm 1,9	2	0	2		
F. Cristalino	92,5 \pm 1,6	0	2	2		
F_1	48,5	1	0	1		
$F_{6:7}$	62,7 \pm 19,2	58	51	109	1:1	0,44ns
BRS 179/Fundacep Cristalino		Número de indivíduos			Proporção Esperada	χ^2
Gerações	Média \pm DP	< 65	> 65	Total		
BRS 179	46,6 \pm 1,1	2	0	2		
F. Cristalino	90,90 \pm 0,05	0	2	2		
F_1	59,1	1	0	1		
$F_{6:7}$	60,5 \pm 18,5	60	46	106	1:1	1,85ns

DP= Desvio Padrão

ns = não significativo pelo teste de qui-quadrado a 1%.

$\chi^2_{(1)} = 6,64$

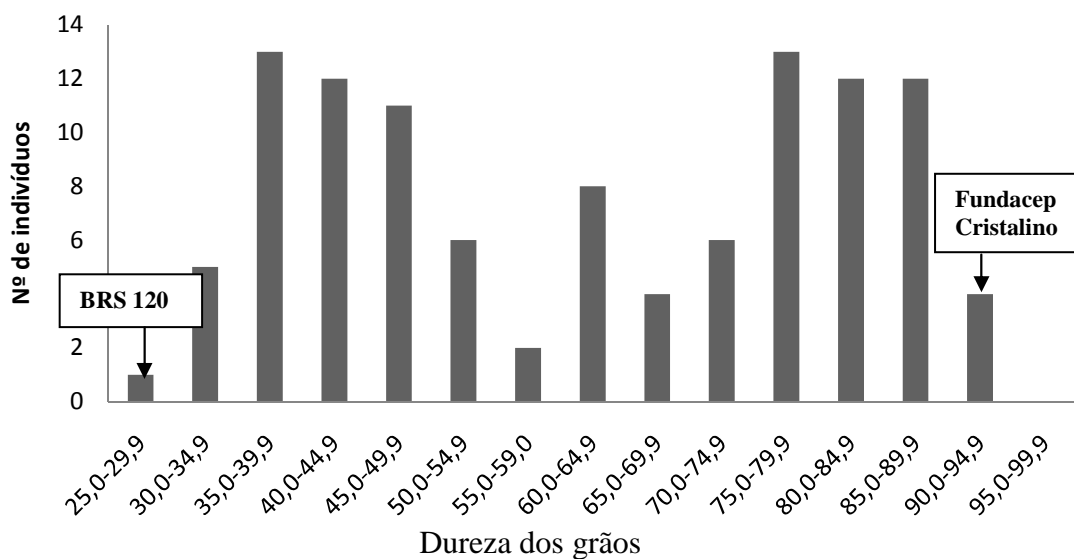


TABELA 11. Distribuição de freqüência para o caráter dureza dos grãos das LHR da população BRS 120/Fundacep Cristalino na geração $F_{6.7}$ em Eldorado do Sul, 2007.

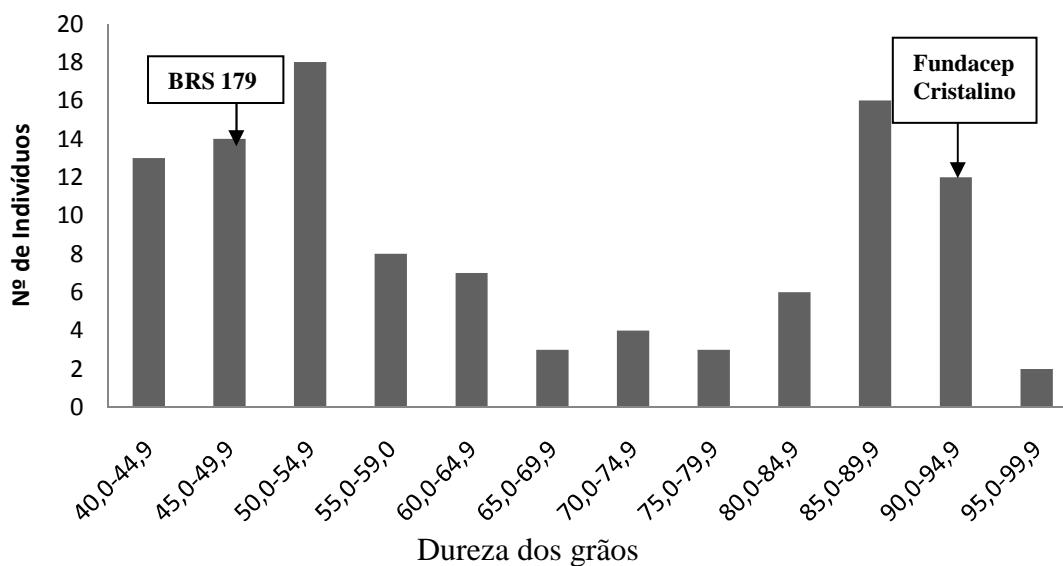


FIGURA 12. Distribuição de freqüência para o caráter dureza dos grãos das LHR da população BRS 179/Fundacep Cristalino na geração $F_{6.7}$ em Eldorado do Sul, 2007.

4.2.5 Tempo de amassamento - Mixografia

Houve diferença significativa para a característica tempo de amassamento (TA) da farinha entre os genótipos utilizados como genitores nas quatro populações em estudo. Este resultado comprova que a mixografia é um teste eficiente para identificar genótipos que apresentam diferença nas propriedades de mistura da massa. As diferenças nos valores de tempo de amassamento encontrados para o mesmo genitor são devido ao efeito do local e do ano. Os dados obtidos para tempo de amassamento mostram que para as populações avaliadas nos dois anos, os valores obtidos em 2007, em Eldorado do Sul, foram superiores aos dados de 2008, em Cruz Alta (TABELA 17).

Fazendo uma análise das informações de clima dos dois anos em cada local, verificaram-se diferenças de temperatura e de volume de precipitação nos períodos decorridos entre o início do enchimento de grãos, até a maturação de colheita do trigo. No ano de 2007, em Eldorado do Sul, o índice pluviométrico registrou o menor volume de chuva e a temperatura média foi mais baixa, quando comparado com Cruz Alta, em 2008. Estes dois fatores climáticos são determinantes na expressão fenotípica da qualidade de farinha em trigo.

No Rio Grande do Sul, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima é temperado húmido subtropical (Cfa), sendo que o índice pluviométrico, a umidade relativa do ar e as elevadas temperaturas nos períodos de enchimento e na maturação dos grãos de trigo (outubro e novembro), são os principais problemas para a produtividade e a qualidade do trigo. No mundo, a temperatura e a precipitação no período de maturação, são

identificadas como os maiores fatores que afetam a qualidade tecnológica do trigo (Stone & Nicolas, 1998; Tahir *et al.*, 2006).

Ficou comprovado, pelos mesmos motivos, através do estudo de interação genótipo x ambiente, apresentado em item seguinte desta tese (experimento 3), que os valores de força de glúten (W), medida pela alveografia, em Eldorado do Sul (2007), foram superiores na comparação com Cruz Alta (2008).

TABELA 17. Valores do caráter tempo de amassamento (s), desvio padrão e número de indivíduos avaliados dos genitores e das LHR nas gerações F_{6:7} e F_{7:8} de quatro populações de trigo, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.

Populações	Tempo de Amassamento (s)		
	Genitor 1	Genitor 2	Média LHR±DP
BRS120/Cristalino (2007)	225±4,0 (4) b	300±15 (4) a*	212±58 (116)
BRS120/Cristalino (2008)	160±6,5 (4) b	200±10 (4) a	172±45 (99)
BRS179/Cristalino (2007)	107±13 (4) b	215±11 (4) a	172±51 (150)
BRS179/Cristalino (2008)	95±4,0 (4) b	192± 9 (4) a	138±39 (125)
BRS120/9874 (2007)	220±5,5 (4) b	320± 6 (4) a	301±72 (85)
BRS177/9874 (2007)	250±3,6 (4) b	360±12 (4) a	231±65 (122)

*valores seguidos de letra diferente na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

Os gráficos das distribuições de frequência através do agrupamento dos dados em classes para todas as populações, nas duas gerações avaliadas apresentaram distribuição contínua, indicando que a característica tempo de amassamento é de herança quantitativa (FIGURAS 13, 14, 15 e 16).

Outros estudos genéticos utilizando a mixografia para medir indiretamente a força de glúten, demonstram que a característica tempo de amassamento encontrada foi de herança quantitativa (Campbell, 2001; Barnard, 2002). Na Figura 17 são apresentados dois gráficos mostrando linhas recombinantes com diferenças em TA e altura da curva. As quatro populações

avaliadas apresentaram linhas recombinantes com segregação transgressiva positiva e negativa para o TA. Com o propósito de avaliar a contribuição genética para o TA nas progenies das populações que envolviam os genitores CEP 9874 e Fundacep Cristalino, foi analisada no ano de 2007 a proporção de linhas recombinantes que apresentaram segregação transgressiva positiva.

Os genitores analisados apresentaram valores de TA de 320 e 300s, respectivamente. BRS 120 foi o genitor comum na formação das populações. Foi observado que 32,5% das linhas recombinantes da população BRS 120/Fundacep Cristalino apresentaram valores de TA inferior ao genitor de menor valor, enquanto que apenas 4% foram superiores ao genitor de maior valor (FIGURA 13). No entanto, na população BRS 120/CEP 9874, 40% das linhas apresentaram segregação transgressiva positiva, ultrapassando o valor de 300s e apenas 3% mostraram valor inferior a BRS 120 (FIGURA 15). Estes resultados sugerem que genótipos com valores fenotípicos semelhantes, quando usados como genitores, contribuíram de forma diferenciada para o incremento da característica.

No presente estudo, CEP 9874 contribuiu com alelos mais eficientes para o incremento do TA em comparação a Fundacep Cristalino de mesmo valor fenotípico (TABELA 18). Estes resultados são de grande importância para os programas de melhoramento pois, ao utilizar um genitor que contribui com alelos favoráveis para o incremento de determinada característica, aumenta a probabilidade de seleção ao acaso de progênie com melhor valor fenotípico em gerações segregantes.

As combinações usadas neste estudo foram orientadas para combinar genitores com valores de TA contrastante com o propósito de identificar

segregação transgressiva positiva para o caráter. A existência de linhas recombinantes com valor superior ao melhor genitor, não restringe o cruzamento entre genótipos pertencentes a distintas classes, aumentando com isso a variabilidade genética de outras características de interesse ao melhoramento, como resistência à doenças e rendimento de grãos. Seria interessante desenvolver estudo de populações de linhas recombinantes, usando genitores com elevado valores de TA e verificando o percentual de indivíduos com segregação transgressiva, como por exemplo a combinação entre CEP 9874 e Fundacep Cristalino.

A herdabilidade no sentido amplo foi calculada para as populações BRS120/Fundacep Cristalino e BRS179/Fundacep Cristalino (TABELA 18). O ano foi considerado como repetição para o cálculo da variação ambiental, pelo fato dos ensaios terem sido conduzidos individualmente em cada local sem repetição. Desta forma, foi considerado para o cálculo somente as linhas recombinantes que participaram nos dois anos de avaliação. Os valores obtidos para herdabilidade no sentido amplo foram altos para a característica de tempo de amassamento (TABELA 20).

TABELA 18. Valores da Variância Fenotípica (VP), de ambiente (VE), variância genotípica (VG) e herdabilidade no sentido amplo (h^2a) para o caráter tempo de amassamento em duas populações de trigo, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.

Populações	VP	VE	VG	h^2a
BRS120/Cristalino	2649	1071	1578	0,75
BRS179/Cristalino	2208	659	1549	0,82

Estes elevados valores significam que o efeito ambiental foi reduzido. Apesar da característica tempo de amassamento apresentar herança

quantitativa, indicando que vários genes atuam na expressão do fenótipo, o reduzido efeito ambiental associado aos altos valores de herdabilidade, sugerem que a seleção para tempo de amassamento pode ser eficiente para alcançar ganho genético no processo de melhoramento. O progresso na seleção para o incremento da característica de tempo de amassamento pode ser esperado em função da alta herdabilidade, reduzido efeito ambiental e pelo controle genético aditivo medido através da significância da capacidade geral de combinação (CGC) para o caráter (TABELA 4).

Da mesma forma, Gras & O'Brien (1992), encontraram valores médios a altos para herdabilidade pai-progenie para tempo de amassamento, usando teste de mixografia nas geração segregantes F_2 e F_3 . Barnard *et al.* (2002), também encontraram valores altos (0,72) de herdabilidade no sentido amplo para tempo de amassamento estimado em população F_2 de cruzamentos dialélicos.

Desta maneira, a seleção em programas de melhoramento genético poderia ser iniciada a partir de gerações precoces como F_3 . É possível, atualmente fazer seleção em gerações segregantes para a característica de tempo de amassamento com o auxílio de mixógrafo que utiliza apenas dois gramas de farinha. Neste caso, o fator mais limitante é a produção de amostras de grãos suficientes para análise.

Dentre as estratégias utilizadas para a seleção, o método pedigree ou massal modificado seria o mais indicado pela possibilidade de produzir quantidade suficiente de amostra, porém, com o inconveniente das amostras de grãos originários de plantas ou espigas representarem a média dos indivíduos de determinada combinação, podendo ser descartados genótipos

(plantas) com melhor valor genético. No método genealógico, através de seleção individual de plantas ou espiga, o progresso genético pode ser maior, no entanto, a limitação é o pequeno volume de amostra de grãos que uma planta individual produz. Desta forma, este tipo de seleção pode ficar restrito a ambientes mais favoráveis a melhor expressão fenotípica das plantas.

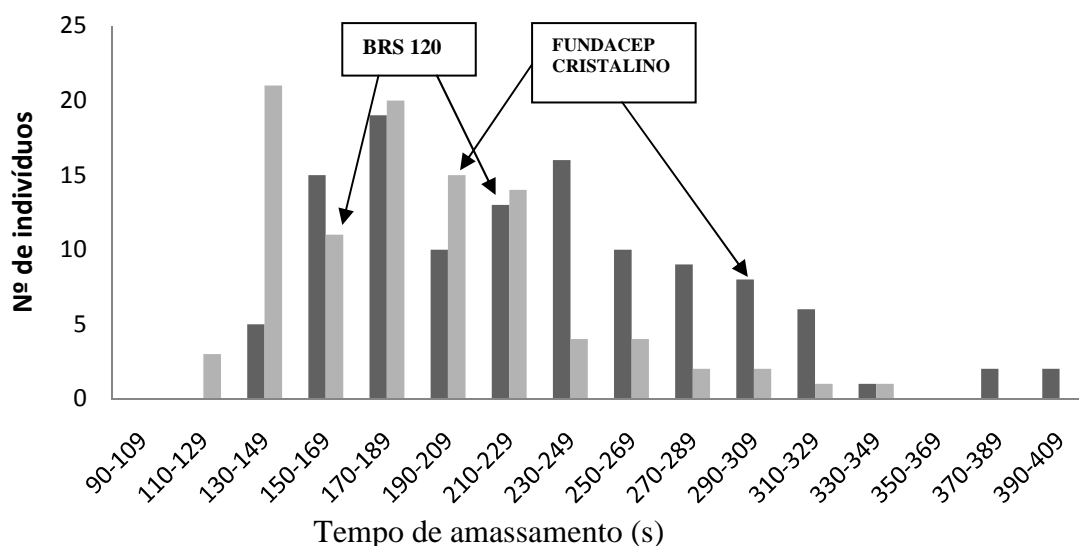


FIGURA 13. Distribuição de freqüência para o caráter tempo de amassamento da farinha das LHR da população BRS 120/Fundacep Cristalino na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e $F_{7:8}$ em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.

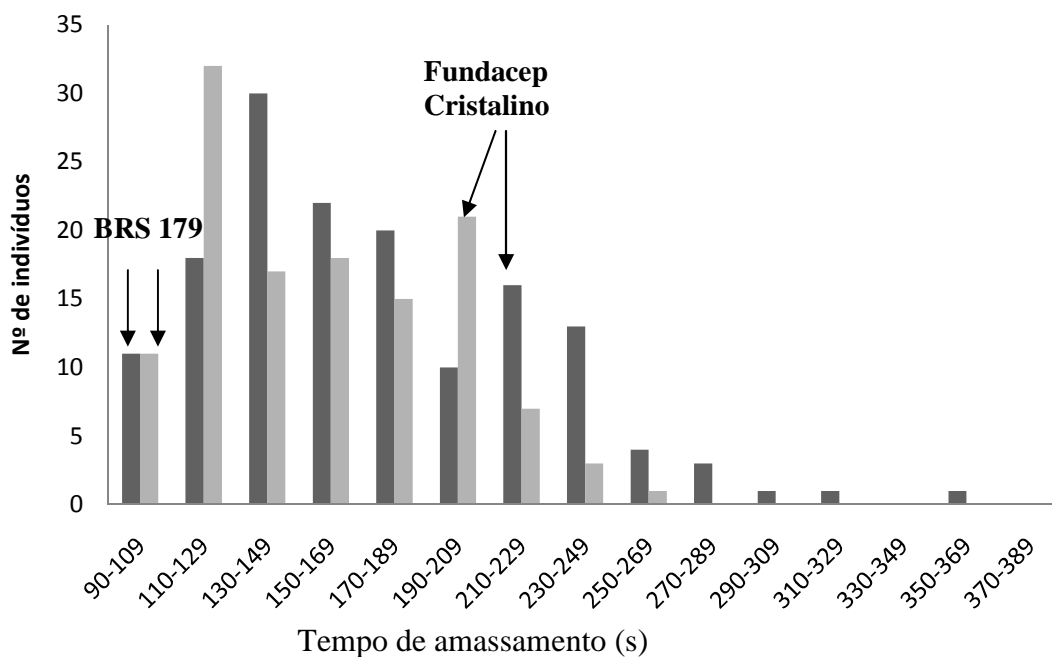


FIGURA 14. Distribuição de freqüência para o caráter tempo de amassamento da farinha das LHR da população BRS 179/Fundacep Cristalino na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007 (barras pretas) e $F_{7:8}$ em Cruz Alta, 2008 (barras cinzas). O valor médio dos genitores são indicados por setas.

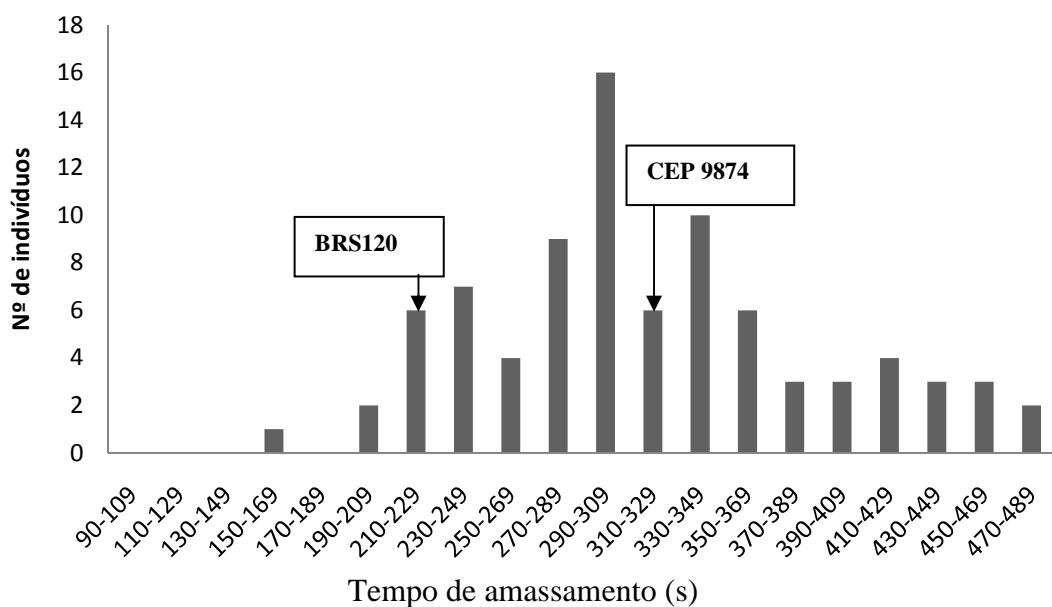


FIGURA 15. Distribuição de freqüência para o caráter tempo de amassamento da farinha das LHR da população BRS 120/CEP 9874 na geração $F_{6:7}$ em Eldorado do Sul, 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.

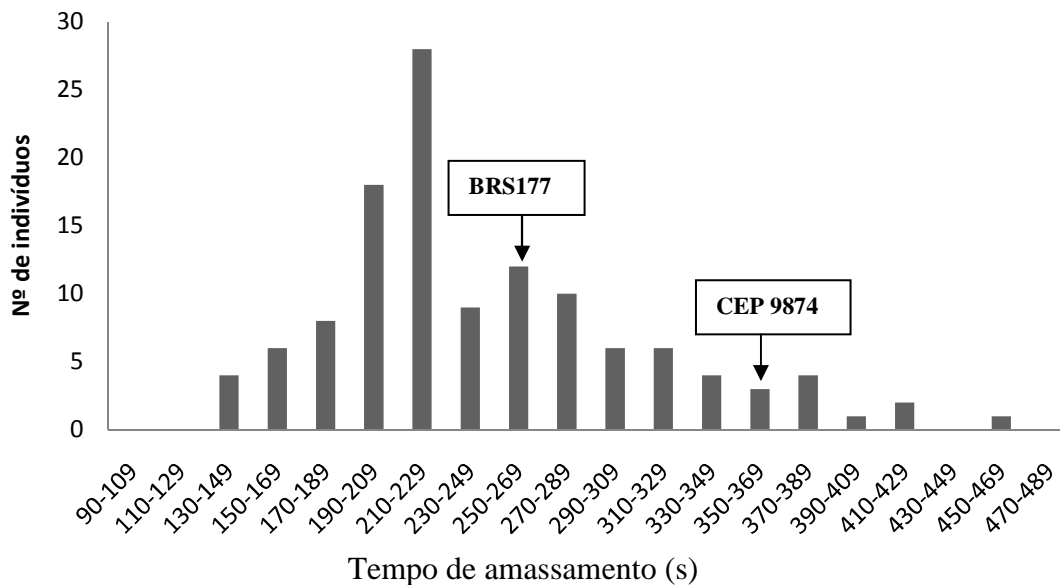


FIGURA 16. Distribuição de freqüência para o caráter tempo de amassamento da farinha das LHR da população BRS 177/CEP 9874 na geração $F_{6.7}$ em Eldorado do Sul, 2007. O valor médio dos genitores são indicados por setas.

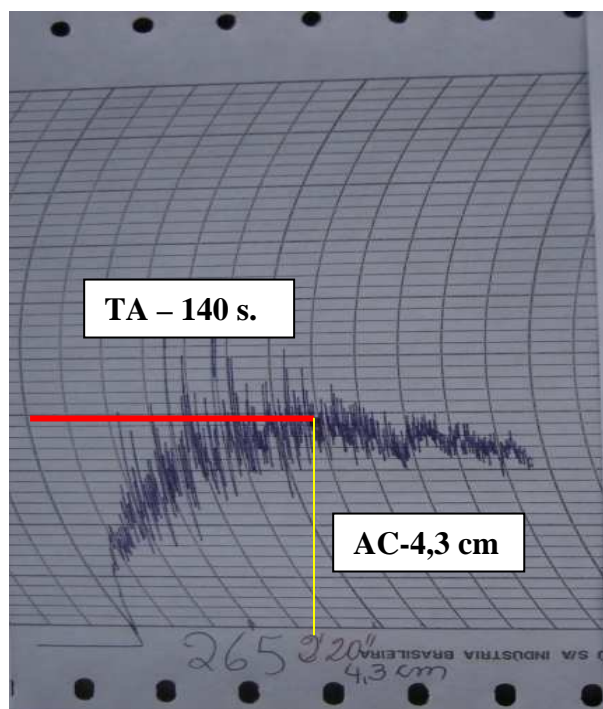
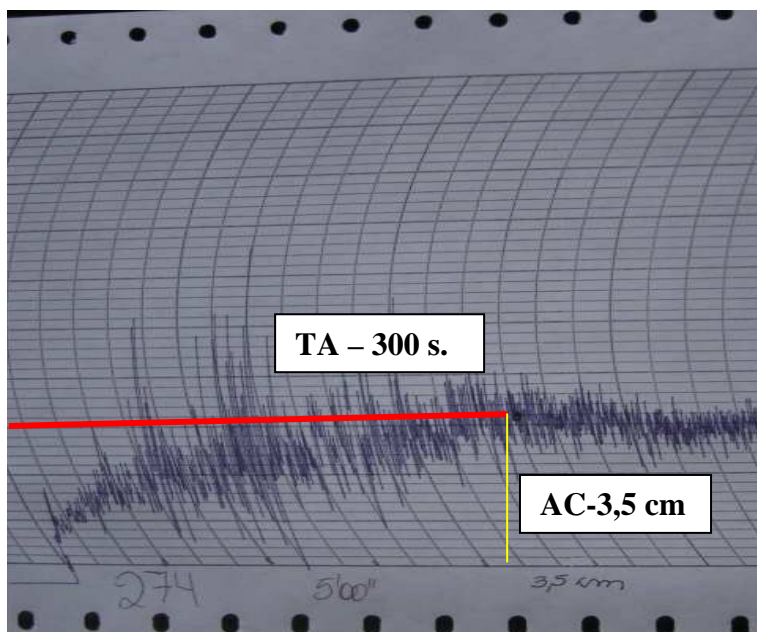


FIGURA 18. Mixografia indicando tempo de amassamento (TA) e medida da altura da curva (AC) de duas LHR da população BRS 179/Fundacep Cristalino, Fundacep, Cruz Alta-RS, 2008.

4.2.6 Correlações

Foram calculadas as correlações lineares entre as características determinadas pela mixografia (tempo de amassamento e altura da curva), dureza dos grãos e coloração da farinha (L^* e b^*) nas quatro populações sem a presença dos genitores. Para as populações BRS120/Fundacep Cristalino e BRS 179/Fundacep Cristalino, avaliadas em dois anos nas gerações $F_{6:7}$ e $F_{7:8}$, a correlação linear foi calculada também entre os anos. Diversas correlações significativas positivas e negativas foram encontradas entre as características (TABELAS 20, 21, 22 e 23).

A cor de farinha, medida pelos padrões de luminosidade (L^*) e cromaticidade (b^*) correlacionaram-se significativamente com a maioria das outras características de qualidade, com exceção do tempo de amassamento. As correlações entre L^* e b^* foram significativas e inversas ($R^2 > -0,73$), em todas as populações e gerações.

Zhang *et al.* (2009), também encontraram correlação significativa ($R^2 = -0,56^{**}$) entre os parâmetros L^* e b^* . Para a dureza dos grãos, ficou evidenciada a forte influência desta característica na cor da farinha pelas elevadas correlações encontradas, sendo os valores altamente significativos com R^2 próximo de 0,90. A correlação da dureza dos grãos foi negativa para o valor de luminosidade (L^*) e positiva para a coordenada b^* . Desta forma, quanto mais suaves os grãos, mais clara a farinha, evidenciado pelo maior valor de L^* e menor valor de b^* .

As correlações encontradas entre coordenada b^* de farinha e dureza dos grãos foram altamente significativas, sendo 0,88** para a população BRS 120/Fundacep Cristalino e 0,85** para BRS179/Fundacep Cristalino (TABELA

20 e 21). Este resultado demonstra que grãos com endosperma mais duros resultam em farinhas mais escuras através da maior presença de pigmentos. A textura ou dureza dos grãos apresentou correlação direta com a coordenada b^* e inversa com a luminosidade (L^*) da farinha revelando que para a obtenção de genótipos com coloração de farinha mais clara com menor pigmentação, obrigatoriamente tem de ser através de grãos mais moles ou suaves, onde existe menor concentração de farelo e pigmentos.

A dureza dos grãos de trigo é determinada pela continuidade da matriz protéica através de pontes de ligações dissulfeto entre as proteínas.

Genótipos de trigo com endosperma duro apresentam matriz contínua e forte aderência entre os grânulos de amido e proteína. Esta coesão dificulta a separação do endosperma dos demais componentes do grão no processo de moagem. Por outro lado, grãos de endosperma mais suave evidenciam fraca aderência entre os grânulos de amido e proteína, possibilitando a produção de farinha com maior intensidade de cor branca (L^*) pela maior exposição dos grânulos de amido (Giroux & Morris, 1998; Gutkoski *et al.*, 2003).

O tempo de amassamento apresentou correlação significativa e inversa apenas com a medida da altura da curva do gráfico da mixografia. Quanto mais alta a curva do gráfico, menor o tempo de amassamento. Não houve correlação significativa do tempo de amassamento com as cores de farinha e dureza dos grãos.

Os genitores usados nos cruzamentos para a formação das populações apresentam contraste para as características de tempo de amassamento, dureza dos grãos e cor de farinha. Desta forma, os genitores que apresentam menor tempo de amassamento, têm grãos suaves com farinha de coloração

clara, enquanto que aqueles com maior tempo de amassamento têm grãos duros com farinha escura. O fato de não haver correlação significativa nas linhas recombinantes do tempo de amassamento com a dureza dos grãos e a cor de farinha prova que é plausível obter recombinação para as características estudadas. Desta forma, é possível obter genótipos com farinha de coloração mais clara e com maior força de glúten, este último medido indiretamente pelo tempo de amassamento. Além disso, a análise da variância das linhas recombinantes para o tempo de amassamento em todas as populações mostrou que as dez linhagens que apresentaram o melhor desempenho para a característica de tempo de amassamento proporcionaram valores independentes de dureza do grão e cor de farinha (TABELA 23).

Genótipos que apresentam elevada força de glúten, associada a farinha de coloração mais clara, são valorizados na comercialização de trigo no Brasil, em função do seu uso ser preferencial para a fabricação de pães. Correlações entre os anos para todas as características foram altamente significativas (TABELAS 20 e 21), sendo que as mais elevadas foram a da luminosidade L^* e coordenada b^* , indicando maior efeito do genótipo e menor efeito do ambiente sobre a expressão do fenótipo para estas características. No entanto, as características de tempo de amassamento e altura da curva do gráfico da mixografia foram as características que apresentaram menores valores de correlação sendo a altura da curva a menos estável entre os anos nas duas populações avaliadas (TABELAS 19 e 20).

TABELA 19. Correlação entre características de qualidade tecnológica avaliadas na População BRS120/Fundacep Cristalino, UFRGS, Eldorado do Sul-RS (2007) e Fundacep, Cruz Alta-RS (2008).

Caráter	2007				2008			
	Valor b*	TA	Altura	Dureza	L*	Valor b*	TA	Altura
L*	-0,87**	-0,07	-0,31**	-0,87**	0,67**	-0,73**	-0,08	-0,15
Valor b*		-0,002	0,37**	0,88**		0,82**	-0,03	0,43**
TA			-0,41**	0,05			0,61**	-0,37
Altura				0,52**				0,49**

L*– Medida da luminosidade da farinha; Valor b* – Medida de cromaticidade da farinha; TA – Tempo de amassamento (s) pela mixografia; Altura – Altura da curva (cm) produzida na mixografia; Dureza– Dureza dos grãos pelo sistema SKCS. Diagonal em negrito, correlação entre os anos 2007 e 2008. ** Significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 20. Correlação entre características de qualidade tecnológica avaliadas na População BRS179/Fundacep Cristalino, UFRGS, Eldorado do Sul-RS (2007) e Fundacep, Cruz Alta-RS (2008).

Caráter	2007				2008			
	Valor b*	TA	Altura	Dureza	L*	Valor b*	TA	Altura
Cor L*	-0,84**	-0,13	-0,61**	-0,92**	0,77**	-0,85**	-0,2	-0,55**
Valor b*		0,01	0,48**	0,85**		0,81**	0,01	0,48**
TA			-0,13	0,23			0,74**	-0,40**
Altura				0,64**				0,44**

L*– Medida da luminosidade da farinha; Valor b* – Medida de cromaticidade da farinha; TA – Tempo de amassamento (s) pela mixografia; Altura – Altura da curva (cm) produzida na mixografia; Dureza– Dureza dos grãos pelo sistema SKCS. Diagonal em negrito, correlação entre os anos 2007 e 2008. ** Significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 21. Correlação entre características de qualidade tecnológica avaliadas na População BRS 120/CEP 9874, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2007.

Caráter	Valor b*	TA	Altura
L*	-0,88**	0,002	-0,45**
Valor b*		-0,09	0,51**
TA			-0,42**

L*– Medida da luminosidade da farinha; Valor b* – Medida de cromaticidade da farinha; TA – Tempo de amassamento (s) pela mixografia; Altura – Altura da curva (cm) produzida na mixografia; ** Significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 22. Correlação entre características de qualidade tecnológica avaliadas na População BRS 177/CEP 9874, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, 2007.

Caráter	Valor b*	TA	Altura
L*	-0,87**	0,05	-0,42**
Valor b*		-0,06	0,42**
TA			-0,49**

Luminosidade (L*)– Medida da luminosidade da farinha; Coordenada b* – Medida de cromaticidade da farinha;

TA – Tempo de amassamento (s) pela mixografia; Altura – Altura da curva (cm) produzida na mixografia; ** Significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 23. Tempo de amassamento (s) e luminosidade (L*)da farinha de 10 LHR que apresentaram os maiores valores de tempo de amassamento das quatro populações, UFRGS, Eldorado do Sul-RS e Fundacep, Cruz Alta-RS.

BRS 120/ F. Cristalino		BRS 179/ F. Cristalino		BRS 120/ Cep 9874		BRS 177/ Cep 9874	
TA	L*	TA	L*	TA	L*	TA	L*
380	93,92	360	94,72	460	94,03	440	92,15
365	91,04	340	90,42	460	94,49	400	92,82
360	93,25	310	91,51	450	91,81	395	94,04
320	90,69	280	91,90	440	93,51	385	91,33
310	94,09	270	92,04	435	92,08	370	95,12
310	94,67	265	91,67	425	92,14	360	93,54
275	93,72	260	92,23	420	94,14	360	92,22
235	93,36	250	90,92	420	92,80	350	94,53
230	91,06	240	93,84	410	94,55	345	92,91
205	90,46	230	92,60	400	91,88	340	95,18

TA = Tempo de amassamento (s); L*= Luminosidade medida em colorímetro.

4.3 Experimentos 3 - Interação genótipo x ambiente de características de qualidade dos grãos e da farinha de 20 genótipos de trigo em seis ambientes do RS.

4.3.1 Número de queda

As condições de ambiente caracterizadas por elevadas temperaturas e número de precipitação durante a maturação do trigo no Rio Grande do Sul, condicionam o surgimento da germinação dos grãos ainda na espiga (germinação pré-colheita) e a conseqüente depreciação da qualidade da farinha através do desencadeamento de enzimas hidrolíticas responsáveis pelo processo de germinação que transformam carboidratos em monossacarídeos ou oligossacarídeos (Derera, 1989).

Nos cereais, a enzima α -amilase é a mais importante neste processo e sua determinação pode ser feita de forma indireta através da determinação do número de queda. Desta forma, com o propósito de verificar a atividade enzimática foram realizadas análises de número de queda ou “Falling Number” das amostras dos seis ambientes. Os valores médios obtidos dos 20 genótipos nos seis ambientes são apresentados na TABELA 24.

Valores superiores a 200 segundos indicam que houve escassa atividade enzimática e insignificante dano na constituição do amido e das proteínas dos grãos. Pelos resultados, verifica-se que em média, os valores foram superiores a 200 segundos em todos os ambientes avaliados. Apenas em Cruz Alta, no ano de 2008, dois genótipos apresentaram valor inferior a 200 segundos. Desta maneira, pode-se concluir que não ocorreu alteração

enzimática nos grãos que pudesse comprometer a interpretação dos dados obtidos através das análises de qualidade.

TABELA 24. Valores médios de número de queda (s) e amplitude de variação de 20 genótipos de trigo nos seis ambientes do Rio Grande do Sul. UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.

Local	Cruz Alta	Eldorado do Sul	Bom Jesus
Ano	Média (amplitude)		
2007	345 (220-473)	348 (200-435)	478 (357-659)
2008	361 (160-580)	432 (335-569)	469 (264-554)

4.3.2 Análise da variância da força do glúten, da luminosidade (L*) da farinha e da dureza dos grãos

O resultado da análise da variância conjunta revelou interação tríplice significativa para as características de força de glúten, luminosidade (L*) da farinha e dureza dos grãos. Os 20 genótipos avaliados apresentaram resposta diferente às características analisadas em função do ambiente testado. As interações genótipo x ano, genótipo x local e ano x local foram significativas para as três características estudadas. (TABELA 25).

Em função da significância das interações, procedeu-se a análise da variância e as comparações de médias individualmente por ambiente, para as características de força de glúten e luminosidade (L*) da farinha.

TABELA 25. Resumo da análise da variância conjunta para força de glúten (W), Luminosidade (L*) da farinha e dureza dos grãos de 20 genótipos de trigo avaliados em seis ambientes do Rio Grande do Sul, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS em 2007 e 2008.

Fonte/Variáveis	Quadrado Médio		
	Força do glúten (W)	Luminosidade (L*) da farinha	Dureza do grão
Genótipos (G)	64793*	12*	5564*
Anos (A)	45589*	17*	210*
Locais (L)	123906*	41*	761*
G x A	3579*	0,6*	69*
G x L	5217*	0,6*	91*
A x L	142733*	26*	513*
G x A x L	4472*	1,0*	78*

* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

4.3.2 Força de glúten (W) - Alveografia

Os genótipos avaliados apresentaram diferença significativa entre si para a força do glúten em todos os ambientes (TABELA 26). Os ambientes que expressaram a menor e a maior média de força de glúten (W) foi Cruz Alta em 2007 e 2008, com valores médios de 140 e 228×10^{-4} J, respectivamente. Os genótipos que apresentaram os maiores valores de W (superior a 200×10^{-4} J), considerando os seis ambientes foram CEP 05-61, CEP 05-119, Fundacep Cristalino, BRS Guabiju, Safira, ORL 03-151, Abalone e CEP 9874. Os menores valores de W foram obtidos pelas cultivares BRS Louro e BRS 179 com 57 e 98×10^{-4} J., respectivamente (TABELA 26).

Os resultados obtidos neste estudo, para valores de W foram, na média dos ambientes, abaixo daqueles que enquadraria as cultivares nas distintas classes comerciais determinada pela Instrução Normativa nº 7 (Brasil, 2001). Somente os resultados obtidos em Eldorado do Sul nos dois anos de avaliação, mostraram coincidência com os valores das classes dos genótipos. No entanto, apesar das cultivares atingirem menores valores de W, manteve-se a

proporcionalidade entre elas com relação a força de glúten, ou seja, genótipos classificados como Trigo Melhorador, apresentaram valores superiores do que aqueles classificados como Trigo Pão e Trigo Brando.

Os baixos valores de *W* observados nos locais de Cruz Alta (2007) e Bom Jesus em 2008, podem ser explicados pelo elevado número pluviométrico registrado no estágio fenológico do florescimento nos dois ambientes. Em Cruz Alta, 2007 a semeadura dos ensaios foi realizada dia 23 de junho sendo, que o florescimento da maioria dos genótipos ocorreu entre os dias 22 a 29 de setembro.

Neste período de sete dias ocorreram índices de precipitações elevados, registrando mais de 200 mm acompanhados de temperaturas entre 20 e 25 °C (APÊNDICE 3). Da mesma forma, no local de Bom Jesus em 2008, onde a semeadura ocorreu em 11 de Julho, houve coincidência com o estágio de florescimento para a maioria dos genótipos (15 a 25 de outubro) com elevados índices de precipitação pluviométrica (APÊNDICE 4).

Estas condições prejudicaram o desempenho da maioria dos genótipos, principalmente pela elevada incidência de doenças na espiga que infecta os grãos acarretada pelo fungo causador da giberela (*Giberela zeae*). A giberela no trigo é uma doença que produz infecção nas flores e apresenta forte relação com o tempo chuvoso durante o espigamento e a floração do trigo (Del Ponte *et al.*, 2004). Estima-se que os baixos valores de força de glúten obtidos em Cruz Alta, no ano de 2007 e Bom Jesus, em 2008, ocorreram devido a elevada incidência de giberela nos grãos. Quando estes dois ambientes não participam da média do *W*, dos seis ambientes testados, a maioria dos genótipos avaliados atinge o valor esperado que os enquadra dentro da classificação

comercial proposta pelos obtentores em Trigo Brando, Trigo Pão e Trigo Melhorador.

TABELA 26. Valores de força de glúten (W) de 20 genótipos de trigo conduzidos em três locais no Estado do RS, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.

Genótipos	Cruz Alta		Eldorado do Sul		Bom Jesus	
	2008	2007	2008	2007	2008	
BRS 177	95 i*	270 bcd*	222 def*	131 h*	115 gh*	150 cd*
BRS 179	43 j	158 hi	157 g	84 i	95 h	53 f
BRS LOURO	17 k	60 j	97 h	70 i	58 i	38 f
BRS GUABIJU	143 efg	279 bc	313 ab	298 a	226 ab	156 cd
BRS GUAMIRIM	156 def	121 i	246 cde	165 gh	148 f	160 c
ABALONE	123 gh	274 bc	292 bc	209 ef	202 a-d	175 bc
SAFIRA	168 d	282 bc	272 bcd	252 cd	191 cd	228 a
SUPERA	152 def	158 hi	188 fg	248 cde	132 fg	161 c
FUNDACEP CRISTALINO	160 de	240 c-f	348 a	295 ab	231 a	169 c
FUNDACEP RAÍZES	107 hi	212 efg	182 fg	214 def	143 fg	144 cd
CEP24-Industrial	135 fg	264 bcd	257 cde	141 h	140 fg	159 cd
FUNDACEP 30	93 i	187 gh	146 g	140 h	110 gh	123 de
CEP 9874	169 d	250 b-e	240 cde	239 cde	197 bcd	159 c
FUNDACEP CAMPOREAL	95 i	214 efg	165 g	133 h	128 fg	96 e
FUNDACEP HORIZONTE	114 hi	196 fgh	178 fg	207 ef	158 ef	149 cd
QUARTZO	97 i	225 d-g	146 g	223 c-f	112 gh	140 cd
CEP 05-68	303 a	369 a	255 cde	259 bc	201a-d	173 bc
ORL 03165	144 ef	225 d-g	216 ef	195 fg	181 de	139 cd
CEP 05-119	220 c	291 b	243 cde	258 bc	223 abc	231 a
ORL 03151	265 b	276 bc	244 cde	207 ef	194 bcd	205 ab
Média	140	228	220	200	159	150
CV(%)	9,7	12,4	14,6	12,7	12,7	14,7

*Valores seguidos de mesma letra na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

4.3.3 Luminosidade (L*) da farinha

A análise da luminosidade (L*) da farinha revelou diferença significativa entre os genótipos em todos os ambientes avaliados. Os ambientes que expressaram os menores valores para luminosidade (L*) da farinha foram Cruz Alta, em 2007 e Bom Jesus, em 2008. Considerando os seis ambientes de avaliação, os genótipos que apresentaram os valores mais elevados de luminosidade (L*) e superior ao valor 94 foram Fundacep Raízes, Fundacep Horizonte, Cep 24-Industrial, Fundacep Campo Real, BRS Louro, BRS 179 e

Supera. O genótipo que apresentou a farinha mais escura com valor inferior a 92 foi a cultivar Abalone (TABELA 27).

TABELA 27. Valores de luminosidade (L*) de farinha de vinte genótipos de trigo conduzidos em seis ambientes do RS, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.

Genótipos	Cruz Alta		Eldorado do Sul		Bom Jesus	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008
BRS 177	92,90 f*	94,03 dc*	94,98 b*	93,95 gh*	95,58 b*	92,63 d*
BRS 179	93,82 e	94,16 c	94,30 c	94,99b-e	95,60 b	93,57 c
BRS LOURO	94,07 d	94,49 b	95,73 a	92,92 j	95,79 a	93,88 b
BRS GUABIJU	91,31 l	92,89 f	93,49 de	95,23 cd	93,67 g	91,01 h
BRS GUAMIRIM	92,01 j	92,05 hi	93,65 cde	95,09 b-e	93,13 j	90,52 j
ABALONE	90,94 m	91,91 ij	92,67 f	93,18 j	92,59 k	89,78 k
SAFIRA	91,44 l	91,79 j	93,05 def	92,15 k	93,35 i	91,00 h
SUPERA	94,37 bc	93,91 d	95,20 ab	93,63 hij	94,63 c	93,76 b
FUNDACEP CRISTALINO	92,12 hi	92,87 f	92,69 f	94,10 gh	93,26 ij	90,69 i
FUNDACEP RAÍZES	94,19 cd	94,80 a	95,64 ab	95,60abc	95,65 b	94,25 a
CEP24-Industrial	94,21 cd	94,81 a	95,27 ab	95,24 b-e	95,61 b	93,76 b
FUNDACEP 30	92,94 f	93,39 e	93,75 cd	93,85 hg	94,26 d	92,42 de
CEP 9874	91,70 k	93,01 e	93,42 de	94,14 hg	94,06 e	91,15 g
FUNDACEPCAMPOREAL	94,63 a	94,10 c	95,13 ab	95,00 c-f	95,66 b	92,33 e
FUNDACEP HORIZONTE	94,56 ab	94,61 ab	95,53 ab	95,70 a	95,81 a	93,44 c
QUARTZO	92,46 g	93,03 f	93,75 cd	94,53 d-g	93,49 h	91,50 f
CEP 05-68	91,87 jk	92,08 hi	92,94 ef	94,21 fgh	93,34 i	90,54 i
ORL 03165	92,08 hij	91,65 k	91,45 g	92,95 j	93,82 f	92,38 e
CEP 05-119	92,25 h	92,38 g	93,34 def	94,40 e-h	93,24 ij	92,47 de
ORL 03151	92,64 g	92,21 gh	93,42 de	94,17 gh	93,68 g	91,30 g
Média	92,82	93,21	93,97	94,25	94,31	92,12
CV(%)	0,11	0,24	0,37	0,33	0,62	0,61

*Valores seguidos de mesma letra na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%.

Da mesma maneira que a alta infestação de giberela alterou a expressão da característica de força de glúten, é provável que pela mesma razão, tenha influenciado a expressão da característica de luminosidade (L*) da farinha e justifique os menores valores encontrados nos mesmos locais e anos. Alterações na coloração de determinados produtos alimentícios (macarrões instantâneos) feitos com farinha oriunda de trigo danificado por giberela foram determinados em estudo conduzido por Hatcher *et al.* (2003). Estes autores constataram que a farinha resultante de grãos afetados por esta doença apresentou alteração na coloração do macarrão. O impacto negativo do dano

da giberela na cor das massas também foi observada na espécie de trigo duro (*Triticum durum* L.) cultivados na região Norte dos EUA.

4.3.4 Adaptabilidade e Estabilidade

A análise de adaptabilidade e estabilidade revelou comportamento distinto entre os genótipos avaliados para as características de força de glúten e luminosidade (L^*) da farinha (TABELAS 28 e 29).

Segundo Cruz & Regazzi (1994), os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice ambiental, quanto aos desvios desta regressão, proporcionam estimativas de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. Assim, o genótipo ideal apresenta valores médios altos, coeficiente de regressão (B_1) igual a um e desvio da regressão (S^2d) tão pequeno quanto possível ou igual a zero.

Considerando as diversidades de condições de ambientes, principalmente entre os anos na estação de inverno no Sul do Brasil, as estimativas de adaptabilidade e estabilidade tornam-se fundamentais na orientação dos programas de melhoramento com o intuito de identificar genótipos mais adaptados e estáveis. Além disso, estes resultados podem orientar a assistência técnica e o produtor no uso de cultivares que apresentem maior estabilidade e previsibilidade na expressão de caracteres relacionados a qualidade tecnológica da farinha.

Os resultados revelaram que para força de glúten, os genótipos que apresentaram os melhores valores com W superior a 200×10^{-4} J., em ordem decrescente, foram CEP 05-61, CEP 05-119, Fundacep Cristalino, BRS Guabijú, Safira, ORL 03-165, Abalone e CEP 9874. No entanto, a maioria destes genótipos apresentou desvio da regressão altamente significativo ou

diferente de zero, revelando pouca estabilidade. Da mesma forma revelaram baixa adaptabilidade sendo que a maioria apresentou valor significativamente diferente de 1 (TABELA 28). Este resultado mostra a instabilidade do ambiente pela interferência de condições de clima e a conseqüente dificuldade na obtenção de estabilidade de força de glúten nas safras de trigo no Rio Grande do Sul ao longo dos anos.

Entretanto, os genótipos CEP 9874 e ORL 03165 demonstraram desempenho ideal, pois além de apresentarem desempenho superior de força de glúten ($W > 180 \times 10^{-4}$ J.), obtiveram adaptação e estabilidade em função do B_1 e S^2d não significativos e também por atingirem valores elevados de previsibilidade com $R^2=90\%$ (TABELA 28). A estabilidade da qualidade é essencial para cultivares de trigo, sobretudo no Estado do Rio Grande do Sul que apresenta clima subtropical e onde existem oscilações significativas, principalmente na estação de primavera onde ocorrem os estágios de formação e desenvolvimento dos grãos.

A significativa influência do efeito do ambiente na força de glúten pela ocorrência de elevadas temperaturas, precipitação e doenças é justificada pela ação quantitativa da expressão desta característica em função do elevado número de genes envolvido na formação dos diferentes grupos de proteínas que compõem a rede de glúten e de suas interações.

Pelos resultados obtidos da análise de adaptabilidade e estabilidade pode-se inferir que os genótipos que apresentaram valores mais elevados de força de glúten são mais dependentes de condições favoráveis de ambiente para a expressão estável da característica nos diferentes ambientes. As cultivares BRS Guabijú, Abalone e Fundacep Cristalino foram os únicos

tratamentos que apresentaram valores de B_1 diferentes e superiores a um, indicando que são mais adaptadas a ambientes favoráveis, enquanto que a linhagem ORL 03151 apresentou valor de B_1 diferente e inferior a um demonstrando maior estabilidade entre os genótipos estudados, nos ambientes desfavoráveis.

Dos 20 genótipos avaliados, cinco são linhagens (3 da Fundacep e 2 da OR-Sementes) que participam em ensaios de avaliação para futuro registro como cultivar. Destas, apenas ORL 03-165 apresentou valor de W inferior a 200×10^{-4} J e três foram estáveis nos seis ambientes avaliados (TABELA 28).

TABELA 28. Valores médios para o caráter força de glúten (W), parâmetros de adaptabilidade (B_1), estabilidade (S^2d) e coeficiente de determinação (R^2) de 20 genótipos de trigo avaliados em seis ambientes, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.

Genótipo	Média	B_1	S^2d	R^2 (%)
BRS 177	164	1,5*	1223**	75
BRS 179	98	1,1	328*	83
BRS LOURO	57	0,6	178 ns	65
BRS GUABIJÚ	237	1,9**	888**	85
BRS GUAMIRIM	164	0,3**	1755**	60
ABALONE	216	1,6**	432**	88
SAFIRA	236	1,1	601**	74
SUPERA	165	0,4*	1922**	12
FUNDACEP CRISTALINO	243	1,6**	2487**	61
FUNDACEP RAÍZES	167	1,0	262*	80
CEP 24-INDUSTRIAL	178	1,2	874**	72
FUNDACEP 30	135	0,8	123 ns	81
CEP 9874	207	1,0	26 ns	90
FUNDACEP CAMPOREAL	138	1,1	447**	78
FUNDACEP HORIZONTE	167	0,8	367**	68
QUARTZO	163	1,2	1972**	54
CEP 05-61	261	0,9	4479**	23
ORL 03165	184	0,9	15 ns	90
CEP 05-119	247	0,5	101 ns	65
ORL 03151	235	0,3**	1123**	11

B_1 = *, ** significativamente diferente de um pelo teste T a 5% e 1%, respectivamente.

S^2d = *, ** significativamente diferente de zero pelo teste F a 5% e 1%, respectivamente.

Este resultado mostra progresso genético com relação ao incremento da característica de W e também confirma acúmulo de genes mais favoráveis nas linhagens dos programas de melhoramento pela manutenção da estabilidade de resultados de W nos ambientes do Rio Grande do Sul.

Os valores e os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade avaliados para a característica de luminosidade (L^*) da farinha, dos 20 genótipos, estão na TABELA 29.

TABELA 29. Valores médios para o caráter luminosidade (L^*) de farinha, parâmetros de adaptabilidade (B_1), estabilidade (S^2d) e coeficiente de determinação (R^2), para 20 genótipos de trigo avaliados em seis ambientes, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.

Genótipo	Média	B_1	S^2d	$R^2(\%)$
BRS 177	93,98	1,2	-0,09	76
BRS 179	94,37	0,7	-0,34	79
BRS LOURO	94,45	0,4	0,90*	10
BRS GUABIJU	92,92	1,6*	0,03	82
BRS GUAMIRIM	92,71	1,6*	0,05	81
ABALONE	91,81	1,4	-0,39	94
SAFIRA	92,11	0,9	-0,28	79
SUPERA	94,21	0,2	-0,05	10
FUNDACEP CRISTALINO	92,59	1,2	-0,21	82
FUNDACEP RAÍZES	95,00	0,7	-0,44	90
CEP 24-INDUSTRIAL	94,79	0,8	-0,47	95
FUNDACEP 30	93,41	0,7	-0,47	95
CEP 9874	92,89	1,4	-0,39	94
FUNDACEP CAMPO REAL	94,50	1,1	-0,23	81
FUNDACEP HORIZONTE	94,91	1,0	-0,47	97
QUARTZO	93,11	1,1	-0,32	87
CEP 05-68	92,47	1,4	-0,33	92
ORL 03165	92,37	0,4	0,27	19
CEP 05-119	93,00	0,7	-0,17	61
ORL 03151	92,88	1,1	-0,37	90

B_1 = *, ** significativamente diferente de um pelo teste T a 5% e 1%, respectivamente.

S^2d = *, ** significativamente diferente de zero pelo teste F a 5% e 1%, respectivamente.

O valor mais elevado de L^* e consequentemente a farinha mais clara, foi obtido com a cultivar Fundacep Raízes e o menor valor L^* nos seis ambientes, foi encontrada para a cultivar Abalone. Para o parâmetro de adaptabilidade, as

cultivares BRS Guabijú e BRS Guamirim mostraram valores significativamente diferentes de um e apenas BRS Louro apresentou baixa estabilidade com valor S_{2d} diferente de zero.

A característica luminosidade (L^*) da farinha foi comprovada ser de herdabilidade monogênica e sofrer pouca influência do ambiente. Desta forma, a baixa instabilidade (variação) observada nos resultados para a maioria das cultivares, confirmam o caráter monogênico para luminosidade (L^*) da farinha pela pouca influência que o ambiente afetou o caráter. As cultivares Fundacep Raízes, CEP 24-Industrial e Fundacep Horizonte foram as que apresentaram a coloração mais clara, com L^* superior a 94,00, valor B_1 não diferindo de um e previsibilidade (R^2) acima de 90%. Destas, a cultivar Fundacep Horizonte é a que apresenta a melhor estabilidade ($B_1=1$) e a melhor previsibilidade com R^2 de 97% (TABELA 29).

Os valores da característica de dureza dos grãos e os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade avaliados nos seis ambientes do Rio Grande do Sul dos 20 genótipos encontram-se na TABELA 30.

No estudo de linhas recombinantes, a dureza dos grãos apresentou herança monogênica, no entanto, foi a característica que mostrou a maior variação entre as três avaliadas. O efeito ambiental pode variar entre intermédio a alto sobre a dureza, dependendo das condições a que o genótipo é submetido durante o desenvolvimento e em que estágio de desenvolvimento as condições adversas ocorrem (Bushuk, 1985; Pomeranz et al., 1985).

Os 20 genótipos avaliados apresentaram instabilidade de comportamento e os valores de estabilidade apresentaram elevada diferença significativa. Esta elevada instabilidade resultou em baixa previsibilidade, sendo

que a maioria dos genótipos revelou baixos valores de R^2 , e apenas quatro genótipos apresentaram valores acima de 80%.

Os genótipos que apresentaram os grãos mais duros, classificados entre extra-duro e muito-duro foram em ordem decrescente Fundacep Cristalino, CEP 05-61, Abalone, ORL 03151, Safira, CEP 05-119 e BRS Guabijú. Com grãos de classificação semi-mole e mole, ficaram BRS Louro, Fundacep Horizonte e Fundacep Raízes.

TABELA 30. Valores médios para o caráter dureza dos grãos, parâmetros de adaptabilidade (B_1), estabilidade (S^2d) e coeficiente de determinação (R^2), de 20 genótipos de trigo em seis ambientes, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.

Genótipo	Média	B_1	S^2d	R^2 (%)
RS 177	45,6	2,1**	19,5 **	80
BRS 179	47,0	0,8	1,8 **	82
BRS LOURO	35,8	-0,2**	4,2 **	23
BRS GUABIJÚ	81,2	0,3**	14,5 **	8
BRS GUAMIRIM	64,9	0,3**	223,0 **	0
ABALONE	87,3	0,5**	52,1 **	7
SAFIRA	84,7	0,9	39,9 **	26
SUPERA	41,7	1,6**	291,0 **	14
FUNDACEP CRISTALINO	91,8	0,6	26,7 **	21
FUNDACEP RAÍZES	33,9	0,9	7,2 **	66
CEP 24-INDUSTRIAL	37,4	0,9	6,7 **	66
FUNDACEP 30	74,4	1,0	5,3 **	73
CEP 9874	77,4	1,7**	7,0 **	87
FUNDACEP CAMPO REAL	48,9	2,6**	43,8 **	73
FUNDACEP HORIZONTE	34,8	0,8	6,7 **	62
QUARTZO	79,5	0,7*	8,9 **	44
CEP 05-61	87,7	0,6**	17,5 **	23
ORL 03165	79,1	1,3	17,1 **	63
CEP 05-119	84,3	0,9	8,2 **	63
ORL 03151	85,5	1,4**	2,4 **	91

B_1 = *, ** significativamente diferente de um pelo teste T a 5% e 1%, respectivamente.

S^2d = *, ** significativamente diferente de zero pelo teste F a 5% e 1%, respectivamente.

Não foi possível identificar se a maior variação (instabilidade) ocorreu nos genótipos com grãos mais duros ou moles. Embora o ambiente tenha afetado fortemente a dureza dos grãos das cultivares e linhagens avaliadas,

demonstrado pela elevada instabilidade, não parece ter afetado a classificação relativa dos genótipos. Os valores obtidos neste estudo classifica os genótipos no mesmo nível que a classificação fornecida pelas instituições obtentoras das cultivares.

4.3.5 Correlações

Os resultados dos testes reológicos identificaram correlação altamente significativa entre o tempo de amassamento (s), determinada pelo teste de mixografia e a força de glúten, medida pelo método da alveografia na quase totalidade das amostras comparadas entre os ambientes. Considerando o mesmo local e ano, todas as correlações foram significativas, no entanto, quando comparados entre todos os ambientes, do total de 36 correlações, apenas quatro não apresentaram valor significativo (TABELA 31).

TABELA 31. Coeficiente de correlação linear dos testes de alveografia (força de glúten $\times 10^{-4}$ J.) e mixografia (Tempo de amassamento em segundos) dentro (negrito) e entre os ambientes avaliados, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.

Mixografia TA (s)	Alveografia – W ($\times 10^{-4}$ J.)					
	ES-07	ES-08	CA-07	CA-08	BJ-07	BJ-08
ES-07	0.43*	0.77**	0.68**	0.69**	0.63**	0.78**
ES-08	0.42ns	0.54**	0.72**	0.38ns	0.57**	0.59**
CA-07	0.34ns	0.59**	0.78**	0.60**	0.52**	0.79**
CA-08	0.36ns	0.60**	0.74**	0.69**	0.65**	0.63**
BJ-07	0.59**	0.70**	0.83**	0.70**	0.71**	0.60**
BJ-08	0.48*	0.71**	0.69**	0.62**	0.66**	0.83**

** , * Significativo a 1% e 5% respectivamente. ns - não significativo.

TA - Tempo de amassamento (s); W- Força de glúten ($\times 10^{-4}$ J.). 07- Ano 2007; 08- Ano 2008. ES – Eldorado do Sul; CA- Cruz Alta e BJ- Bom Jesus.

Estes resultados reforçam a possibilidade de uso da mixografia como um teste expedito para a seleção de linhagens com maior força de glúten em programas de melhoramento. Além disso, este teste tem uso potencial para o estudo genético da característica de força de glúten, quando se disponibiliza pouca quantidade de amostra com a vantagem adicional de maior rapidez e economia, quando comparado a alveografia. O uso do teste de mixografia para o estudo genético da força de glúten nas populações de linhas recombinantes descritas neste estudo é suportada pela significativa correlação encontrada nestes resultados.

Foram encontrados valores significativos na maioria das correlações lineares entre as características de dureza dos grãos, L* e b* da farinha e força de glúten, para os 22 genótipos avaliados nos seis ambientes (TABELA 32). Apenas não foi significativa a correlação de luminosidade (L*) com a força de glúten (W), no ano de 2008. Os dados mostraram correlação inversa entre as características de dureza dos grãos e luminosidade (L*) da farinha. Estes resultados comprovam a forte influencia da dureza dos grãos na cor da farinha sendo, a farinha mais escura, aquela oriunda de grãos mais duros.

TABELA 32. Coeficiente de correlação linear das características de dureza dos grãos, luminosidade (L*) e coordenada de cromaticidade (b*) da farinha e força de glúten, em seis ambientes do RS, UFRGS, Eldorado do Sul-RS, Fundacep, Cruz Alta-RS e Bom Jesus-RS.

Características	Dureza	L*	b*	W
Dureza	-	-0,59**	0,75**	0,48*
L*	-0,77**	-	-0,74**	-0,04 ns
b*	0,79**	-0,76**	-	0,28*
W	0,58**	0,28*	-0,29*	-

Diagonal inferior: Ano 2007; Diagonal superior: Ano 2008.

** , * Significativo a 1% e 5% respectivamente. ns - não significativo.

5 CONCLUSÕES GERAIS

As características de dureza dos grãos, luminosidade (L^*) da farinha e tempo de amassamento dos genótipos de trigo são controladas por genes de efeito aditivos e não aditivos. No entanto, os genes aditivos apresentaram maior efeito sobre as características avaliadas.

Dentre as cultivares avaliadas, Safira apresentou o maior potencial para uso como genitor em programas de melhoramento que objetivam incrementar a característica de força de glúten e BRS Louro para a suavidade dos grãos.

A luminosidade (L^*) e a coordenada de cromaticidade (b^*) da farinha foram significativamente influenciadas pela dureza dos grãos. Quanto mais duros o grão, mais escura é a farinha.

A herança das características de cor, L^* e b^* da farinha e dureza dos grãos apresentaram comportamento monogênico, enquanto a força do glúten, medido pelo tempo de amassamento, da mixografia, foi de herança quantitativa e possivelmente poligênica.

A herdabilidade no sentido amplo, em nível de média das progênes, para força de glúten, luminosidade (L^*) da farinha e dureza dos grãos foram de moderadas a elevadas, possibilitando ganho de seleção em programas de melhoramento.

Não houve correlação significativa no tempo de amassamento com a dureza dos grãos e com a cor da farinha. Isto indica que é possível obter genótipos recombinantes possuidores de glúten forte e farinha clara, a partir de genitores pertencentes a classes distintas de qualidade tecnológica. No entanto, não foi possível identificar recombinação entre dureza de grãos e cor de farinha.

Existe variabilidade entre os genótipos de trigo recomendados para o estado do RS com relação as características que definem a qualidade tecnológica e, a expressão destas é influenciada pela interação tríplice genótipo x ano x local. No entanto, alguns genótipos como CEP 9874 e ORL 03165 apresentam estabilidade e previsibilidade de desempenho para a característica de força de glúten e os genótipos Fundacep Raízes, Cep 24-Industrial e Fundacep Horizonte para luminosidade (L^*) da farinha.

As elevadas e significativas correlações encontradas entre o tempo de amassamento da mixografia e o valor de W da alveografia, permitem indicar o teste de mixografia para programas de melhoramento, como critério de seleção de linhagens e em estudos genéticos para a avaliação da característica de força de glúten.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Official methods of analysis**. 10 ed. Saint Paul: Plenum, 2000. v.1

ABIP - Associação Brasileira da Indústria da Panificação e Confeitaria. **[Contém informações institucionais, técnicas, notícias, eventos, publicações e dados estatísticos]**. Disponível em: <<http://www.abip.org.br>>. Acesso em: 14 jul. 2009.

ABITRIGO - Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **[Contém informações institucionais, técnicas, notícias, eventos, publicações e dados estatísticos]**. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br>>. Acesso em: 22 ago. 2009.

ALTENBACH, S. B. et al. Environmental conditions during wheat grain development alter temporal regulation of major gluten protein genes. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 79, n. 2, p. 279-285, 2002.

ANJUM, F. H. et al. Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits-structure, genetics and relation to dough elasticity. **Journal of Food Science**, Malden, v. 72, n. 3, p. 56-63, 2007.

ATWELL, W. A. **Wheat Flour**. Saint Paul: Eagan Press, 2001. 134p.

BARNARD, A. D. et al. Heritability estimates of bread wheat quality traits in the Western Cape province of South Africa. **Euphytica**, Dordrecht, v. 127, n. 1, p. 115-122, 2002.

BASSOI, M. C. Aspectos gerais da germinação pré-colheita e seu controle genético. In: CUNHA, G. R.; PIRES J. L. F. (Eds.). **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004, p. 21-136.

BELTON, P. S. On the elasticity of wheat gluten. **Journal of Cereal Science**, London, v. 29, n. 2, p. 103-107, 1999.

BIETZ, J. A.; LOOKHART, G. L. Properties and non-food potential of gluten. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 41, n. 5, p. 376-382, 1996.

BLUMENTHAL, C. et al. Identification of wheat genotypes tolerant to the effect of heat stress on grain quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 72, n. 6, p. 539-544, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Instrução normativa n.1 de 27 de janeiro de 1999. **Diário oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, 29 jan. 1999. Seção 1, p. 132.

BOEHM, D. J. et al. Influence of nitrogen fertilizer treatments on spring wheat (*Triticum aestivum* L.) flour characteristics and effect on fresh and frozen dough quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 81, n. 1, p. 51-54, 2004.

BOYACIOGLU, D; HETTIARACHCHY, N. S. Changes in some biochemical-components of wheat-grain that was infected with fusarium-graminearum. **Journal of Cereal Science**, London, v. 21, n. 1, p. 57-62, 1995.

BRESEGHELLO, F. et al. Genetic loci related to kernel quality differences between a soft and a hard wheat cultivar. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 3, p. 1685-1695, 2005.

BUSHUK, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 30, n. 7, p. 447-451, 1985.

BUSHUK, K. Wheat breeding for end-product use (Reprinted from *Wheat: Prospects for global improvement*, 1998). **Euphytica**, Dordrecht, v. 100, n. 1-3, p. 137-145, 1998.

CAMPBELL, K. G. et al. Quantitative trait loci associated with milling and baking quality in a soft x hard wheat cross. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 7, p. 1275-1285, 2001.

CIAFFI, M. et al. Effect of heat shock during grain filling on the gluten protein composition of bread wheat. **Journal of Cereal Science**, London, v. 24, n. 2, p. 91-100, 1996.

CLARKE, B. C. et al. The frequent classes of expressed genes in wheat endosperm tissue as possible source of genetics markers. **Australian Journal of Agriculture Research**, Canberra, v. 52, n. 11, p. 1181-1193, 2001.

COMISSÃO SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo**. Cruz Alta: FUNDACEP, 2005. 74p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, DF. **[Contém informações institucionais, técnicas, notícias e dados estatísticos]**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>>. Acesso em: 22 ago. 2009.

CRUZ, C. M.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 390 p., 1994.

CRUZ, C. M. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 422p., 1997.

DAVIES, J.; BERZONSKY, W. A. Evaluation of spring wheat quality traits and genotypes for production of cantonese Asian Noodles. **Crop Science**, Madison, v. 43, n. 4, p. 1313-1319, 2003.

DEL PONTE, E. M. et al. Giberela do trigo - aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 587-605, 2004.

DERERA, N. F. **Preharvest field sprouting in cereals**. Boca Raton : CRS Press, 1989. 176p.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. New York : Hongman Scientific & Technical, 1989.

GARTNER, B. H. et al. Characterisation of kernel resistance against Fusarium infection in spring wheat by baking quality and mycotoxin assessments. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 120, p. 61-68, 2008.

GIROUX, M. J.; MORRIS, C. F. Wheat grain hardness results from highly conserved mutations in the friabilin components puroindoline a and b. **Proceedings of the national academy of sciences of the united states of America**, Washington, v. 95, n. 11, p. 6262-6266, 1998.

GRAS, P. W.; O'BRIEN L. Application of a 2-gram mixograph to early generation selection for dough strength. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 69, n. 3, p. 254-257, 1992.

GRAYBOSCH, R. et al. Genotypic and environmental modification of Asian noodle quality of hard winter wheats. **Cereal Chemistry**. Saint Paul, v. 81, n. 1, p. 19-25, 2004.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal of Biological Science**, Victoria, v. 9, n. 3, p. 463-493, 1956.

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. 2.ed. Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1996. 36p. (Embrapa-CNPT. Documentos, 27).

GUARIENTI, E. M., MIRANDA M. Z. Determinação da germinação pré-colheita em trigo. In: CUNHA, G. R.; PIRES J. L. F. (Eds.). **Germinação pré-colheita em trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004, p. 291-319.

GUARIENTI, E. M. et al. Influência das temperaturas mínima e máxima em características de qualidade industrial e em rendimento de grãos de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 505-515, 2004.

GUPTA, R. B.; SHEPHERD, K. W. Two-step one-dimensional SDS-PAGE analysis of LMW subunits of glutenin. I. Variation and genetic control of the subunits in hexaploid wheats. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 80, n. 1, p. 65-74, 1990.

GUTKOSKI, L. C. et al. Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p. 91-97, 2003.

HATCHER, D.W. et al. Fusarium head blight: Effect on white salted and yellow alkaline noodles properties. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 83, p.11-21, 2003.

JOHANSSON, E. et al. Influences of cultivar, cultivation year and fertilizer rate on amount of protein groups and amount and size distribution of mono-and polymeric proteins in wheat. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 140, p. 275-284, 2003.

JOLLY, C. et al. Characterization of the wheat Mr 15000 "grainsoftness protein" and analysis of the relationship between its accumulation in the whole seed and grain softness. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 86, n. 3, p. 589-597, 1993.

KHATKAR, B. S. et al. A comparative study of the inter-relationships between mixograph parameters and bread-making qualities of wheat flours and glutes. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Baffins Ln, v. 72, n. 2, p. 71-85, 1996.

KONOPKA, I. et al. Differences in content and composition of free lipids and carotenoids in flour of spring and winter wheat cultivated in Poland. **Food Chemistry**, Oxon, v. 95, n. 2, p. 290-300, 2005.

LAGOS, M. B. **Historia do melhoramento de trigo no Brasil**. Porto Alegre : Secretaria da Agricultura, 1983. (Boletim Técnico)

LAGUDAH, E. S. et al. The molecular-genetic analysis of *Triticum tauschii*, the D-genome donor to hexaploid wheat. **Genome**, Ottawa, v. 34, n. 3, p. 375-386, 1991.

LANG, C. E. et al. Relationship between quality and noodle quality in hard white spring wheat. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 3, p. 823-827, 1998.

LILLEMO, M.; MORRIS, C. F. A leucine to proline mutation in puroindoline b is frequently present in hard wheats from Northern Europe. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 100, p. 1100-1107, 2000.

MACRITCHIE, F. Wheat proteins: Characterization and role in flour functionality. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 44, n. 4, p.188-193, 1999.

MARES, D. J.; CAMPBELL A. W. Mapping components of flour and noodle colour in Australian wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 52, n. 12, p. 1297-1309, 2001.

MINOLTA. **Precise color communication**: color control from feeling to instrumentation. Place du Levant, Minolta: Ramsey, 1994. 43p

MITTELMANN, A. et al. Herança de caracteres do trigo relacionados à qualidade de panificação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 975-983, 2000.

MOK, C.; DICK. J. W. Response of starch of different wheat classes to ball milling. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 68, n. 4, p. 409-412, 1991.

MORRIS, C. F. Isolation and characterization of multiple forms of friabilin. **Journal of Cereal Science**, London, v. 20, n. 2, p. 167-174, 1994.

MORRIS, C. F. et al. Prevalence of puroindoline grain hardness genotypes among historically significant North American spring and winter wheats. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 218-228, 2001.

MOUSIA, Z. et al. Effect of wheat perling on flour quality. **Food Research International**, Amsterdam, v. 37, n. 3, p. 449-459, 2004.

NIGHTINGALE, M. J. et al. Fusarium head blight: Effect of fungal proteases on wheat storage proteins. **Cereal Chemistry, Saint Paul**, v. 76, n. 1, p. 150-158, 1999.

NODA, K. et al. Response of wheat grain do ABA and imbibition at low temperature. **Plant Breeding**, Berlin, v. 113, n. 1, p. 53-57, 1994.

OLIVER, J. R. et al. The colour of flour streams as related to ash and pigment contents. **Journal of Cereal Science**, London, v. 17, n. 2, p. 169-182, 1993.

ORTOLAN, F. **Genótipos de trigo do Paraná – safra 2004**: caracterização e fatores relacionados à alteração de cor de farinha. 2006. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

PARKER, G. D. et al. Mapping loci associated with flour colour in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 97, n. 1-2, p. 238-245, 1998.

PAYNE, P. I. et al. Correlation between the inheritance of certain high - molecular weight subunits of glutenin and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Baffins Ln, v. 32, n. 1, p. 51-60, 1981.

PAYNE, P. I.; LAWRENCE, G. J. Catalogue of alleles for the complex gene loci, Glu-A1, Glu-B1, and Glu-D1 which code for the highmolecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. **Cereal research communications**, Budapest, v. 11, n. 1, p. 29-35, 1983.

PAYNE, P. I. et al. Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 304, n. 1120, p. 359-371, 1984.

PAYNE P. I. Genetics of wheat storage proteins and the effect of allelic variation on bread-making quality. **Annual Review of Plant Physiology**, London, v. 2, n. 38, p. 141-153, 1987.

PETRY, C. E. **Uma avaliação acerca da aptidão de uso do trigo gaúcho por parte da indústria moageira**. 2001. 98f. Trabalho de Conclusão (Especialização) – Curso de Especialização em Gestão Empresarial com Ênfase em Agronegócios. Programa de Pós-Graduação em Administração. Escola de Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

POMERANZ, Y. **Wheat: chemistry and technology**. 3 ed. Saint Paul: AACC, 1988.

POMERANZ, Y. et al. Hardness of winter wheats grown under widely different climatic conditions. **Cereal chemistry**. Saint Paul, v. 62, n.6, p. 463-467. 1985.

RAGAE, S.; ABDEL-AAL E. M. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. **Food Chemistry**, Oxon, v. 95, n. 1, p. 9-18, 2006.

RAHMAN, S. et al. Genetic alteration of starch functionality in wheat. **Journal of Cereal Science**, Canberra, v. 31, n. 1, p. 91-110, 2000.

ROBERT, N. Structuring genotype x environment interaction for quality traits in bread wheat, in two multi-location series of trials. **Euphytica**, Dordrecht, v. 97, n. 1, p. 53-66, 1997.

SAS- Institute Statistical Analysis System. **User's guide**, 4.ed. Cary: SAS Institute, 1989. 846p.

SCHMIDT, D. A. M. et al. Variabilidade genética em trigos brasileiros a partir de caracteres componentes da qualidade industrial e produção de grãos. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 43-52, 2009.

SHEWRY, P.R. et al. High molecular weight subunits of wheat glutenin. **Journal of Cereal Science**, London, v. 15, n. 1, p. 105-120, 1992.

SHEWRY, P. R.; TATHAM, A. S. Disulphide bonds in wheat gluten proteins. **Journal of Cereal Science**, London, v. 25, n. 3, p. 207-227, 1997.

SHEWRY, P. R. The synthesis, processing, and deposition of gluten proteins in the developing wheat grain. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 44, n. 8, p. 587-589, 1999.

SHEWRY, P. R. et al. Nutritional control of storage protein synthesis in developing grain of wheat and barley. **Plant Growth Regulators**, New York, v. 34, n. 1, p. 105-111, 2001.

SOURDILLE P. et al. Linkage between RFLP markers and genes affecting kernel hardness in wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 93, n. 4, p. 580-586, 1996.

SOUZA, E. J. et. al. Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality. **Crop Science**, Madison, v. 44, n. 2, p. 425- 428, 2004.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. D. **Principles and procedures of statistics**. New York: Mcgraw-Hill, 1980. 418p.

STONE, P. J.; NICOLAS, M. E. A survey of the effects of high temperatures during grain filling on yield and quality of 75 wheat cultivars. **Australian Journal Agricultural Research**, Melbourne, v. 46, n. 3, p. 475-492, 1995.

STONE, P. J.; NICOLAS, M. E. Comparison of sudden heat stress with gradual exposure to high temperature during grain filling in two wheat varieties differing in heat tolerance. II. Fractional protein accumulation, **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 25, n. 1, p. 1-11, 1998.

TAHIR, I. S. A. et al. Genotypic and temperature effects on wheat grain yield and quality in a hot irrigated environment. **Plant Breeding**, Oxon, v. 125, n. 4, p. 323-330, 2006.

TRETOWAN, R. Avances en el mejoramiento de trigos tolerantes a brotación de la espiga. In: KOHLI M. M.; DIAZ, M.; CASTRO M. (Eds.) **Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo**. La Estanzuela, Uruguay: CIMMYT-INIA, 2003. p.197-204. (Trabalho apresentado no Seminário Internacional, Colonia, 2001)

TURNBULL K. M.; RAHMAN, S. Endosperm Texture in Wheat. **Journal of Cereal Science**, London, v. 36, n. 3, p. 327-337, 2002.

TURNBULL, K. M. et al. Early expression of grain hardness in the developing wheat endosperm. **Planta**, Heidelberg, v. 216, n. 4, p. 699-706, 2003.

WEEGELS, P. L. et. al. Functional Properties of Wheat Glutenin. **Journal of Cereal Science**, Wageningen, v. 23, n. 1, p. 1-18, 1996.

WIESER, H.; KIEFFER, R. Correlation of the amount of gluten protein types to the technological properties of wheat flours determined on amicro-scale. **Journal of Cereal Science**, Wageningen, v. 34, n. 1, p. 19-27, 2001.

WIESER, H. The use of redox agents. In: CAUVAIN, S.P. (Ed.). **Bread Making-Improving Quality**. Cambridge : Woodhead Publishing Ltd., 2003. p. 424-446.

WIESER, H. et. al. Studies on the Degradation of Gluten Proteins During Germination of Wheat. In: GLUTEN WORKSHOP, 9., 2006, San Francisco. **Gluten workshop 2006**. San Francisco, 2006a. p.14-16.

WIESER, H., BUSHUK, W., MACRITCHIE, F. The polymeric glutenins. In: WRIGLEY, C., BEKES, F., BUSHUK, W. (Eds.), **Gliadin and glutenin: the unique balance of wheat quality**. St. Paul: American Association of Cereal Chemistry, p. 213-240. 2006b.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, London, v. 24, p. 115-119, 2007.

WRIGLEY, C. W. Developing better strategies to improve grain quality for wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 45, n. 1, p. 1-17, 1994.

WRIGLEY, C. W. Biopolymers - Giant proteins with flour power. **Nature**, London, v. 381, n. 6585, p. 738-739, 1996.

ZANATTA, A. C. A. et al. Uso de marcadores protéicos na seleção de trigo (*Triticum aestivum* L. em. Thell.) com qualidade tecnológica superior na Embrapa Trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2002. 6p. (Comunicado Técnico Online, 85) Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/pco85.htm>>. Acesso em: 02 nov. 2008.

ZHANG, Y. et al. Effect of environmental and genotype on bread making quality of spring-sown spring wheat cultivars in China. **Euphytica**, Dordrecht, v. 139, n. 1, p. 75-83, 2004.

ZHANG, Y. et al. Variation in quality traits in common wheat as related to Chinese fresh white noodle quality. **Euphytica**, Dordrecht, v. 141 n. 1-2, p. 113-120, 2005.

ZHANG, P. K. et al. Molecular genetic analysis of flour color using a doubled haploid population in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphytica**, Dordrecht, v. 165, n. 3, p. 471-484, 2009.

7 APÊNDICE

APÊNDICE 1. Valores de número de queda (s) de LHR colhidas aleatoriamente nas três épocas de colheita de quatro populações em Eldorado do Sul, 2007 e Cruz Alta, 2008.

Populações	Número de queda (s)					
	2007			2008		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
BRS 120/Fundacep Cristalino						
LHR 1	430	400	415	360	325	298
LHR 2	370	390	428	280	348	330
LHR 3	445	375	401	320	325	298
LHR 4	388	332	451	330	240	360
BRS 179/Fundacep Cristalino						
LHR 1	413	416	391	325	348	325
LHR 2	400	358	422	294	333	262
LHR 3	428	401	453	282	298	266
LHR 4	406	369	402	294	333	262
BRS 120/CEP 9874						
LHR 1	322	345	338	-	-	-
LHR 2	368	447	370	-	-	-
LHR 3	400	375	390	-	-	-
LHR 4	444	379	375	-	-	-
BRS 177/CEP 9874						
LHR 1	360	425	348	-	-	-
LHR 2	380	348	352	-	-	-
LHR 3	320	325	368	-	-	-
LHR 4	447	380	326	-	-	-

APÊNDICE 2. Resumo da análise da variância das características de cor de farinha, dureza dos grãos e tempo de amassamento (TA) das LHR das quatro populações nos dois anos de avaliação.

População	Fonte de variação	Valores de F						
		Ano 2007				Ano 2008		
		Cor L*	Cor b*	Dureza do grão	TA	Cor L*	Cor b*	TA
BRS 120/F Cristalino	Tratamento	102**	642**	79**	42**	15**	95**	280**
	CV (%)	0,26	0,98	8,12	6,00	0,73	3,14	2,21
BRS 179/F Cristalino	Tratamento	157**	159**	100**	90**	124**	316**	43**
	CV (%)	0,19	1,72	7,71	2,44	0,21	2,04	6,45
BRS 120/Cep 9874	Tratamento	248**	307**	-	93**	-	-	-
	CV (%)	0,14	1,38	-	4,11	-	-	-
BRS 177/Cep 9874	Tratamento	75**	721**	-	44**	-	-	-
	CV (%)	0,27	0,86	-	5,04	-	-	-

** Significativo a 1% de probabilidade

ns = não significativo

Onde: L*= luminosidade, b*= coordenada de cromaticidade, TA= Tempo de amassamento

APÊNDICE 3. Dados meteorológicos de temperatura (°C), índice de precipitação (mm), umidade relativa do ar (URA-%) e insolação (horas) na cidade de Cruz Alta em 2007.

Período	T Média (°C)	Soma precipitação (mm)	URA Média (%)	Insolação (horas)
1a10 de setembro	21,39	6,2	67,5	8,08
11a20 de setembro	19,26	51,5	75,7	3,98
21a30 de setembro	15,64	285,2	74,39	6,35
1a10 de outubro	20,64	9,1	75,58	3,25
11a20 de outubro	18,56	130,5	82,57	5,32
21a31 de outubro	21,16	83,5	72,42	6,88
1a10 de novembro	19,01	47	72,9	7,5
11a20 de novembro	19,56	61,1	73,75	9,49
21a30 de novembro	21,72	18,5	60,38	10,07

APÊNDICE 4. Dados meteorológicos de temperatura (°C), índice de precipitação (mm), umidade relativa do ar (URA-%) e insolação (horas) na cidade de Bom Jesus em 2008.

Período	T Média (°C)	Precipitação (mm)	URA Média (%)	Insolação (horas)
1a10 de setembro	11,66	74,8	76,85	5,59
11a20 de setembro	9,74	29,8	79,33	6,56
21a30 de setembro	11,42	48,3	80,55	4,55
1a10 de outubro	12,52	26,5	76,41	6,94
11a20 de outubro	14,85	68	86,26	0,66
21a31 de outubro	15,99	213,6	86,62	3,67
1a10 de novembro	17,5	80,7	83,25	5,26
11a20 de novembro	14,19	31,9	80,82	4,04
21a30 de novembro	17,1	31,1	77,87	6,78
1a10 de dezembro	16,54	25,1	77,46	6,12
11a20 de dezembro	16,51	33,7	77,93	6,5
21a31 de dezembro	18,59	53,9	74,95	8,03

8 VITA

Vanderlei Doneda Tonon é filho de Giacomo Tonon e Eva Oliva Doneda Tonon. Nasceu em Santa Barbara do Sul-RS em 08 de novembro de 1966.

Cursou o primeiro grau na Escola Blau Nunes, em Santa Barbara do Sul-RS e na Escola Municipal Gabriel Miranda em Cruz Alta-RS. O segundo grau, cursou na Escola Estadual Annes Dias em Cruz Alta-RS. No ano de 1987, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde se graduou Engenheiro Agrônomo em 1992. De fevereiro a setembro de 1993 fez o curso de especialização em melhoramento genético de trigo no Centro Internacional de Mejoramiento de Mayz y Trigo (CIMMYT) no México. Ainda em 1993, começou a trabalhar na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP) como Pesquisador no programa de Melhoramento genético de trigo. Foi Professor da disciplina de Melhoramento Vegetal na Universidade de Cruz Alta (UNICRUZ), nos anos de 1996 a 1998. Em 1999 ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia do programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em Porto Alegre-RS, onde obteve o grau de Mestre em Fitotecnia em Março de 2001.

Em março de 2006, ingressou no curso de Doutorado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.