

**GENÉTICA DO ACAMAMENTO EM TRIGO
(*TRITICUM AESTIVUM* L.) E A IDENTIFICAÇÃO
DO CARÁTER PARA SELEÇÃO**

PEDRO JACINTO CRUZ



**GENÉTICA DO ACAMAMENTO EM TRIGO
(*TRITICUM AESTIVUM* L.) E A IDENTIFICAÇÃO
DO CARÁTER PARA SELEÇÃO**

PEDRO JACINTO CRUZ

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação
em Genética e Biologia Molecular da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
para a obtenção do grau de Doutor em
Ciências

Orientador: Prof. Ph.D. Fernando Irajá Félix de Carvalho

Co-orientador: Pesquisador, Dr. Vanderlei da Rosa Caetano

**PORTO ALEGRE
Rio Grande do Sul - Brasil
Fevereiro 2002**

Este trabalho foi realizado no Centro Experimental da Palma (CEP) da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM) e no Telado do Setor de Fitomelhoramento do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) tendo o apoio financeiro das agências como CNPq, CAPES e FAPERGS.

AGRADECIMENTOS

Ao professor, Dr. Fernando Irajá Félix de Carvalho, pela orientação, amizade e incentivo, otimismo e liderança nata, acreditando e apoiando-me como um irmão nos momentos difíceis e acima de tudo por depositar em mim sua confiança mesmo naqueles momentos em que tive medo de falhar. Durante a execução deste trabalho tive uma orientação clara e científica, além de ter recursos materiais fartos e imediatamente disponíveis. A ele dedico este trabalho.

Ao Dr. Vanderlei da Rosa Caetano, pela co-orientação e apoio.

Ao Dr. Adalberto de O. Gaiesky pelo grande incentivo e apoio.

Aos colegas e funcionários da Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, em especial a Professora Eny Marinho e Souza por ser a minha procuradora durante a minha ausência da AGRUFBA.

A João Albany Costa do Departamento de Engenharia da AGRUFBA e a Gilênio Borges Fernandes do Departamento de Estatística do Instituto de Matemática da UFBA pelas discussões em estatística e informações no uso do SAS.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular, em especial aos Professores Suzana Cavalli Molina, Helga Wigne e Aldo Mellender de Araújo, pelos ensinamentos transmitidos.

A Elmo J. Antunes Cardoso, pela eficiência como secretário do Curso e Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular da UFRGS.

A todos os colegas e funcionários de Setor de Fitomelhoramento do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, em especial a grande amiga, colega e conterrânea Simone Alves Silva e a Rosa Lia Barbieri pelo eficiente auxílio e colaboração.

À Maria José, minha esposa, que esteve sempre presente apesar da grande distância geográfica que nos afastou durante a realização deste trabalho.

As minhas filhas, Janaina e Cecília, pela continuidade de uma amostra de meus genes.

A Juliana, minha neta, que, embora muito pequena, compreendeu o motivo da nossa separação.

Aos meus pais, José Bittencourt Cruz pelo exemplo de vida e a minha mãe, Beatriz Leão Cruz, pelo carinho que deixei de lhe dar nos últimos momentos de sua vida.

A meus irmãos pelo apoio durante a realização deste trabalho.

Ao meu cunhado Jurandir Lopes Carneiro pela grande amizade.

Aos amigos gaúchos Sr. Luiz e Dona Zeli, pelo apoio recebido quando cheguei a Porto Alegre.

As instituições CAPES, CNPq, FAPERGS pelo apoio financeiro durante a execução deste trabalho.

SUMÁRIO

Capítulo I. Introdução e objetivos.....	01
Capítulo II. Caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo comum	10
Capítulo III. Efeito do acamamento induzido em trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	25
Influência do acamamento sobre o rendimento e outros caracteres em trigo.....	36
Capítulo IV. Genetic dissimilarity among wheat genotypes for traits associated with lodging	49
Capítulo V. Genetics of Character Lodging Resistance Factor Method (cLr) in wheat Plants.....	70
Capítulo VI. Discussão	88
Referências bibliográficas referentes aos capítulos I e VI.....	92
Resumo e conclusões.....	95
Summary and conclusions.....	97

CAPÍTULO I

Introdução e Objetivos

INTRODUÇÃO

O trabalho básico do melhoramento de plantas consiste em desenvolver genótipos que usem eficientemente os nutrientes do solo, a energia solar e outros fatores de ambiente que dêem uma maior produção econômica por área e que sejam adaptados às necessidades dos agricultores e dos consumidores. Portanto, o melhoramento genético tem sido um fator decisivo no aumento da produtividade agrícola.

A cultura do trigo tem respondido com grande intensidade aos esforços despendidos em inúmeros programas de melhoramento desenvolvidos em todo universo agrícola. Um dos maiores desafios dos pesquisadores envolvidos nestes programas tem sido a obtenção de genótipos com alto potencial de rendimento, capazes de produzir, sob a forma de grãos, todo o avanço tecnológico que tem sido introduzido de maneira constante nas lavouras.

Os tradicionais genótipos de porte alto de trigo, foram selecionados, por muitos séculos, por sua habilidade de crescer rapidamente nos estádios iniciais de desenvolvimento para, assim, competirem com as plantas invasoras e alcançarem produções com o mínimo cuidado e sob condições de baixa fertilidade do solo, ou seja, sob baixas condições tecnológicas. Quando modernos métodos de produção, como a adubação, são usados em genótipos altos, os resultados poderão ser negativos. A aplicação de elevados níveis de adubação, especialmente de nitrogênio, faz com que esses genótipos tornem-se excessivamente altos e, conseqüentemente, acamem. O acamamento afeta a estrutura morfológica essencial para o eficiente uso de carboidratos e sua translocação para o grão e, quanto mais cedo ocorre, maior é a redução no rendimento e na qualidade do produto final.

Na triticultura atual, a resistência ao acamamento assume particulares importâncias pela alta densidade de semeadura, pesadas adubações, principalmente a nitrogenada, e pela mecanização da colheita.

Como define a própria denominação, o acamamento é o acidente pelo qual o trigo perde sua posição naturalmente vertical, inclina-se e cai sobre o solo. Quando os colmos apenas inclinam e não se dobram em forma de joelho, o grão não sofre prejuízo continuando, possibilitando, assim, o processo regular de amadurecimento. Entretanto, se os colmos dobram e quebram, há evidentemente interrupção no movimento da seiva que não mais pode chegar a espiga, portanto o trigo não acaba de amadurecer. As conseqüências redundam em prejuízo, não só na qualidade, mas sobretudo no rendimento de grão. O grão do trigo acamado é imperfeito ou deteriorado, conforme a intensidade com que o acidente se verifica.

Na colheita, a trilhadeira passa por cima das plantas acamadas e deixa as espigas que se incorporam à massa da palha abandonada no campo. O acamamento em grande escala é, pois, um desastre para o agricultor, justamente porque mais ocorre, ou mais intenso é, nos trigais de maiores e mais pesadas espigas.

As principais causas do acamamento provêm do solo, das condições climáticas e da constituição genética do trigo utilizado na sementeira. Nos solos ricos em húmus e nitrogênio, o desenvolvimento dos colmos é exuberante, havendo, porém, prejuízo na formação dos tecidos de sustentação, nos quais se verificam excesso de água e evidente fraqueza. A adição exagerada ao solo de matéria orgânica ou de adubos nitrogenados em dose excessiva também ocasiona acamamento das plantas de trigo. Mesmo em um cultivo em que se utiliza uma variedade de porte baixo, o trigal pode sofrer prejuízo se receber adubação nitrogenada pesada e alta densidade de sementeira. Vale dizer que o potássio tem muita importância a esse respeito pela influência na formação e na resistência dos tecidos de sustentação da planta, os quais se compõem principalmente de celulose. A adubação potássica influi positivamente na espessura das paredes dos colmos e na formação de uma forte estrutura celular. Desta forma, no Brasil, genótipos de trigo resistentes ao acamamento passaram a ser extremamente desejáveis para promover uma maior tolerância às aplicações de altas doses de nitrogênio nas lavouras, técnica cultural atualmente utilizada em grande escala.

Os fatores climáticos que ocasionam o acamamento são as chuvas e os ventos, principalmente quando ocorrem pesadas precipitações pluviais ou grandes temporais, sobretudo quando o trigal se encontra em seus últimos estádios de amadurecimento (Figura 1).

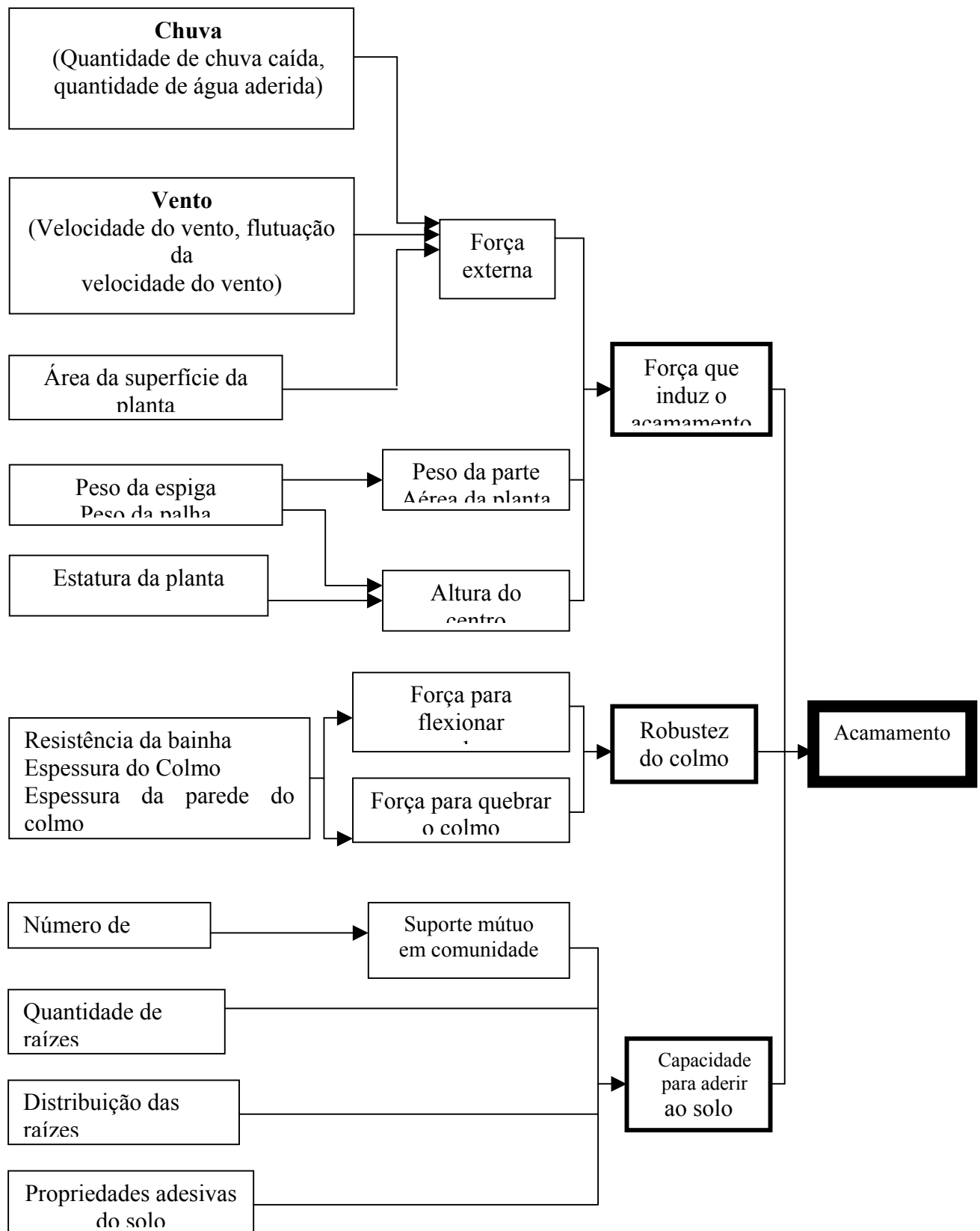


Figura 1 – Diagrama dos mecanismos que causam acamamento em cereais. Reproduzido e adaptado de Watanabe, 1997.

O genótipo de trigo utilizado na semeadura é também um dos fatores importantes para o acamamento, principalmente, quando ele é de porte alto, isto é, quando mede mais de 1,2 m, na época da maturação. A densidade excessiva de semeadura também causa acamamento. Para satisfazer as necessidades de luz, as plantas crescem demais e acamam. Outra causa do acamamento são as semeaduras superficiais. A semeadura do trigo não deve ser feita com menos de quatro a seis centímetros de profundidade, sobretudo nos solos soltos.

O acamamento é um caráter de importância fundamental em trigo e em diversos outros cereais, tais como, milho, sorgo, arroz, cevada, aveia, centeio e triticale.

Em trigo, existem diversas publicações de pesquisa ressaltando as vantagens das plantas de baixa estatura, sendo uma destas vantagens a resistência ao acamamento, referida pela maioria dos pesquisadores. Entretanto, a redução na estatura não necessariamente determina resistência ao acamamento, mas pode caracterizar maior tolerância do que as de porte alto.

O método que tem sido mais utilizado para determinar a resistência ao acamamento é o de observar o grau do acamamento no campo, visto que necessita somente a utilização de notas visual pelo grau de acamamento das plantas nas parcelas, principalmente nos ensaios de rendimento ou de competições de cultivares. Entretanto é difícil estabelecer uma condição uniforme que induza o acamamento em cada parcela. Além disso, adequadas observações do acamamento no campo requerem um razoável tamanho de população (tamanho da área semeada). Conseqüentemente, este método não é aplicado quando se trabalha com um grande número de cultivares ou linhagens. Para solucionar este problema, vários métodos de medir a resistência ao acamamento têm sido propostos, dentre estes, foi identificado o coeficiente de resistência do colmo ao acamamento, método internacionalmente conhecido com cLr , como sendo a técnica mais eficiente para seleção indireta em populações segregantes (Figura 2). O segundo método mais eficiente foi o denominado de 'pulling-down resistance' e o terceiro foi o 'pushing-down resistance' (Figura 3). Para estes métodos a medida da resistência ao acamamento não requer que seja feita, necessariamente no campo. Muitas medidas podem ser realizadas no laboratório (Watanabe, 1977).

Em um trabalho intitulado "efeito do acamamento artificial em alguns genótipos de trigo de porte alto e baixo", Federizzi et al. (1994) relatam que foi

realizado acamamento artificial nos estádios de emborrachamento, de antese e de grão em massa mole. Os efeitos do acamamento foram maiores na antese com um aumento no número de espiguetas estéreis, diminuição do número de espiguetas totais por espiga, no número de grãos por espiga e no rendimento de grãos. A vantagem no rendimento de grãos dos genótipos de trigo de porte baixo em relação aos de porte alto seria explicado principalmente pela redução das perdas por acamamento.

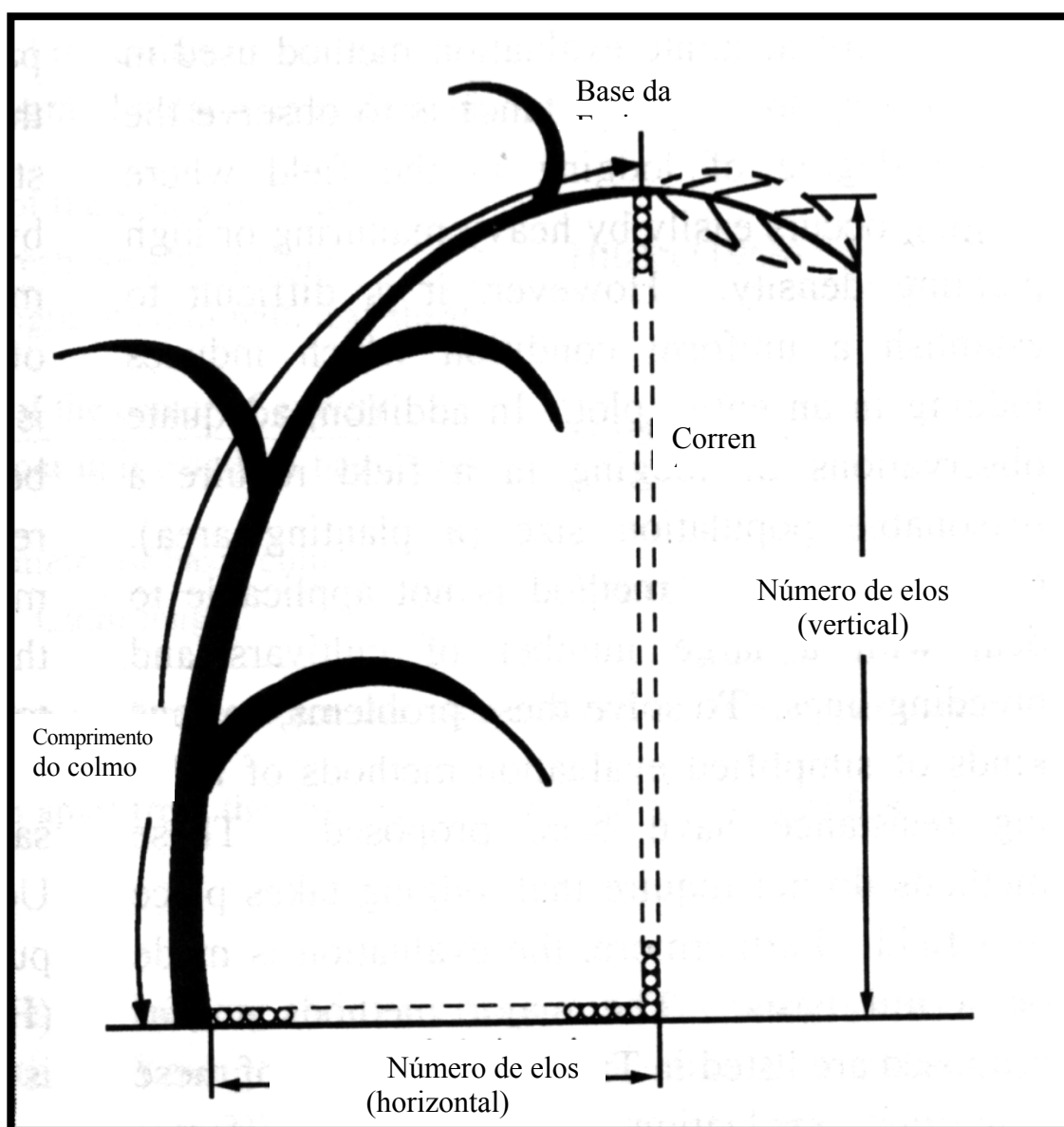


Figura 2 – O método para medir o valor cLr. (Watanabe, 1977).

Os efeitos do acamamento sobre o rendimento de grãos dependem do genótipo, da severidade e do tempo de ocorrência, sendo as perdas maiores em variedades mais altas e quando o acamamento ocorre durante a antese (Weibel e Pendleton, 1976; Pinthus, 1973; Stanka et al., 1979; Wiersma et al., 1986; Federizzi et al., 1994).

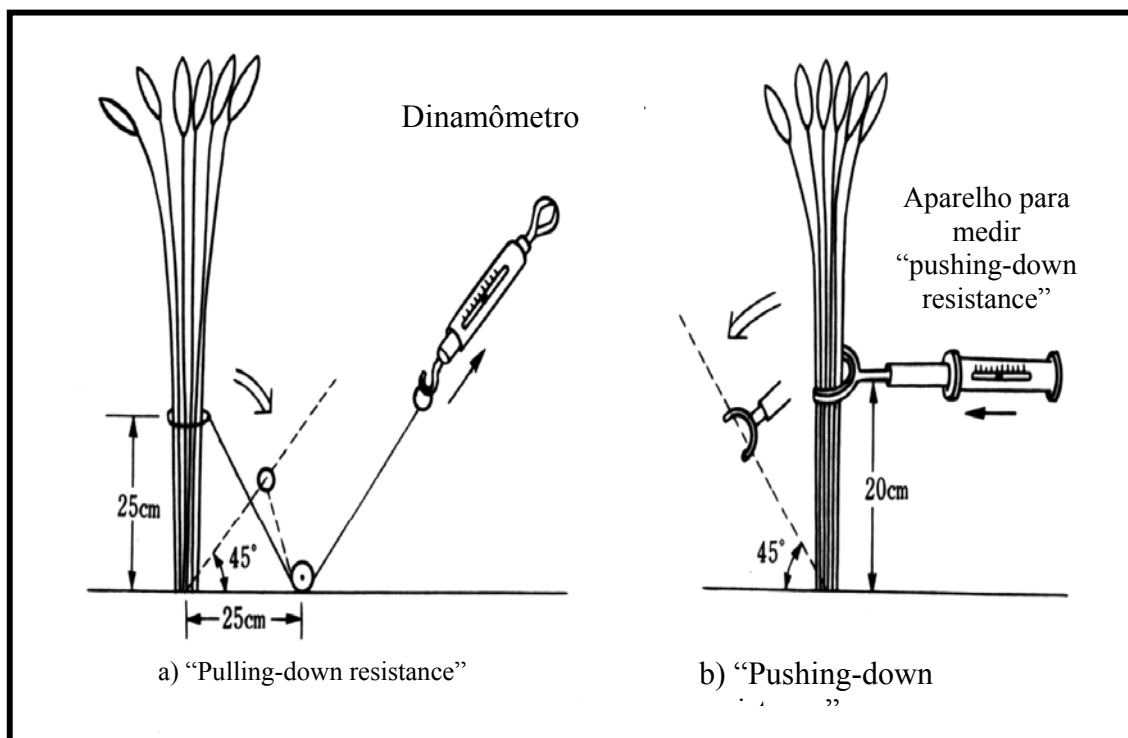


Figura 3 – Método para avaliação da resistência do colmo em cereais “pulling-down” e “pushing-down” (Watanabe, 1977).

A introdução de genes de porte baixo permitiu grandes avanços no potencial de rendimento de grãos dos cereais, especialmente trigo e arroz. A redução do porte possibilitou o cultivo destes cereais em locais altamente favoráveis ao seu desenvolvimento e a melhoria artificial do ambiente, particularmente através da irrigação e da aplicação de doses elevadas de adubos (Stoddart e Lloyd, 1986). Estes avanços foram possíveis graças à eliminação do acamamento das plantas, até então entrave no cultivo de variedades tradicionais de porte alto (Pinthus, 1973); entretanto, os genótipos de porte baixo revelaram ser mais afetados pelos efeitos do estresse de ambiente que os genótipos de estatura normal (Zanatta e Oerlecke, 1991).

No trabalho realizado por Kheiralla (1994), foi determinada a herdabilidade dos caracteres relacionados com a resistência do colmo ao acamamento como estatura de planta, comprimento do segundo entrenó, diâmetro do colmo, peso da

matéria seca por comprimento do colmo e espessura da parede do colmo. Os resultados sugerem que a seleção para os caracteres relacionados com a resistência ao acamamento deva ser promissora. Dolinski (1996) concluiu que a herança do comprimento do segundo entrenó foi controlada pela ação gênica epistática. O comprimento do pedúnculo, assim como o diâmetro do colmo e a espessura da parede do colmo, foram estimados na metade do segundo entrenó, condicionados pela ação gênica aditiva.

Estudando os componentes da estatura de planta e a herança do caráter comprimento do pedúnculo em trigo, Scheeren (1980) observou que o pedúnculo contribuiu com aproximadamente 40% da estatura dos genótipos estudados. O modelo de ação gênica para comprimento de pedúnculo variou entre cruzamentos. Em dois cruzamentos, o número mínimo de classes foi duas, com efeitos epistáticos e desvios de dominância; o número máximo de classes foi sete, com ação gênica aditiva e segregação transgressiva.

Observações feitas por Gomes (1978) em trigo indicaram que o pedúnculo contribuía com a maior porcentagem da estatura.

OBJETIVOS

O desenvolvimento de uma tecnologia apropriada para identificação de constituições genéticas que evidenciem resistência ao acamamento, principalmente entre plantas individuais, será de fundamental importância para a obtenção do conhecimento relacionado com a herança do caráter, ou seja, proporcionar maior eficiência na seleção direta ou indireta, para otimização do ganho genético. Conseqüentemente, este foi o principal objetivo do presente trabalho.

Os objetivos específicos tiveram relação direta com os seguintes aspectos:

1. Avaliar o efeito de períodos distintos do acamamento sobre diferentes constituições genéticas de trigo;
2. Determinar o coeficiente de herdabilidade, ação gênica e o número de genes que controlam a manifestação do caráter coeficiente da resistência do colmo ao acamamento (cLr);
3. Identificar a variabilidade existente do caráter coeficiente da resistência do colmo ao acamamento (cLr) entre diferentes constituições genéticas de trigo;
4. Estimar o grau de dissimilaridade genética entre as principais constituições genéticas de trigo existentes no sul do Brasil.

CAPÍTULO II

Caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo comum

(Trabalho publicado na Revista Ciência Rural, editada pela
Universidade Federal de Santa Maria, RS, v. 31, n. 4, p. 563-568, 2001)

**CARACTERES RELACIONADOS COM A RESISTÊNCIA AO
ACAMAMENTO EM TRIGO COMUM**

TRAITS ASSOCIATED WITH LODGING RESISTANCE IN BREAD WHEAT

**Pedro Jacinto Cruz¹ Fernando Irajá Felix de Carvalho² Vanderlei da Rosa
Caetano³ Simone Alves Silva⁴ Andreomar José Kurek⁵ Rosa Lia Barbieri⁴**

RESUMO - O rendimento de grãos é um caráter afetado pelo acamamento das plantas, e este é um sério problema principalmente para os trigos de porte alto. No ano agrícola de 1999, foi conduzido um experimento no Centro Experimental da UFPel, Capão do Leão (RS), sendo o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições para investigar a existência de variabilidade em uma série de caracteres morfológicos associados à resistência ao acamamento em 14 genótipos de trigo hexaploides. Foi encontrada variabilidade para todos os caracteres estudados. O coeficiente de resistência do colmo ao acamamento (cLr), estatura de planta (EST), o comprimento do pedúnculo (CP) e índice do colmo (IC) foram altamente

¹ Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Prof. Adjunto, Departamento de Fitotecnia, AGRUFBA. Aluno do Curso de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular –UFRGS, RS. Bolsista da CAPES.

² Engenheiro Agrônomo, Ph.D. Professor do Departamento de Fitotecnia, UFPel. Pesquisador do CNPq. CP 354, 96001-970. Capão do Leão, RS. e-mail: carvalho@ufpel.tche.br. Autor para correspondência.

³ Engenheiro Agrônomo, Dr. Pesquisador da EMBRAPA/CPACT.

⁴ Dra. Professora Colaboradora do Departamento de Fitotecnia, UFPel.

⁵ Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Professor da UDESC. Bolsista do CNPq

correlacionados com a resistência ao acamamento. Estes fatores poderão ser utilizados como critérios de seleção indireta para resistência ao acamamento. A linhagem TB 951 foi, entre os genótipos avaliados, o que apresentou melhor desempenho para todos os fatores relacionados com a resistência ao acamamento, portanto, esta linhagem pode ser indicada como uma excelente fonte de resistência ao acamamento em trigo.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, estatura de planta, diâmetro do colmo, comprimento do pedúnculo, seleção indireta.

SUMMARY- Grain yield is affected by plant lodging, and this is a serious problem mainly for tall wheat cultivars. A field trial was conducted during 1999 growing season to investigate the variability for some morphological traits associated to lodging resistance in 14 wheat genotypes. It was found variability for all traits evaluated. Values of lodging resistance coefficient, plant height, length of peduncle and culm index were highly correlated with lodging resistance. These traits can be recommended for lodging resistance indirect selection. Among genotypes evaluated, line TB 951 showed the best performance for all traits related to lodging resistance. So, that line can be indicated as an excellent lodging resistance source in bread wheat.

Key words: *Triticum aestivum*, plant height, diameter of stem, length of peduncle, indirect selection.

INTRODUÇÃO

A resistência ao acamamento é um caráter de importância fundamental na lavoura de trigo e em diversos outros cereais. No Brasil, genótipos de trigo resistentes ao acamamento passaram a ser extremamente desejáveis, em função da aplicação de doses maiores de nitrogênio nas lavouras, técnica cultural atualmente empregada em grande escala. No Rio Grande do Sul, houve uma evolução acentuada na produtividade do trigo a partir de 1985, resultante em parte, do uso de tecnologias, que permitiram o controle das principais moléstias, a semeadura direta, a rotação de culturas e do emprego de cultivares mais produtivas. Dessa maneira, a espécie passou a responder melhor às aplicações de adubações nitrogenadas e observou-se a maior eficiência do seu uso (PÖTTKER & ROMAN, 1998). O acamamento é um caráter que revela grande dificuldade de avaliação pela falta de precisão, principalmente em plantas isoladas, dadas a sua grande interação com os fatores do ambiente como vento, chuva e as características do solo. As diferenças entre os genótipos tendem a ser mascaradas por estes fatores (NEENAN & SPENCER-SMITH, 1975). Duas excelentes revisões foram feitas sobre o assunto por PINTHUS (1973) e WATANABE (1997).

A forma de avaliação da resistência ao acamamento mais comumente utilizada para o melhoramento de cereais tem sido a estimativa da percentagem da área acamada. Esta estimativa é realizada através de notas dadas visualmente, obtidas em lavouras e em parcelas experimentais de ensaios de rendimento. PETRUCCI (1978), *appud* SOUZA (1998), estabeleceu um sistema mais elaborado, considerando a percentagem da área acamada e o ângulo de inclinação dos colmos. Entretanto, nem a primeira nem a segunda forma de avaliação são capazes de determinar com

segurança, o grau de resistência ao acamamento, principalmente em plantas espaçadas em gerações segregantes.

Os trabalhos voltados para o melhoramento genético dos cereais buscam contribuir para a alteração do platô de rendimento de grãos, da expansão da produção e da criação de resistência a fatores adversos, havendo necessidade de modificações em vários caracteres, principalmente na arquitetura da planta (CARVALHO & QUALSET, 1978). Entretanto, as informações sobre os atributos da arquitetura genética referente ao acamamento ainda são muito escassas (LUTHRA, 1987).

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo, utilizando uma metodologia que possa ser aplicada em populações segregantes e que resulte em um aumento na eficiência da seleção para resistência ao acamamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro Experimental da Palma (CEP) pertencente à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), que é localizada no município de Capão do Leão (RS), em área de solo pertencente à unidade de mapeamento Pelotas, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa e relevo ondulado, com presença marcante do lençol freático próximo à superfície. O município está situado a 31° 52' 00" de latitude sul e 52° 21' 24" de longitude, a uma altitude de 13,24m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com uma precipitação pluviométrica média anual de 1280,2 mm (MORENO, 1961; EMBRAPA, 1999).

O experimento foi semeado em condições de campo, em 15 de junho de 1999, sem irrigação, em delineamento experimental de blocos casualizadas com quatro

repetições, com parcelas de três metros de comprimento e três linhas por parcela. O espaçamento adotado foi o de 0,3 metro entre linhas e igual distância entre plantas, com o objetivo de conduzir plantas isoladas, sem competição, para avaliação individual. A adubação de base foi de 300 kg.ha⁻¹ de NPK (5-20-20) e mais 60 kg.ha⁻¹ aplicado no início do afilhamento. O controle de ervas daninhas foi realizado com capina manual e o combate de formigas cortadeiras com a aplicação de iscas granuladas. Para o controle de insetos, foi utilizado Fosdrin e para o controle de moléstias fúngicas foi utilizado Folicur, conforme recomendação da CSBPT-1998 (Comissão Sul-Brasileira de pesquisa de trigo, 1999).

Os genótipos avaliados neste trabalho estão na Tabela 1. Foram analisadas as variáveis: resistência ao acamamento (RA), coeficiente de resistência do colmo ao acamamento (cLr), teste de tensão do colmo (TTC), estatura de planta (EST), comprimento do 2º entrenó (C2E), comprimento do último entrenó (CUE), comprimento do pedúnculo (CP), diâmetro do 2º entrenó (D2E), diâmetro do último entrenó (DUE), diâmetro do pedúnculo (DP), peso de 1 cm da parte basal do colmo (PBC) e o índice do colmo (IC).

Das 12 variáveis analisadas, o coeficiente de resistência do colmo (cLr), o teste de tensão do colmo (TTC) e a estatura de planta (EST) foram mensurados a campo entre 20 a 30 dias após a antese, no colmo principal de 10 plantas escolhidas ao acaso em cada parcela. A resistência ao acamamento (RA), foi avaliada segundo a metodologia estabelecida por Petrucci (SOUZA, 1998). Para uma melhor adequação ao estudo de correlação realizada neste trabalho, os dados de resistência ao acamamento (RA) da EMBRAPA, tomados de acordo com a escala de Petrucci foram modificados passando a ser como segue: Nota 2 = Suscetível; Nota 2,5 = moderadamente suscetível a suscetível; Nota 3 = moderadamente suscetível; Nota 4 = moderadamente resistente; Nota 4,5 = resistente a moderadamente resistente; Nota 5 = resistente; e Nota 6 = altamente resistente ao acamamento (Tabela 1). As demais variáveis foram

avaliadas em laboratório, em 10 colmos principais retirados de 10 plantas escolhidas ao acaso em cada parcela, por ocasião da colheita.

O coeficiente de resistência do colmo ao acamamento (cLr) foi determinado conforme GRAFIUS & BROWN (1954), através da equação: $cLr = F / b$, sendo F = o peso em gramas, da parte que ficava suspensa, de uma corrente pesando 0,5g por elo com dois elos por centímetro, presa à base da espiga e b = altura do colmo em cm, medida do colo da planta até a base da espiga. Para maiores detalhes ver WATANABE (1997).

O teste de tensão do colmo (TTC) foi determinado conforme UEMURA *et al.* (1985) apud WATANABE (1997). Foi usado um dinamômetro de três Newtons para medir a força necessária para inclinar o colmo principal até um ângulo de 45 graus em relação à vertical. Também foi determinada a estatura de planta (EST) de 10 plantas por parcela, tomando a distância desde a superfície do solo até a ápice da espiga, excluindo as aristas. Esta determinação foi realizada 21 dias após a antese, período a partir do qual não mais ocorre variação na estatura (SPIERTZ *et al.*, 1971).

A medida do comprimento de segundo entrenó (C2E) foi feita com uma régua, com aproximação de 0,1 centímetro, medido do meio do primeiro nó ao meio do segundo nó. O comprimento do último entrenó (CUE) foi medido do meio do penúltimo nó ao meio do último nó. O comprimento do pedúnculo (CP) foi feito do meio do último nó à base da espiga. O diâmetro do segundo entrenó (D2E), o diâmetro do último entrenó (DUE) e o diâmetro do pedúnculo (DP) foram medidos na parte mediana destas estruturas, com o auxílio de um paquímetro digital. Para aferir o peso de 10cm da parte basal do colmo (PBC), foi cortado 10cm da parte inferior de 10 colmos por parcela e colocados a secar em estufa a 70°C, por 72 horas. Após a secagem, o material foi pesado e observados os valores médios, para cada parcela. O

resultado obtido foi dividido por 10 para padronizar o peso para 1cm por mg. O índice do colmo (IC) foi calculado conforme YAGI (1983) appud WATANABE (1997), ou seja, o diâmetro do segundo entrenó foi dividido pelo comprimento medido do colo da planta até a base da espiga.

Os dados foram analisados e as médias de tratamentos foram comparadas pelo valor da média geral do experimento mais ou menos um desvio padrão. Os valores encontrados acima da média mais um desvio padrão foram classificados como superiores (S), e valores encontrados abaixo da média menos um desvio padrão foram classificados como inferiores (I) (Tabela 1). As relações entre os caracteres estudados foram estimadas através do coeficiente de correlação de Pearson, e a hipótese de que o coeficiente de correlação é igual a zero foi avaliada pela estatística t a 5% de probabilidade do erro (Tabela 2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve diferenças significativas para todas as variáveis avaliadas.

As notas para resistência ao acamamento (RA) variaram de 2 (suscetível ao acamamento) nos genótipos BRS 179 e EMB 40 à 6 (altamente resistente ao acamamento) nos genótipos OR 1 e TB 951 (Tabela 1).

O coeficiente de resistência do colmo ao acamamento (cLr) variou de 0,2 a 0,8 g/cm determinado nos genótipos EMB 40 e TB 951, respectivamente. Esta técnica foi capaz de discriminar três grupos de genótipos quanto a resistência ao acamamento, sendo a classe inferior composta pelos genótipos EMB 40 e BRS 119, a classe superior constituída pelos genótipos FCEP 29 e TB 951 e a classe intermediária formada pelos restantes. O coeficiente de correlação encontrado entre a RA e o cLr foi positivo e significativo ($r = 0,73$), indicando ser o cLr uma técnica

capaz de identificar genótipos resistentes ao acamamento. Entretanto, o cLr apesar de ser indicado como mais fácil de ser empregado (WATANABE, 1997) apresentou dificuldades para aferição em plantas com espaçamento 30 x 30cm. Um espaçamento maior, como o de 60 x 30cm, provavelmente facilitaria as aferições, tanto para o coeficiente de resistência do colmo (cLr), como para o teste de tensão do colmo (TTC). A herança genética para o caráter cLr foi estudada por HORIUCHI & MIZUNO (1980), *appud* WATANABE (1997), e os autores afirmam terem encontrado o valor da herdabilidade no sentido restrito de 0,70. Isso indica ser a seleção eficiente em termos de ganho genético o que a pressão de seleção poderá ser intensificada em gerações altamente segregantes.

O teste de tensão do colmo (TTC) possibilitou a separação dos genótipos em dois grupos, sendo a linhagem TB 951 a mais resistente, confirmando os resultados obtidos para o cLr. O coeficiente de correlação obtido entre o TTC e RA ($r = 0,55$) indica que o TTC poderá ser um mecanismo de seleção indireta ao acamamento menos eficiente que o cLr. O alto coeficiente de variação obtido para o TTC mostra ser esta uma técnica de menor precisão, necessitando, portanto, de uma maior amostragem e/ou um maior número de repetições. Estes resultados concordam com aqueles encontrados por WATANABE (1997), nos quais o autor comparou o cLr com o TTC e indicou o cLr como sendo o método de seleção indireta mais adequado.

A estatura de planta (EST) variou de 60 a 92cm, detectadas em OR 1 e CEP 24, respectivamente. Este caráter separou os genótipos em três grupos distintos, sendo a classe inferior, ou seja, o grupo dos genótipos de porte baixo composto pela linhagem TB 951 e pelas cultivares OR 1, FCEP 29 e BR 18. Os genótipos de porte mais alto foram: CEP 24, IAC 5, BRS 179 e BRS 49. O coeficiente de correlação de EST com RA foi de $-0,74$, evidenciando uma relação inversamente proporcional, o

que permite aceitar a hipótese de que a pressão de seleção para plantas de pequeno porte determine maior expressão do caráter resistência ao acamamento (CARVALHO, 1982). Além da alta correlação entre plantas baixas e a resistência ao acamamento, dos três caracteres medidos diretamente no campo (cLr, TTC e EST), a estatura de planta (EST) foi o caráter de mais fácil aferição.

Dos componentes da estatura de planta, o comprimento do 2º entrenó (C2E), comprimento do último entrenó (CUE), e comprimento do pedúnculo (CP) apresentaram coeficientes de correlação com a resistência ao acamamento (RA) de -0,5*, -0,24^{n.s} e -0,77*, respectivamente. O comprimento do pedúnculo mostrou ser um caráter associado ao acamamento, isto é, plantas com pedúnculos maiores tendem a acamar com maior intensidade. Além do baixo coeficiente de variação, este caráter contribuiu com 45% da estatura dos genótipos estudados, confirmando observações anteriores, como as relatadas por SCHEEREN (1980). O C2E também mostrou ser um caráter relacionado à resistência ao acamamento, confirmando os resultados obtidos por o DOLINSKI *et al.* (1996). Os resultados obtidos para o comprimento do último entrenó são similares aos obtidos para comprimento do segundo entrenó (Tabela 1), o que era esperado, pois estes dois caracteres evidenciaram ser correlacionados de forma positiva e significativa, com $r = 0,79$ (Tabela 2). O comprimento médio destes componentes aumentou progressivamente da base do colmo para o ápice da planta.

Dos componentes do diâmetro do colmo estudados, o diâmetro do 2º entrenó (D2E), diâmetro do último entrenó (DUE), diâmetro do pedúnculo (DP), apresentaram coeficientes de correlação com a RA de 0,36, 0,24 e -0,20, respectivamente. Todos os valores foram baixos e não significativos, evidenciando que, para o germoplasma estudado, os componentes da estatura de planta são mais

eficientes como critério de seleção indireta para a resistência ao acamamento do que os componentes do diâmetro do colmo. Confirmando os resultados observados por BHAMONCHANT & PATTERSON (1964) e MUKHERJEE *et al.* (1967), o diâmetro do segundo entrenó (D2E) foi correlacionado positivamente com o coeficiente de resistência ao acamamento (cLr) e com o teste de tensão do colmo (TTC). Por outro lado, os componentes do diâmetro do colmo são de difícil aferição, muitas vezes induzindo ao erro além de apresentarem uma reduzida variabilidade entre os genótipos testados.

A média do peso de um centímetro da parte basal do colmo (PBC) foi de 244 mg cm⁻¹. O maior PBC foi alcançado pela linhagem de baixa estatura, TB 951, enquanto a cultivar também de menor estatura (OR 1), teve o menor valor de PBC. Este caráter não está correlacionado com a resistência ao acamamento (RA), desta forma, para o germoplasma utilizado, o PBC parece não ser um bom critério de seleção indireta para resistência ao acamamento (RA).

O índice do colmo (IC), variou de 4,5 a 7,5% determinados em CEP 24 e OR 1, respectivamente. Este caráter está correlacionado positivamente com RA, podendo ser apresentado como critério de seleção indireta para resistência ao acamamento (RA).

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, técnicas de seleção indireta como o coeficiente de resistência do colmo ao acamamento (cLr), estatura de planta (EST), comprimento do pedúnculo (CP) e índice do colmo (IC), poderão ser empregados com êxito por serem altamente correlacionados com a resistência ao acamamento.

Com relação à estatura de planta, as cultivares modernas já atingiram um platô com pouca variabilidade para o caráter. Entretanto, o comprimento do pedúnculo

ainda dispõe de relativa variabilidade, a qual, pode ser explorada na escolha de genitores divergentes para cruzamento e seleção indireta para o caráter resistência ao acamamento.

CONCLUSÃO

A linhagem TB 951 é indicada como excelente fonte de resistência ao acamamento em trigo;

O método cLr é uma boa técnica para seleção indireta de plantas de trigo resistentes ao acamamento;

Os caracteres comprimento do pedúnculo, estatura de planta e índice do colmo são indicados para seleção indireta visando resistência ao acamamento em trigo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BHAMONCHANT, P., PATTERSON, F.L. Association of morphological characters and lodging resistance in a cross involving milford-type oats. **Crop Science**, Madison, v.4, n.1, p.48-51, 1964.

CARVALHO, F.I.F. de, QUALSET, C.O. Genetic variation for canopy architecture and its use in wheat breeding. **Crop science**, Madison, v.18, n.1, p.561-567, 1978.

CARVALHO, F.I.F. de. Genética quantitativa. In: OSÓRIO, E.A. **Trigo no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargil, 1982. v.1, cap.3, p.63-94.

COMISSÃO SUL BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO. **Recomendações da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de trigo para a cultura do Trigo 1999**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1999. 74p.

- DOLINSKI, R., MIAGZA, D., WORLAND, A., *et al.* Genetic analysis of selected physical properties of the culm of capelle-desprez/bezostaya substitution lines. **Acta Agronomica Hungarica**, Lublin, v.44, n.3, p.245-254, 1996.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: SPT, 1999. 412 p.
- GRAFIUS, J.E., BROWN, H.M., Lodging resistance in oats, **Agronomy Journal**, Madison, v.46, n.3, p.414-418, 1954.
- LUTHRA, O.P. Genetic architecture of characters related to lodging in wheat. **Wheat Information Service**, Yokehana, v.64, n1. p.21-23, 1987.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura - RS, 1961. 41p.
- MUKHERJEE, K.K., KOHLI, S.P., SETHI, K.L. Lodging resistance in wheat. II. Choice of suitable selection indices. **Indian Journal of Agronomy**, Hissan, v.12, n1., p.56-61, 1967.
- NEENAN, M.; SPENCER-SMITH, J.L. An analysis of the problem of lodging with particular reference to wheat and barley. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.81, n.3, p.495-507, 1975.
- PINTHUS, M.J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, New York, v.25, n.1, p.208-263, 1973.
- PÖTTKER, D., ROMAN, E.S. Efeito do nitrogênio em trigo cultivado após diferentes sucessões de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.537-541, maio 1998. (Número Especial.)
- SCHEEREN, P.L. **Componentes da estatura de planta e herança do caráter comprimento de pedúnculo em trigo (*Triticum aestivum* L.)**. Porto Alegre-RS, 1980. 92p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, UFRGS, 1980.

SOUZA, C.N.A. de. O acamamento e a reação de cultivares de trigo recomendadas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.5, p.537-541, maio 1998. (Número Especial.)

SPIERTZ, J.H.J., TEN HAG, B.A., KUEPERS, L.J.P. Relation between green area duration and grain yield in some varieties of spring wheat. **Nethisland Journal of Agricultural Science**, Wageningen - Holanda, v.19, n.1, p.211-222, 1971.

WATANABE, T. lodging resistance. In: MATSUO, T., FUTSUHARA, F., YAMAGUCHI, H. **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997. p.567-577, v.3: Genetics.

TABELA 1. Resistência ao acamamento (RA), coeficiente de resistência ao acamamento (cLr), teste de tensão do colmo (TTC), estatura da planta (EST), comprimento do 2º entrenó (C2E), comprimento do último entrenó (CUE), comprimento do pedúnculo (CP), diâmetro do 2º entrenó (D2E), diâmetro do último entrenó (DUE), diâmetro do pedúnculo (DP), peso de 1cm da parte basal do colmo (PBC) e índice do colmo (IC) de 14 genótipos de trigo. Pelotas, RS, 1999.

Genótipo	RA (Nota)	cLr (g/cm)	TTC (N)	EST (cm)	C2E (cm)	CUE (cm)	CP (cm)	D2E (mm)	DUE (mm)	DP (mm)	PBC (mg/cm)	IC (%)
BRS 179	2,0	0,3	0,4	85 S	9	16 I	44 S	3,6	4,0	3,4 S	268	5,1
EMB 40	2,0	0,2 I	0,3	82	11	20	36	3,5	3,7 I	2,8	217	5,3
CEP 24	2,5	0,3	0,5	92 S	10	19	42 S	3,8	4,2	3,2	287 S	4,5 I
IAC 5	2,5	0,3	0,3	86 S	10	20	38	4,0	4,4	3,1	264	4,9 I
RUBI	3,0	0,3	0,4	75	9	17	32	3,2 I	3,6 I	2,8	197 I	5,5
BRS 177	4,0	0,5	0,4	82	10	21	37	3,9	4,3	3,1	215	5,2
BRS 120	4,0	0,4	0,4	81	10	20	36	3,9	4,3	3,1	244	5,4
BRS 119	4,0	0,2 I	0,4	75	9	18	34	3,5	3,9	2,9	191 I	5,6
BR 18	4,0	0,4	0,4	68 I	9	14 I	31	3,5	3,6 I	2,7 I	235	6,2 S
BRS 49	4,5	0,3	0,5	84 S	11	23 S	34	3,8	4,2	2,9	294 S	5,0 I
BR 23	4,5	0,4	0,5	78	10	19	35	3,9	4,3	3,3 S	225	5,5
FCEP 29	5,0	0,6 S	0,5	73 I	8	18	35	4,1	4,5 S	3,3 S	233	5,9
OR 1	6,0	0,4	0,4	60 I	9	17	23 I	3,5	3,6 I	2,3 I	168 I	7,5 S
TB 951	6,0	0,8 S	0,8 S	69 I	7 S	14 I	30 I	4,2 S	4,6 S	3,3 S	376 S	7,0 S
Média	-	0,4	0,4	77,7	9,1	18,8	34,6	3,8	4,1	3,0	244	5,6
CV (%)	-	27,5	46,9	6,9	23,4	12,5	11,4	11,2	9,3	9,1	17,8	9,0
Desvio padrão		0,1	0,2	5,4	2,1	2,4	3,9	0,4	0,4	0,3	43,4	0,5

S = superior a média mais um desvio padrão; I = inferior a média menos um desvio padrão.

TABELA 2. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as médias do peso de 1cm da parte basal do colmo (PBC), coeficiente de resistência ao acamamento (cLr), teste de tensão do colmo (TTC), comprimento do 2º entrenó (C2E), comprimento do último entrenó (CUE), diâmetro do 2º entrenó (D2E), diâmetro do último entrenó (DUE), diâmetro do pedúnculo (DP), comprimento do pedúnculo (CP), (índice do colmo IC), estatura de planta (EST) e resistência ao acamamento (RA), em 14 cultivares de trigo. Pelotas, RS, 1999

	cLr	TTC	EST	C2E	CUE	CP	D2E	DUE	DP	PBC	IC
TTC	0,77*										
EST	-0,48 n.s	-0,14 n.s									
C2E	-0,73 *	-0,49 n.s	0,61 *								
CUE	-0,48 n.s	-0,36 n.s	0,60 *	0,79 *							
CP	-0,37 n.s	-0,1 n.s	0,89 *	0,33 n.s	0,29 n.s						
D2E	0,65 *	0,58 *	0,17 n.s	-0,19 n.s	0,11 n.s	0,19 n.s					
DUE	0,55 *	0,57 *	0,33 n.s	-0,17 n.s	0,19 n.s	0,34 n.s	0,96 *				
DP	0,27 n.s	0,46 n.s	0,54 *	-0,18 n.s	-0,02 n.s	0,71 *	0,65 *	0,78 *			
PBC	0,53 *	0,79 *	0,28 n.s	-0,19 n.s	-0,20 n.s	0,26 n.s	0,63 *	0,64 *	0,58 *		
IC	0,61 *	0,29 n.s	-0,95 *	-0,65 *	-0,62 *	-0,86 *	-0,02 n.s	-0,20 n.s	-0,45 n.s	-0,08 n.s	
RA	0,73 *	0,55 *	-0,74 *	-0,50 *	-0,24 n.s	-0,77 *	0,36 n.s	0,24 n.s	-0,20 n.s	0,08 n.s	0,78 *

* = Significativo em nível de 5% de probabilidade do erro, **n.s** = Não significativo.

CAPÍTULO III

Efeito do acamamento induzido em trigo

(Trabalho publicado na Revista Brasileira de AGROCIÊNCIA, editada pela Universidade Federal de Pelotas, RS, v. 6, n. 2, p. 112-114, 2000)

Influência do acamamento sobre o rendimento e outros caracteres em trigo

(Trabalho submetido à revista Brasileira de AGROCIÊNCIA, editada pela Universidade Federal de Pelotas, RS)

EFEITO DO ACAMAMENTO INDUZIDO EM TRIGO

CRUZ¹, Pedro J.; CARVALHO², Fernando I. F. de; CAETANO³, Vanderlei da R.;
SILVA², Simone A; KUREK², Andreomar J.; MARCHIORO², Volmir, S. ;
LORENCETTI², Claudir

¹ UFBA/EA - Depto de Fitotecnia - Campus Universitário – Cx. P. 50 - CEP 44380-000.

² UFPEL/FAEM/Depto de Fitotecnia - Campus Universitário - Caixa Postal 354 - CEP 96010 - 900 CP 354, CEP 96001-970. Capão do Leão, RS. Fone (053) 275-7263 e-mail: carvalho@ufpel.tche.br

³ EMBRAPA/CPACT. Caixa Postal 403 - CEP 96001-970 Pelotas, RS.
(Recebido para publicação em 19/05/2000)

RESUMO - O acamamento é o acidente pelo qual a planta de trigo perde sua posição naturalmente vertical, inclina-se e cai sobre o solo, ocasionando redução no rendimento e da qualidade dos grãos. Na triticultura atual, a resistência ao acamamento assume particular importância pela alta densidade de semeadura, pesada adubações, principalmente nitrogenadas, e pela mecanização da colheita. No ano agrícola de 1999, foi conduzido um experimento na Estação Experimental da UFPel, Capão do Leão (RS), com o objetivo de avaliar os efeitos de três épocas de acamamento sobre dois genótipos de trigo. Foi realizado acamamento artificial nos estádios de emborrachamento, antese e grão em massa mole. Todas as plantas acamadas no estádio de emborrachamento e de antese, retornam à sua posição original em poucos dias após acamamento. Para o rendimento de grãos, o acamamento não produziu efeitos sobre os genótipos testados.

Palavras-chave: melhoramento de plantas, seleção, caracteres agrônômicos.

ABSTRACT – EFFECT OF INDUCED LODGING OVER BREAD WHEAT. Lodging is the accident by which bread wheat lose its vertical position and incline, tumbling over on soil, causing great reduction of the grain yield. Recently, lodging resistance is important for wheat culture due higher sowing density, strong manning, mainly nitrogenate, and harvest mechanization. At UFPel Experimental Station, located in Capão do Leão (RS), it was conducted an experiment with the purpose of evaluate the effect of three lodging dates over two bread wheat genotypes. Lodging was induced at in boot, anthesis and grain at milk state. All plants lodged at heading and anthesis date got up after seven days of lodging. Lodging did not produced any significant effect, at of 5% by Tukey test, over grain yield.

Key words: plant breeding, selection, agronomic traits.

INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil é caracterizada por apresentar clima subtropical, com estação fria bem definida e, solos profundos, adequados para o cultivo do trigo.

Os tradicionais genótipos de trigo com estatura elevada foram selecionados, durante muitos anos, por sua habilidade em crescer rapidamente nos estádios iniciais de desenvolvimento para, competirem com as plantas invasoras, alcançando produções com o mínimo cuidado agrícola, sob condições de baixa fertilidade e altos teores de alumínio no solo, ou seja, sob baixas condições tecnológicas. Quando modernos métodos de produção, como a adubação, são usados em genótipos altos, os resultados podem ser negativos; a aplicação de elevados níveis de adubos, especialmente de nitrogênio, faz com que esses genótipos evidenciem alta estatura, determinando o acamamento das plantas. O acamamento afeta a estrutura morfológica essencial para o eficiente uso de carboidratos e sua translocação para o grão e, quanto mais cedo ocorre, maior será a redução no rendimento e na qualidade do produto final (ZANATTA & OERLECKE, 1991).

O acamamento de cereais tem sido estudado em diversas regiões do mundo, com referências desde o início deste século (BRADY, 1934), por ser considerado um fator determinante na redução do rendimento de grãos, em até 60%. O acamamento pode afetar diretamente o rendimento de grãos por interferir na acumulação de matéria seca, ou reduzir o rendimento indiretamente, devido às dificuldades que ele impõe na colheita. Assim como pode afetar também a qualidade dos grãos (ROCHA, 1996).

O acamamento é caracterizado por um estado permanente de modificação da posição do colmo em relação à sua posição original, que resulta em plantas recurvadas e até mesmo na quebra de colmos. A estatura da planta é determinada em cereais pelo número e comprimento de entrenós (SCHEEREN, 1980). O comprimento do colmo está associado ao torque capaz de induzir à quebra do colmo (PINTHUS, 1973).

Segundo TRAVIS et al. (1996) a seleção de variedades de trigo com base na sua resistência ao acamamento tem tido uma significativa influência no aumento do rendimento de grãos.

Muitos autores relatam que a vantagem do rendimento de grãos dos genótipos de trigo de porte baixo, em relação aos de porte alto, seria explicado principalmente pela redução das perdas por acamamento (FEDERIZZI et al., 1994). Os efeitos do acamamento sobre o rendimento de grãos dependem do genótipo, da severidade e do tempo de ocorrência, sendo as perdas maiores em variedades mais altas e quando o acamamento ocorre durante a antese (PINTHUS, 1973; WEIBEL & PENDLETON, 1976; STANKA et al., 1979; WIERSMA et al., 1986; FEDERIZZI et al., 1994).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de três épocas de acamamento induzido sobre os genótipos de trigo TB 961 e TB 962, resistente e suscetível ao acamamento, respectivamente.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Palma, pertencente à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas, localizada no município de Capão do Leão (RS), em área pertencente à unidade de mapeamento de Pelotas, classificado como ARGISOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico de textura argilosa e relevo ondulado, com presença marcante do lençol freático próximo à superfície. O município está situado a 31° 52' 00" de latitude sul e 52° 21' 24" de longitude, a uma altitude de 13,24m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com uma precipitação pluviométrica média anual de 1280,2 mm (appud Silva, 1999).

No início de junho de 1999, a área experimental foi preparada através de aração e gradagem. A adubação de base foi de 300 kg. ha⁻¹ da fórmula 5-20-20 e mais 50 kg. ha⁻¹ de nitrogênio, aplicado no início do afilhamento. O controle de plantas daninhas foi realizado com capina manual e o combate de formigas cortadeiras com aplicação de iscas granuladas. Para o controle de insetos foi utilizado Fosdrin e para o controle de moléstias fúngicas foi utilizado Folicur. As sementes das cultivares utilizadas foram originadas do CNPTrigo/ EMBRAPA, Passo Fundo.

Em 15 de junho de 1999, estes genótipos foram semeados a campo, em um delineamento experimental de blocos casualizados. Foram utilizadas quatro repetições com parcelas de três metros de comprimento e sete linhas por parcela. O espaçamento adotado foi o de 0,2 metro entre linhas, com uma densidade de 300 sementes aptas por m². Foi considerada como área útil apenas as três fileiras centrais.

O acamamento foi realizado em diferentes épocas através de cordas. Para acamar cada fileira de plantas uma corda foi esticada a uma altura de 20 cm e forçada no sentido de um ângulo de 90 graus até que as plantas ficassem completamente acamadas. Na primeira época, (14/09/99), quando os genótipos estavam no estágio de emborrachamento. Na

segunda época (24/09/99), quando os genótipos estavam no estágio de antese. A terceira época de acamamento foi realizada no estágio de massa mole (15/10/99).

Foram contados os números de espigas presentes nas três linhas centrais da parcela; o número de espiguetas estéreis por espiga, o número de espiguetas totais por espiga e o número de grãos por espiga, foram obtidos pela média de 10 espigas tomadas ao acaso de cada parcela.

O rendimento de grãos foi obtido pela colheita das três linhas centrais da parcela. Foram ainda determinados o peso do hectolitro e o peso médio de mil sementes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de variação foram altos para os caracteres número de espigas por parcela e rendimento de grãos, mostrando assim, uma grande participação do ambiente na expressão destes dois caracteres, o que provavelmente tenha determinado a ausência de significância pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A variedade TB 961, resistente ao acamamento, foi menos produtiva do que a variedade TB 962, suscetível ao acamamento. Este fato é explicado pelo maior potencial genético do genótipo TB 962 para rendimento de grãos que provavelmente tenha sido favorecido pelas condições de ambiente, determinando a ausência de acamamento e favorecendo a maior expressão do caráter rendimento de grãos.

Ao contrário da metodologia deste trabalho, a maioria dos autores citados (PINTHUS, 1973; WEIBEL & PENDLETON, 1976; STANKA et al., 1979; WIERSMA et al., 1986; FEDERIZZI et al., 1994) trabalharam com acamamento artificial permanente onde as plantas eram mantidas presas por cordas impedindo-as de retornarem à sua posição original. Todos estes trabalhos mostraram que o acamamento causava redução no rendimento e na qualidade dos grãos. No presente trabalho, somente 20 cm da parte

inferior do colmo foram presas ao solo, sendo que a parte restante permanecia solta, determinando o retorno de sua posição original, sete dias após o acamamento, contudo, evidenciaram 20 cm de redução na estatura das plantas. Não houve efeito marcante das diferentes épocas de acamamento sobre os caracteres estudados. Na terceira época de acamamento (estádio de grão em massa mole) as plantas permaneceram acamadas, visto que, conforme SCHEEREN (1980), 21 dias após a antese, não há mais crescimento na planta de trigo. Nos primeiros estádios de desenvolvimento o colmo, a planta é muito tenra, apresentando pouca resistência mecânica, elevado conteúdo de água em todo o período vegetativo. O teor de lignina é baixo, inferior a 3%, predominando na constituição do colmo, principalmente, celulose e hemicelulose. A conjugação destes fatores ocasiona a falta de resistência mecânica no início do desenvolvimento das plantas, podendo determinar o acamamento. Neste caso, as plantas retornam à sua posição original em poucos dias, devido à alta elasticidade dos tecidos do colmo, em função destes estarem pouco lignificados, e aos movimentos de geotropismo e fototropismo (BRADY, 1934; ROCHA, 1996).

No estágio de emborrachamento, a combinação da rigidez dada pela lignina com a água no colmo, proporciona uma elevada elasticidade e também resistência mecânica, diminuindo a possibilidade de ocorrer a quebra de colmos. O torque máximo das plantas é atingido a partir da antese, devido a sua maior estatura, e, portanto, é comum a ocorrência de acamamento a partir desta fase (ROCHA, 1996).

A quebra de colmos é considerada uma forma de acamamento e, nos cereais, está relacionada com estádios mais avançados das plantas (GRAFIUS et al., 1955). A quebra envolve ruptura de tecidos, desconectando a vascularização do colmo e, portanto, dificultando a recuperação da planta (ROCHA, 1996). Neste trabalho não ocorreu a quebra dos colmos quando as plantas foram acamadas artificialmente nos estádios de

emborrachamento e de antese, pois, todas as plantas acamadas voltaram à sua posição original.

Os dados da Tabela 1 mostram que o período de acamamento, que mais determinou redução no número de espigas por parcela, foi a época três, (estádio de grão em massa mole). A partir do acamamento nesta fase, as plantas permaneceram acamadas até a colheita. Este fato, associado a um maior número de plantas quebradas no acamamento, ocasionou a redução do número de espigas por parcela.

O número de espiguetas estéreis por espiga, não foi afetado pelos efeitos dos tratamentos. O maior número de espiguetas totais por espiga e o maior número de grãos por espiga foram encontrados no genótipo TB 962, com ausência de acamamento.

CONCLUSÕES

Os resultados evidenciaram que o acamamento artificial não determinou efeitos drásticos na redução do rendimento de grãos; entretanto, no estágio de grão em massa mole, o componente do rendimento número de espigas por parcela foi afetado de forma mais intensa pela ação do acamamento induzido.

AGRADECIMENTOS

A AGRUFBA pela oportunidade; a CAPES e CNPq , pelas bolsas concedidas; a toda a equipe do Fitomelhoramento da UFPel, especialmente Jorge Luís Costa e Silvesnei da Costa Silva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRADY, J. Same factors influencing lodging in cereals. **Journal Agricultural Science**, v.24, p.209-232. 1934

- FEDERIZZI, L. C., FANTINI, A. C., CARVALHO, I. F. Efeito do acamamento artificial em alguns genótipos de trigo de porte alto e baixo. **Ciência Rural**, v.24, n.3, p. 465-469. 1994.
- GRAFIUS, J. E., BROWN, H. M., KIESLING, R.L. Stem-break in senescence in oats. **Agronomy Journal**, Madison, v.47 n.9, p.413-414. 1955.
- PINTHUS, M. J., Lodging in wheat, barley, and oats: The phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, v.25, p.210-256. 1973.
- ROCHA, A. B. **Características de genótipos de aveia e de trigo e suas relações com a quebra de colmos**. Porto Alegre, 1996. 126p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SCHEEREN, P. L. **Componentes da estatura de planta e herança do caráter comprimento de pedúnculo em trigo (*Triticum aestivum* L.)**. Porto Alegre, 1980. 92 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SILVA, S.A. **Estimativa da herança do caráter "stay-green" em genótipos de trigo hexaplóide**. Pelotas, 1999. 94p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/Universidade Federal de Pelotas.
- STANKA, A. M., JENKINS, G., HANSON, P. R. Varietal responses in spring barley to natural and artificial lodging and to a growth regulator. **Journal Agriculture**, v.93, p.419-458. 1979.
- TRAVIS, A. J., MURISON, S. D., HIRST, D. J, WALKER, K. C., CHESSON, A. Comparison of the anatomy and degradability of straw from varieties of wheat and barley that differ in susceptibility to lodging. **Journal of the Agricultural Science**, v.127, p.1-10. 1996.

WEIBEL, R. O., PENDLETON, J. W. Effect of artificial lodging on winter wheat grain yield and quality. **Agronomy Journal**, Madison, v. 56, p. 419-458. 1976.

WIERSMA, D.W., OPLINGER, E. S., GUYS, O, Environment and cultivars effects on winter wheat response to ethephon plant growth regulator. **Agronomy Journal**, Madison, v.78 p.761-764. 1986.

ZANATTA, A. C. A., OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26 p. 1001-1016. 1991

Tabela 1. Teste de Tukey para as médias dos caracteres número de espigas por parcela (NEP), número de espiguetas estéreis por espiga (NEEE), número de espiguetas totais por espiga (NETE), número de grãos por espiga (NGE), rendimento de grãos (RG), peso do hectolitro (PH), peso médio da semente (PMG). FAEM/UFPEL, Pelotas, RS, 1999.

Tratamento	NEP (Unid.)	NEEE (Unid.)	NETE (Unid.)	NGE (Unid.)	RG (Kg ha ⁻¹)	PH (g)	PMG (g)
V1_T ^{1/}	466 a	8 a	46 abc	38 ab	2570 a	79 ab	37 bc
V1_E1	477 a	10 a	45 bc	35 ab	2542 a	80 a	39 ac
V1_E2	473 a	11 a	43 bc	32 b	2695 a	80 a	38 ac
V1_E3	418 bc	10 a	47 ab	37 ab	2361 a	79 ab	36 c
V2_T	464 a	10 a	51 a	41 a	3256 a	77 ab	40 a
V2_E1	444 ab	11 a	41 c	32 b	3000 a	79 ab	40 a
V2_E2	449 ab	9 a	48 ab	39 ab	3256 a	76 b	40 a
V2_E3	392 c	12 a	44 bc	32 b	2611 a	76 b	38 ac
Média	448	10	45,4	35,5	2793	79	38
CV (%)	4,0	27,8	5,3	10,6	24,47	1,8	3,8

Médias acompanhadas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si a 5%, pelo teste de Tukey.

^{1/} V1T = Cultivar TB 961, sem acamamento; V1_E1 = Cultivar TB 961, com acamamento induzido no emborrachamento; V1_E2 = Cultivar TB 961, com acamamento induzido no estágio de antese; V1_E3 = Cultivar TB 961, com acamamento induzido no estágio de grão em massa mole; V2_T = Cultivar TB 962, sem acamamento; V2_E1 = Cultivar TB 962, com acamamento induzido no emborrachamento; V1_E3 = Cultivar TB 962, com acamamento induzido no estágio de antese; V2_E3 = Cultivar TB 962, com acamamento induzido no estágio de grão em massa mole.

INFLUÊNCIA DO ACAMAMENTO SOBRE O RENDIMENTO E OUTROS
CARACTERES EM TRIGO

CRUZ, Pedro J. ¹.; CARVALHO, Fernando I. F. de²; SILVA, Simone A.²

KUREK, Andreomar J².; BARBIERI, Rosa L²

¹ UFBA/EA - Depto de Fitotecnia - Campus Universitário - Caixa Postal 50 - CEP 44380-000.

² UFPEL/FAEM/Depto de Fitotecnia - Campus Universitário - Caixa Postal 354 - CEP 96010 - 900
CP 354, CEP 96001-970. Capão do Leão, RS. Fone (053) 275-7263 e-mail:
carvalho@ufpel.tche.br

RESUMO - O rendimento e a qualidade de grão do trigo têm sido afetados pelo acamamento das plantas, principalmente em ambientes como os existentes no sul do Brasil. No ano agrícola de 2000, foi conduzido um experimento na área experimental do Setor de Fitomelhoramento, no Centro Experimental da Palma (CEP) pertencente à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM/UFPEL), Capão do Leão (RS). O experimento foi conduzido no esquema de parcela subdividida, no delineamento de blocos ao acaso com oito repetições, em que os genótipos constituíram as parcelas principais (tratamentos), e os genótipos com e sem acamamento constituíram as subparcelas. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do acamamento induzido mecanicamente no estágio de antese, sobre dois genótipos de trigo. O acamamento reduziu o rendimento de grãos, o peso do hectolitro e o peso médio do grão em 50, 19 e 20%, respectivamente.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, peso médio do grão, peso do hectolitro, genótipo.

ABSTRACT - Yield and grain quality in bread wheat have been affected by plant lodging, mainly in environments as those of southern Brazil. An experiment was conducted during 2000, at Centro Experimental da Palma (CEP) from Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), UFPEL, Capão do Leão (RS). Design experimental was plot subdivided and

actualized blocks with eight repetitions, where genotypes were the main plots (treatments), and genotypes with and without lodging were the subplots. The purpose of this work was evaluate the effects of lodging mechanically induced at anthesis stage over two bread wheat genotypes. Lodging reduced grain yield, hectoliter weight and grain weight in 50, 19 and 20%, respectively.

Key words: *Triticum aestivum*, grain weight, hectoliter weight, genotype.

INTRODUÇÃO

O acamamento do trigo causa severos danos no rendimento e na qualidade dos grãos, isto tem chamado a atenção de melhoristas e agrônomos nas várias partes do mundo em que o trigo é cultivado. Em regiões úmidas e de temperatura mais elevada na primavera, como no sul do Brasil, os efeitos do acamamento são ainda mais acentuados (CARVALHO, 1982).

PINTHUS (1973) definiu o acamamento como um estado permanente de modificação da posição do colmo em relação à sua posição original, que resulta em plantas recurvadas e até mesmo na quebra de colmos. O acamamento muitas vezes envolve a ruptura dos tecidos, desconectando a vascularização do colmo e, portanto, impedindo a recuperação da planta (FAHN, 1975). O acamamento afeta a estrutura morfológica essencial para o uso eficiente de carboidratos e sua translocação para o grão e, quanto mais cedo ocorre, maior será a redução no rendimento e na qualidade do grão (ZANATTA & OERLECKE, 1991).

Os tradicionais genótipos de trigo com estatura elevada foram selecionados, durante muitos anos, por sua habilidade em crescer rapidamente nos estádios iniciais de desenvolvimento, com o objetivo de competirem com as plantas invasoras, produzindo com o mínimo de manejo cultural, sob condições de baixa fertilidade e altos teores de

alumínio no solo, ou seja, sob baixas condições tecnológicas. Por outro lado, quando modernos métodos de produção, como a adubação, são usados em genótipos altos, os resultados tendem a ser negativos, visto que a aplicação de elevados níveis de adubos, especialmente de nitrogênio, faz com que esses genótipos evidenciem alta estatura, determinando o acamamento das plantas.

Nos últimos anos, os trabalhos voltados para o melhoramento genético dos cereais buscam contribuir para a alteração do platô de rendimento de grãos, da expansão da produção e da criação de resistência a fatores adversos, havendo necessidade de modificações em vários caracteres, principalmente na arquitetura da planta (CARVALHO & QUALSET, 1978). Entretanto, as informações sobre os atributos da arquitetura genética referente ao acamamento ainda são muito escassas (LUTHRA, 1987). Quando os fatores do meio são otimizados com o emprego de adubações e irrigações, o acamamento torna-se um dos principais pontos de estrangulamento para que os genótipos alcancem o rendimento máximo (CRUZ et al., 2000).

Os efeitos do acamamento sobre o rendimento de grãos dependem do genótipo, da densidade de plantas, da severidade e do tempo de ocorrência do processo, sendo as perdas maiores em genótipos de porte elevado e, principalmente, quando o fenômeno ocorre durante a antese (FEDERIZZI et al., 1994). FISCHER & STAPPER (1987) observaram que o acamamento determinou perdas entre 7 a 35%, com efeito maior quando o fenômeno ocorreu nos primeiros dias após a antese. O acamamento pouco antes da antese foi menos prejudicial, devido à recuperação das plantas, que retornaram à sua posição original.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do acamamento induzido no estágio de antese sobre o rendimento de grãos, peso do hectolitro e peso médio do grão na cultivar de trigo EMBAPA 40 de porte médio/alto e suscetível ao acamamento e na linhagem TB951, de porte baixo e resistente ao acamamento.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Setor de Fitomelhoramento, no Centro Experimental da Palma (CEP) pertencente à Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), (UFPel), localizado no Município de Capão do Leão (RS), em área pertencente à unidade de mapeamento Pelotas, classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa e relevo ondulado, com presença marcante do lençol freático próximo à superfície. O Município está situado a 31° 52' 00" de latitude Sul e 52° 21' 24" de longitude, a uma altitude de 13,24m. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, com uma precipitação pluviométrica média anual de 1280,2 mm (MORENO, 1961; EMBRAPA, 1999).

No início de junho de 2000, a área experimental foi preparada através de aração e gradagem. A adubação de base foi de 300 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20 e mais 50 kg ha⁻¹ de nitrogênio, aplicado no início do afilhamento. O controle de plantas daninhas foi realizado com capina manual, e o combate de formigas cortadeiras com aplicação de iscas granuladas. Para o controle de insetos foi utilizado Fosdrin. Foi efetuada a aplicação de fungicida Tebuconazole na dose de 0,75 l ha⁻¹ do produto comercial (Folicur), no início do surgimento das pústulas da ferrugem da folha. Este fungicida é erradicante para as ferrugens e ódios e apresenta certo controle das manchas foliares causadas por fungos dos gêneros *Septoria*, *Helminthosporium* e *Giberella*. As sementes da cultivar EMBRAPA40 e da linhagem TB951 foram originadas do CNPTrigo/ EMBRAPA, Passo Fundo.

A semeadura do experimento foi realizada em 14 de julho de 2000. Os tratamentos avaliados constituíram na combinação de dois genótipos, a cultivar de trigo EMBRAPA40 e a linhagem TB951, com e sem acamamento. O delineamento utilizado foi o de parcelas subdivididas, sendo os genótipos (tratamentos) as parcelas principais arranjados em blocos

casualizados com oito repetições, e os tratamentos sem e com acamamento, as subparcelas. Cada subparcela possuía cinco metros de comprimento e sete linhas. O espaçamento adotado foi o de 0,2 metro entre linhas, com uma densidade de 300 sementes aptas por m². Foram consideradas como área útil apenas as três fileiras centrais.

O acamamento foi realizado no estágio de antese através de cordas. Para acamar cada fileira de plantas, uma corda foi esticada a uma altura de 20cm e forçada no sentido de um ângulo de 90 graus até que as plantas ficassem completamente acamadas. Segundo CRUZ et al. (2000) as plantas, quando presas apenas com uma corda a 20 cm da parte basal, retornam à posição vertical. Para que não voltassem à sua posição original, as plantas acamadas foram mantidas na posição horizontal, presas por várias cordas até a colheita.

O rendimento de grãos foi obtido pela colheita das três linhas centrais da parcela, o peso do hectolitro em balança apropriada e o peso médio do grão foi determinado, pesando uma amostra de 1000 grãos e determinado o peso médio de um grão em mg.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentadas as análises de variâncias dos dados originais e dos dados transformados em log. de x. Na análise dos dados originais, houve significância para os genótipos, efeitos do acamamento e interação genótipo x acamamento referente ao caráter rendimento de grãos. Entretanto, na análise dos dados transformados, não mais ocorreu a interação simples genótipo x acamamento (Tabela 1 e Figuras 1 e 2), evidenciando que o efeito do ambiente sobre o genótipo ocorreu de forma multiplicativa ao invés de aditiva. Neste caso, foi de extrema importância a transformação dos dados para corrigir o efeito multiplicativo (STEEL & TORRIE, 1980; CHAVES et al., 1989; CARVALHO et al., 1983). Conseqüentemente, comprovada a ausência de interação, as interpretações sobre o caráter rendimento de grão foram direcionadas individualmente para

as fontes de variação genótipo e acamamento. Quanto aos genótipos, a cultivar EMBRAPA40 produziu maior rendimento de grãos e maior peso do hectolitro do que a linhagem TB95, conforme dados evidenciados na Tabela 2. Com o acamamento, o rendimento dos grãos, o peso do hectolitro e o peso médio do grão foram reduzidos em 50, 19 e 20%, respectivamente (Tabela 3).

As médias para o caráter peso médio do grão, o qual apresentou interação genótipo x acamamentos significativos, estão incluídos na Tabela 4. A cultivar EMBRAPA40 obteve menor peso médio do grão com o acamamento. Entretanto, a linhagem TB951 não evidenciou redução significativa do peso médio do grão com o acamamento (Tabela 4). Também, não ocorreu diferença significativa entre a cultivar EMBRAPA40 e a linhagem TB951 quanto ao caráter peso médio do grão, tanto na presença quanto na ausência de acamamento (Tabela 4).

Conforme revela a análise, os dados inseridos na Tabela 1 e nas Figuras 3 e 4 não apresentaram alterações na significância da interação complexa, genótipo x acamamento, que continuou a existir mesmo após a transformação dos dados referentes ao caráter peso médio do grão. Este fato demonstra que, diferentemente do que ocorreu para o caráter rendimento de grãos, o efeito do ambiente foram aditivos sobre os efeitos genotípicos, sendo que os desvios da aditividade foram detectados na forma de uma interação complexa entre os efeitos genéticos (a cultivar EMBRAPA40 e a linhagem TB951) e de ambiente (presença e ausência de acamamento), indicando assim que a análise para o caráter peso médio do grão seja interpretada prioritariamente sobre a interação.

CONCLUSÃO

O acamamento artificial realizado no estágio de antese determina redução do rendimento de grãos, do peso do hectolitro e do peso médio do grão. O acamamento provoca maior estresse nos genótipos de trigo de porte alto do que nos de porte baixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, F.I.F. de, QUALSET, C.O. Genetic variation for canopy architecture and its use in wheat breeding. **Crop Science**, Madison, v.18, n.1, p.561-567, 1978.
- CARVALHO, F.I.F. de. Genética quantitativa. In: OSÓRIO, E.A. **Trigo no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargill, v.1, cap.3, p.63-94, 1982.
- CARVALHO, F.I.F.; FEDERIZZI, L.C.; NODARI, R.D.; STORCK, L. Comparison among stability models in evaluating genotypes. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, 6(4): 667-691. 1983.
- CRUZ, P.J.; CARVALHO, F.I.F. de; CAETANO, V. R.; SILVA, S.A.; KUREK, A.; MARCHIORO, V.S.; LORENCETTI, C. Efeito do acamamento induzido em trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.6, n.2,p.112-114, 2000.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: SPT, 1999. 412 p.
- CHAVES, L. J.; VENCOVSKY, R.; GERALDI, I. Modelo não linear aplicado ao estudo da interação de genótipo x ambientes em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.2, p.259-269, 1989.
- FAHN, A. **Plant Anatomy**. 2 ed. Oxford, Pergamon Press, 1975. 611 p.
- LUTHRA, O.P. Genetic architecture of characters related to lodging in wheat. **Wheat Information Service**, Yokehana, v.64, n1. p.21-23, 1987.
- STEEL, G.D., TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**, 2. ed, New York: McGraw-Hill, 1980, 633 p.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura - RS, 1961. 41p.

FEDERIZZI, L. C., FANTINI, A.C., CARVALHO, F. I. F. Efeito do acamamento artificial em alguns genótipos de trigo de porte alto e baixo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.24, n.3, p.465-469, 1994.

FISCHER, R.A.; STAPPER, M. Lodging effects on high yielding crops of irrigated semidwarf wheat. **Field Crop Research**, Amsterdam, v.17, n.2, p245-258, 1987.

PINTHUS, M.J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, New York, v.25, n.1, p.208-263, 1973.

ZANATTA, A. C. A., OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26 p. 1001-1016. 1991.

Tabela 1. Quadrados médios da análise de variância para os caracteres rendimento de grãos (RG), rendimento de grãos transformado em log.x (RGt), peso do hectolitro (PH), peso do hectolitro transformado em log.x (PHt), peso médio do grão (PMG) e peso médio de grãos transformado em log.x (PMGt). FAEM/UFPEL, Pelotas, RS, 2000.

FONTE	GL	Quadrados Médios					
		RG	RGt	PH	PHt	PMG	PMGt
Bloco	7	110309*	0,037*	116,04 ^{NS}	0,086 ^{NS}	16,97 ^{NS}	0,0052 ^{NS}
Genótipo	1	771903*	0,147*	666,85*	0,400*	36,98 ^{NS}	0,0091 ^{NS}
Erro (a)	7	10728	0,003	63,71	0,057 ^{NS}	12,78	0,0046
Acamamento	1	2847691*	0,789*	1236,00*	0,071*	262,21*	0,0725*
Genótipo x acamamento	1	173166*	0,013 ^{NS}	147,23 ^{NS}	0,003 ^{NS}	87,78 *	0,0201*
Erro (b)	14	30378	0,012	32,56	0,003	12,15	0,0370
Média (t ha⁻¹)		897	2,910	60,55	1,770	26,40	1,4100
CV (%) b		19,4	3,80	9,40	3,21	13,20	4,30

* Significativo a 5%; ^{NS}= Não significativo.

Tabela 2. Média observada, nos dois genótipos testados, para os caracteres rendimento de grãos (RG) e peso médio de grão (PMG). FAEM/UFPEL, Pelotas, RS, 2000.

Genótipo	RG (t ha⁻¹)	PMG (mg)
EMBRAPA40	1,052 a	65,12 a
TB951	0,742 b	55,99 b

* Médias acompanhadas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si, a 5%, pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Média observada, sem acamamento e com acamamento, para os caracteres rendimento de grãos (RG), peso do hectolitro (PH) e peso médio do grão (PMG). FAEM/UFPEL, Pelotas, RS, 2000.

ACAMAMENTO	RG (t ha⁻¹)	PH (kg hl⁻¹)	PMG (mg)
Sem acamamento	1,195 a	66,77 a	29,26 a
Com acamamento	0,599 b	54,34 b	23,53 b

* Médias acompanhadas da mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si a 5%, pelo teste de Tukey.

Tabela 4. Média observada na interação genótipo x acamamento para o caráter peso médio do grão (PMG). FAEM/UFPEL, Pelotas, RS, 2000.

Genótipo	PMG (mg)	
	sem acamamento	com acamamento
EMB 40	A 32,0 a	B 23,0 a
TB951	A 27,0 a	A 24,0 a

* Médias acompanhadas da mesma letra minúscula, na vertical e maiúscula, na horizontal, não diferem estatisticamente entre si a 5%, pelo teste de Tukey.

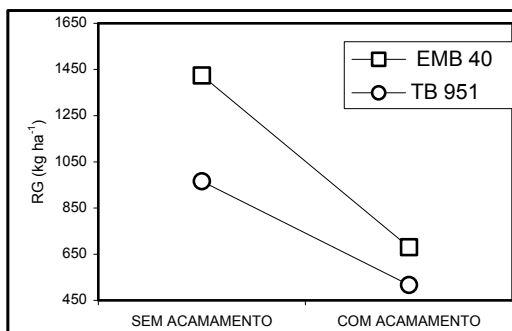


Figura 1. Interação G x E simples para o caráter rendimento de grãos em kg ha⁻¹ (dados originais). Pelotas, RS, 2000.

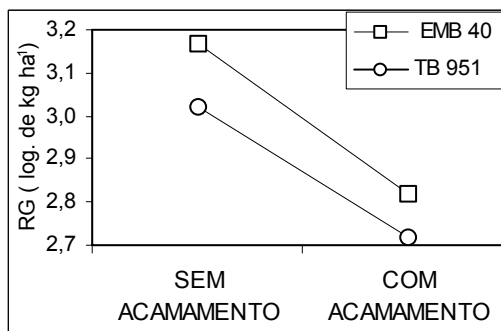


Figura 2. Ausência da interação para o caráter rendimento de grãos (dados transformados em log x). Pelotas, 2000.

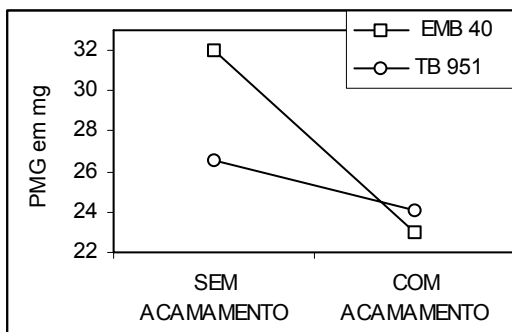


Figura 3. Interação complexa para o caráter peso médio do grão (PMG). Dados originais. Pelotas, RS, 2000

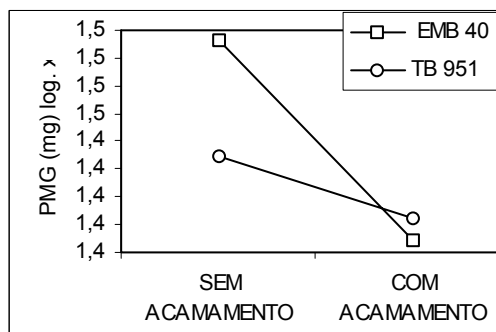


Figura 4. Interação complexa para o caráter peso médio do grão (PMG). Dados transformados em log. de x. Pelotas, RS, 2000

CAPÍTULO IV

Genetic dissimilarity among wheat genotypes for traits associated with lodging

(Trabalho submetido à revista *Journal of Genetics and Breeding*, editada em Roma, Itália)

GENETIC DISSIMILARITY AMONG WHEAT GENOTYPES FOR TRAITS ASSOCIATED WITH LODGING

Pedro Jacinto Cruz⁶ Fernando Irajá Felix de Carvalho⁷ Rosa Lia Barbieri⁸

Vanderlei da Rosa Caetano⁹ Simone Alves Silva¹⁰ and Volmir Sergio Marchioro⁵

ABSTRACT - Multivariate techniques were applied to evaluate the genetic divergence among 14 wheat genotypes. Fourteen selected traits were evaluated in a field experiment conducted at Pelotas, RS State, Brazil, using a randomised block design with four replications. Canonical variable analysis and cluster analysis using Tocher's agglomerative and hierarchical method (nearest neighbour) were applied. Generalized Mahalanobis distance (D^2) was used to measure dissimilarity. Significant genetic divergence among genotypes was found, indicating variability in various useful traits. TB951 and Rubí presented the highest divergence, whereas Rubí and BRS119 showed great similarity. Stem length, plant height, stem lodging resistance coefficient, peduncle length, ear length, stem index and second internode length were the traits responsible by the largest part of genetic divergence among genotypes, while last internode length, stem strength test, second

¹ Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Prof. Adjunto, Departamento de Fitotecnia, AGRUFBA. Aluno do Curso de Pós-Graduação em Genética e Biologia Molecular –UFRGS, RS. Bolsista da CAPES.

² Engenheiro Agrônomo, Ph.D. Professor do Departamento de Fitotecnia, UFPel. Pesquisador do CNPq. CP 354, 96001-970. Capão do Leão, RS. e-mail: carvalho@ufpel.tche.br. Autor para correspondência.

³ Dra. Professora Colaboradora do Departamento de Fitotecnia, UFPel.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Dr. Pesquisador da EMBRAPA/CPACT.

⁵ Engenheiro Agrônomo, Doutorando do Curso de Pós-Graduação da UFPel, Bolsista do CNPq.

internode diameter, last internode diameter and peduncle diameter were the traits that less contributed for dissimilarity.

Key words: *Triticum aestivum*, canonical variables, cluster analysis, dissimilarity measures.

INTRODUCTION

Genetic divergence is one of the most important parameters evaluated by plant breeders in starting a breeding program, mainly when the goal is to obtain transgressive segregants. Thereby, in breeding programs the choice of parents is a fundamental point to obtain populations with broad genetic basis to apply artificial or natural selection.

To develop a population for breeding, it is very important to assure the existence of a great deal of genetic variability at the beginning, by choosing genetically distant parents. Besides being genetically variable, this population must perform close to or above average for desirable traits, to reduce the time to reach breeding goals. Thus, high average and genetic variability for the trait to be selected are the needful conditions to obtain superior genotypes.

It is possible to make inferences over the specific combinatory ability (SCA), and, consequently, infer the heterosis, without using diallel crosses, which are difficult (CARVALHO, 1982). According to FERREIRA (1973), evaluations of genetic divergence before doing any cross can help breeders to concentrate their efforts only on more promising combinations, because heterosis showed by crosses is directly related to genetic divergence among the parents used. Multivariate techniques based on phenotypic information related to physiologic, morphological and agronomic differences of the parents

have been used with that purpose (SINGH *et al.*, 1981; CRUZ, 1990, MORAIS *et al.*, 1998).

This work was developed with the purpose to evaluate the genetic divergence among 12 bread wheat cultivars recommended for growing at Rio Grande do Sul State, Southern Brazil, during the 2000 agricultural year. Additionally, the cultivar IAC5 and the advanced line TB951, were included. Another goal was to identify which traits were the major contributors to the observed divergence.

MATERIAL AND METHODS

Lodging resistance and related traits were investigated in 14 representative bread wheat varieties in the South of Brazil. Genotypes evaluated in this work, their year of release and pedigrees are shown in Table 1. The experiment was carried out at Centro Experimental da Palma (CEP), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Universidade Federal de Pelotas (UFPel), at Rio Grande do Sul State, Southern Brazil.

Genotypes were sowed in the field, at June 15, 1999, without irrigation, using a randomised block design with four replications, and plots of three meters length and three lines per plot. Distance among lines was 0.3 meters, and the same distance was adopted among plants. The experiment was carried out with spaced plants because the technique of evaluation was developed to be applied in segregant population. This procedure permitted evaluation of isolated plants, excluding the effect of competition. Fertilizing was 300 kg.ha⁻¹ of NPK (5-20-20) and more 60 kg.ha⁻¹ of N added at tillering initiation. Weeds were pulled out by weeding, and ants were controlled by granulated baits. Phosdrin insecticide was used to control bugs, and Folicur fungicide was used to control fungal diseases.

Fourteen traits associated to lodging were observed, that are: stem lodging resistance coefficient (cLr), stem strength test (SST), plant height (PH), second internode length (SIL), last

internode length (LIL), peduncle length (PL), second internode diameter (SID), last internode diameter (LID), peduncle diameter (PD), basal stem weight (BSW), stem index (SI), ear length (EL), stem length (SL) and number of internodes (NI), according methodology proposed by ZUBER (1998) and CRUZ *et al.* (2001). The a was submitted to multivariate analysis of variance, and means were compared by Scott and Knott's test (SCOTT and KNOTT, 1974). Multivariate analysis of variance was conducted, using MANOVA procedure (SAS, 1988). Wilks's test was used to verify differences among mean values of the genotypes (JOHNSON and WICHERN, 1982).

Residual covariance matrix E and covariance matrix T were obtained by multivariate analysis. The canonical variables technique was applied (CRUZ and REGAZZI, 1994). Also, Tocher's agglomerative method according to RAO (1952) and for the nearest neighbor method, the generalized Mahalanobis distance (D^2) was used as dissimilarity measure.

The relative importance of each trait evaluated over genetic dissimilarity observed among genotypes was considered by analysis of the linear transformation coefficient to obtain canonical variables, as criteria used by MORAIS *et al.* (1998).

Softwares GENES (CRUZ, 2000) and SAS (1988) were used to perform the analyses.

RESULTS AND DISCUSSION

Table 2 shows experimental results submitted to Scott and Knott's test to compare means. This test is useful for breeders because it allows to distinguish genotype subgroups that differ significantly among them. Another procedure of multiple comparison usually used were criticized by JOLLIFFE *et al.* (1989) by their effect of put upon groups. For SILVA *et al.* (1999), Scott and Knott's test is a clustering method used as an alternative where multiple comparison procedures are applied, with the characteristic of not presenting ambiguity in the results. Due to the fact of possessing high power, type I error rate, to be in accordance with the nominal levels and for presenting results with absence of ambiguity, the use of Scott and Knott's test was preferred.

Results obtained from the study carried out by JOLLIFFE (1972; 1973) showed a clear differentiation of the best treatments, for having eliminated the ambiguity, which is an additional difficulty for the interpretation and for taking decisions.

Results showed by Table 2 evidence presence of variability among evaluated genotypes. A large number of significant differences was detected for trait stem lodging resistance coefficient (cLr), which presented four groups: “a”, “b”, “c” and “d”, while traits showing less variation were last internode diameter (LID), peduncle diameter (PD), stem length (SL), number of internodes (NI) and stem strength test (SST). The test did not detect any significant difference among genotypes in relation to SST. The significance obtained by multivariate analysis of variance, whose value for F statistics is 3.3, by Wilks’s method, with 182 degrees of freedom, according to JOHNSON and WICHERN (1982), was another result that confirmed the presence of genetic divergency among the wheat genotypes.

Scores of first three canonical variables, for each genotype, are shown in Table 3. The first three canonical variables explained around 80.45% of total variation (53% related to the first one, 21.86% related to the second one, and 11.51% related to the third one).

Figure 1 shows graphic dispersion of the 14 wheat genotypes over bidimensional space, using the first and the second canonical variables. Line TB951 was sharply distant from the others, forming a distinct unitary group. The second highest grade of dissimilarity suggested by Figure 1 was found between cultivar OR1 and the group composed by genotypes BRS179 and CEP24. The third highest grade of divergence occurred between cultivar OR1 and the group composed by genotypes FCEP29, BRS177 and BRS120. However, running a tridimensional analysis, in relation to the third canonical variable (Table 3), it became evident that the distances among genotypes were relatively similar, not changing the groups formed by the first and the second canonical variables.

Applying Tocher’s agglomerative (Table 4) and nearest neighbor (Figure 2) methods, two characteristic groups were obtained: the first one, formed only by line TB951, and the

second, composed by all other genotypes. This fact reinforced results obtained by analysis of canonical variables, when was evident that the TB951 showed large divergence compared to the remaining group.

Line TB951 present a plant architecture with high lodging resistance. It was developed by the fourth author of this work, at Centro Agropecuário de Clima Temperado, EMBRAPA (Brazilian Agricultural Research Center), located at Pelotas-RS, Southern Brazil. Its genetic divergence compared to the other genotypes, which were developed at Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, EMBRAPA, at Passo Fundo-RS, is intriguing (Tables 1). It would be expected to be close to BR23, which is one parent of this line, but it is not. The results agree with arguments presented by BARBOSA NETO *et al.* (1996), where authors did not find correlation among genetics and parentage coefficient. By Tocher's agglomerative method, an individual not yet assembled is excluded from a group in formation only if its mean distance in relation to this group does not exceed a presented value, which usually is assumed as the biggest element from the group composed by the smallest distance estimates involving each genotype in a group.

By using this approach, in the present work, the large divergence between TB951 and the other genotypes did not allow their separation in different groups. By the same way, graphic methods like the nearest neighbor are inefficient in this case, because the dendogram's differentiation capability depend on the adopted scale. The scale used on Figure 2 was highly reductionist, due the large estimates of D^2 involving TB951.

After that, and to avoid subjectivity of an arbitrary limit value in Tocher's agglomerative method, analysis were run again, but excluding line TB951. Such procedure allowed to change the influence of some traits in the estimate of dissimilarity measures. These traits were those that conferred a remarkable contrast between TB951 and the

remaining group, such as stem lodging resistance (cLr) and ear length (EL), as can be observed in Tables 3 and 4.

Table 4 shows the groups resulting from Tocher's method excluding TB951, where it can be observed an increase in the distance among groups, occurring the formation of three different groups. Cultivar OR1 composed an unitary group more distant from the other genotypes, and genotypes BRS177 and FCEP29 formed an intermediate group.

Table 5 allows to identify the traits that less contributed to the observed genetic divergency among the genotypes, by looking at the highest coefficients, in absolute values, associated in the last canonical variables. This approach, according to CRUZ and REGAZZI (1994), is based on the principle that one trait can be disposable if it is very important for a canonical variable which does not contribute or contribute just a little bit for the total variation. However, MORAIS *et al.* (1998) discussed the relevance in discarding a variable which can be relevant too for the first canonical variables, only because its ponderation coefficient used in the transformation of original variables for the last canonical variables are classified as the biggest. Stem length (SL) is a good example.

The plant height trait was not considered because it correlated at the level of 1.0 with the disposable variable stem length (SL), as shown in Table 6, besides being of habitual use in yield trials. According to CRUZ (1990), the trait that shows high coefficient of correlation with any other trait is considered redundant and, therefore, subject to discard. However, both traits can not be discarded, remaining the one whose evaluation is easier and/or present more variability.

Using the approach suggested by FERREIRA (1973), it was observed that the traits not correlated to the more important canonical variables, and so considered disposable, where: stem strength test (SST), last internode length (LIL), second internode length (SID), last internode diameter (LID) and number of internodes (NI), whose data are not shown.

Table 7 presents the way to identify the relative contributions of each trait for the observed divergence. Stem length (SL), plant height (PH), stem lodging resistance (cLr),

peduncle length (PL), ear length (EL), stem index (SI) and second internode length (SIL) contributed with 80% of the total distance. Among these seven traits, PH, PL, SI and SL, were highly interdependent or redundant. The seven remaining traits showed small estimates of their relative contribution, being not, therefore, important for evaluating the general divergence among genotypes. Considering 13 genotypes, excluding line TB951, Table 7 shows that ear length (EL) decreases its importance in differentiating genotypes, changing from 9.2 to 1.3%. This can be explained by reduction of variability of this trait after TB951 exclusion, because ear length of that line is bigger than ear length of the remaining group, as shown by Table 2. An inverse phenomenon can be observed for the trait stem index (SI), which increased from 7.3 to 13.2%.

Consequently, all analysis methods used in this work were efficient to determine genetic dissimilarity among wheat genotypes. Line TB951 and cultivar RUBÍ were the genotypes that showed the highest genetic dissimilarity. By the other hand, OR1 and RUBÍ were the more divergent genotypes once the line TB951 was excluded from the analysis.

Stem length (SL), plant height (PH), stem lodging resistance coefficient (cLr), peduncle length (PL), ear length (EL), stem index (SI), and second internode length (SIL) were responsible for 80% of the genetic divergence observed among the fourteen bread wheat genotypes.

REFERENCES

- BARBOSA NETO, J.F., SORRELLS, M.E. and CISAR, G., 1996. Prediction of heterosis in wheat using coefficient of parentage and RFLP – based estimates of genetic relationship. *Genome*.39: 1142-1149.
- CARVALHO, F.I.F. de, 1982. Genética quantitativa. In: E.A. OSÓRIO ed., *Trigo no Brasil*, Fundação Cargill, São Paulo, pp. 63-94.

- CRUZ, C.D. and REGAZZI, A.J., 1994. Divergência genética. In: C.D. CRUZ and A.J. REGAZZI eds., *Métodos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. UFV: Imprensa Universitária, Viçosa, pp. 287-324.
- CRUZ, C.D., 1990. *Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas*. ESALQ, Piracicaba, 188p. Tese de Doutorado.
- CRUZ, C.D., 2001. *Programa Genes: Aplicativo computacional em genética e estatística*. Editora UFV, Viçosa, 648p.
- CRUZ, P.J., CARVALHO, F.I.F., CAETANO, V.R., SILVA, S.A., KURECK, A.J. and BARBIERI, R.L., 2001. Caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo. *Ciência Rural*, 31: 627-637.
- FERREIRA, D.F., 1973. *Métodos de avaliação da divergência genética em milho e suas relações com os cruzamentos dialélicos*. UFLA, Lavras. Master's thesis.
- JOHNSON, R.A. and WICHERN, D.W. 1982. *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice-Halls, Englewood Cliffs. 594 p.
- JOLLIFFE, I.T. 1972. Discarding variables in a principal component analysis. I. Artificial data. *Applied Statistics* 21: 160-173.
- JOLLIFFE, I.T. 1973. Discarding variables in a principal component analysis. I. Real data. *Applied Statistics* 22: 21-31.

- JOLLIFFE, I.T., ALLEN, O.B. and CHRISTIE, B.R., 1989. Comparison of variety means using cluster analysis and dendrograms. *Experimental agriculture*: 25: 259-269.
- MIRANDA FILHO, J.B., 1974. *Cruzamentos dialélicos e síntese de compostos de milho (Zea mays L.), com ênfase na produtividade e no porte da planta*. ESALQ, Piracicaba, 116p. Tese de Doutorado.
- MORAIS, O.P., SILVA, J.C., CRUZ, C.D, REGAZZI, A.D. and NEVES, P.C.F., 1998. Divergência genética entre os genitores da população de arroz irrigado CNA-IRAT 4. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 28: 150-158.
- RAO, R.C., 1952. *Advanced statistical methods in biometric research*. John Wiley, New York. 390p.
- SAS Institute Inc. 1988. SAS/STAT user's guide. Release 6.03 ed. SAS Institute Inc, Cary, NC.
- SCOTT , A. J. and KNOTT, M.A., 1974. Cluster analysis methods for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30: 507-512.
- SILVA, E.C. da, FERREIRA, D.F. and BEARZOTI, E., 1999. Avaliação do poder e taxas de erro tipo I do teste de Scott-Knott por meio do método de Monte Carlo. *Ciência Agrotécnica*, 23: 687-696.
- SINGH, D., 1981. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *The Indian Journal of Genetics & Plant Breeding*, 41: 237-245.

ZUBER, U., WINZELER, M., MESSMER, M.M., KELLER, B., SCHMID, J.E and STAMP, P., 1998. Morphological traits associated with lodging resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 182:17-24.

TABLE 1. Pedigrees and year of release year of the evaluated wheat genotypes. FAEM/UFPel, Pelotas, RS. 1999

Genotype	Releasing year	Pedigree
BRS179	1999	BR 35/PF 8596/3/PF772003*2/PF 813//PF83899
EMB40	1995	PF 7650/NS18-78//CNT 8/PF7577
CEP24	1992	BR 3/ CEP7887//CEP 7775/CEP 11
IAC5	1966	FRONTANA/KENYA 58//PG 1
RUBÍ	1998	PF 869107/KLEIN H3450C3131
BRS77	1999	PF 83899/PF813//F27141
BRS120	1998	PF 83899/PF813//F27141
BRS119	1998	PF 82252/BR 35//IAPAR 17/PF8550
BR18	1986	D6031/NAINARI60//WEIQUE/RED MACE/3/CIANO*2/CHRIS, ALD SIB
BRS49	1996	BR 35/PF 83619//PF858/PF 8550
BR23	1987	CORRE CAMINOS/ALONDRA SIB/3/IAS 54 - 20/COTIPORÃ//CNT 8
FCEP29	1997	BR 23/CEP8423//BUC SIB
OR 1	1996	EMBRAPA 27 SIB/BAGULA SIB
TB951*	-	TB 108 // BR 23 * 2/PF 869114

* not released yet in commercial scale

TABLE 2. Stem lodging resistance coefficient (SLR), stem strength test (SST), plant height (PH), second internode length (SIL), last internode length (LIL), peduncle length (PL), second internode diameter (SID), last internode diameter (LID), peduncle diameter (PD), basal stem weight (BSW), stem index (SI), ear length (EL), stem length (SL) and number of internodes (NI) evaluated to estimate genetic divergency among 14 wheat genotypes. FAEM/UFPel, Pelotas, RS. 1999

Genotype	E v a l u a t e d T r a i t s													
	SLR (cg/cm)	SST (N)	PH (cm)	SIL (cm)	LIL (cm)	PL (cm)	SID (mm)	LID (mm)	PD (mm)	BSW (mg/cm)	SI (%)	EL (cm)	SL (cm)	NI (un)
BRS179	31 d	0.4 a	85 a	8 b	15 b	44 a	3.6 c	4.1 a	3.4 a	268 b	4.8 c	10 b	75 b	4.1 b
EMB40	22 d	0.5 a	82 a	10 a	18 a	36 b	3.8 b	4.1 a	2.8 a	217 c	5.4 c	11 b	71 b	4.3 a
CEP24	30 d	0.5 a	92 a	10 a	19 a	42 a	3.7 c	4.0 b	3.2 a	287 b	4.5 c	10 b	82 a	4.3 a
IAC5	32 d	0.4 a	86 a	10 a	19 a	38 b	3.7 c	4.1 a	3.1 a	264 b	4.9 c	10 b	75 b	4.4 a
RUBÍ	30 d	0.5 a	75 b	10 a	18 a	32 c	3.6 c	3.8 b	2.8 b	197 c	5.4 c	9 c	66 b	4.3 a
BRS177	52 b	0.5 a	82 a	10 a	19 a	37 b	3.6 c	3.7 b	3.1 a	215 c	5.1 c	11 b	71 b	4.1 b
BRS120	37 c	0.5 a	81 a	10 a	18 a	36 b	3.6 c	3.7 b	3.1 a	244 c	5.2 c	11 b	70 b	4.2 b
BRS119	29 d	0.5 a	75 b	9 b	17 b	34 b	3.7 c	3.9 b	2.9 b	191 c	5.6 c	9 c	66 b	4.3 a
BR18	39 c	0.5 a	68 c	8 b	14 b	31 c	3.6 c	3.9 b	2.7 b	235 c	6.2 b	9 c	59 c	4.4 a
BRS49	32 d	0.5 a	84 a	10 a	20 a	33 c	3.6 c	4.0 b	2.9 b	294 b	4.9 c	9 c	75 b	4.5 a
BR23	41 c	0.5 a	78 a	9 b	18 a	35 b	4.2 a	4.3 a	3.1 a	225 c	6.2 b	11 b	68 b	4.2 a
FCEP29	56 b	0.4 a	72 b	8 b	15 b	35 b	4.1 a	4.3 a	3.3 a	233 c	6.5 b	9 c	63 b	4.1 b
OR1	43 c	0.5 a	60 d	8 b	15 b	23 d	3.9 b	4.1 a	2.3 b	168 c	7.6 a	9 c	51 b	4.0 b
TB951	73 a	0.6 a	69 c	6 c	12 c	30 c	3.9 b	4.3 a	3.3 a	370 a	7.2 a	14 a	55 b	4.1 b
CV(%)	15.59	21.51	6.88	10.4	10.34	8.04	5.73	6.07	7.21	17.57	12.23	8.84	7.65	4.67

Means followed by the same letter, in the same column, do not differ significantly by Scott & Knott's test, at 5% of probability.

TABLE 3. Scores of the first three canonical variables obtained by evaluation of genetic divergence among wheat genotypes. FAEM/UFPel, Pelotas, RS. 1999

Genotype	Canonical variables		
	1st	2nd	3rd
BRS 179	2.28	9.33	19.42
EMB 40	2.87	2.85	21.92
CEP 24	1.97	7.57	21.53
IAC 5	3.58	6.26	20.31
RUBÍ	4.18	4.35	17.71
BRS 177	7.44	6.22	20.65
BRS 120	5.22	5.57	20.35
BRS 119	4.28	5.14	17.69
BR 18	5.31	6.32	17.14
BRS 49	3.58	6.17	19.17
BR 23	7.17	5.44	19.90
FCEP 29	9.28	9.37	16.67
OR 1	9.59	1.72	17.51
TB 951	16.39	6.97	21.78
Variance	14.91	4.48	3.24
Variance (%)	53.00	15.94	11.51
accumulated variance (%)	53.00	68.94	80.45

TABLE 4. Grouping of wheat genotypes using generalized Mahalanobis distance and Tocher's agglomerative method. FAEM/UFPeI, Pelotas, RS. 1999

Analysis including line TB 951	
I	RUBÍ, BRS119, BR18, BRS120, IAC5, BRS49, BR23, BRS177, EMB40, CEP24, BRS179, FCEP29, OR1
II	TB951
Analysis excluding line TB 951	
I	RUBÍ, BRS119, BR18, BRS120, IAC5, BRS49, CEP24, EMB40, BRS179, BR23
II	BRS177, FCEP29
III	OR1

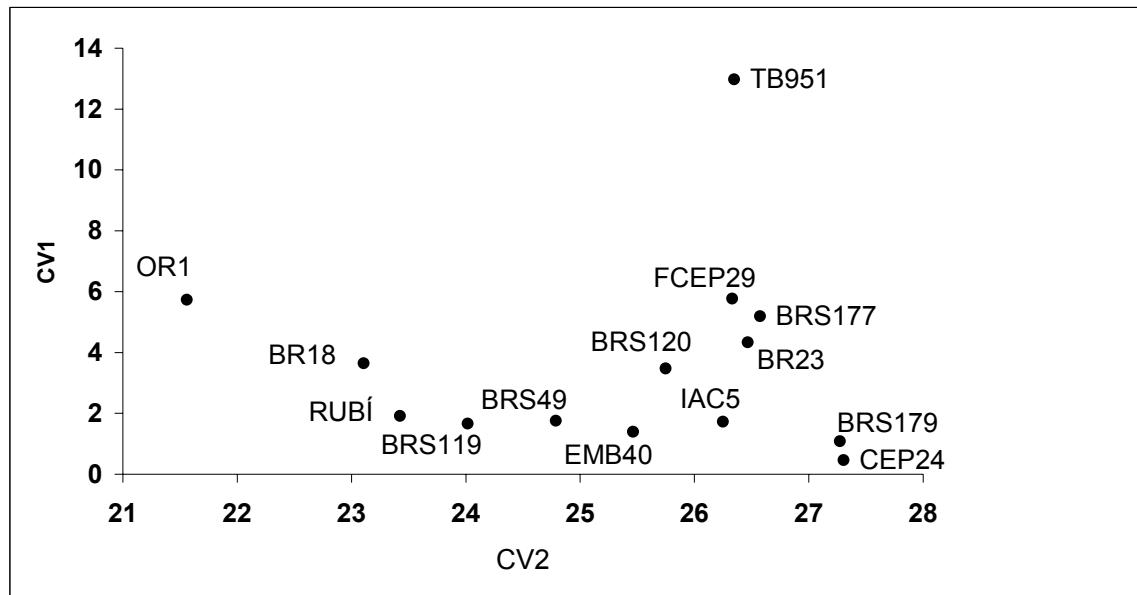


FIGURE 1. Dispersion of scores related to the firsts two canonical variables from 14 wheat genotypes (CV_1 and CV_2).

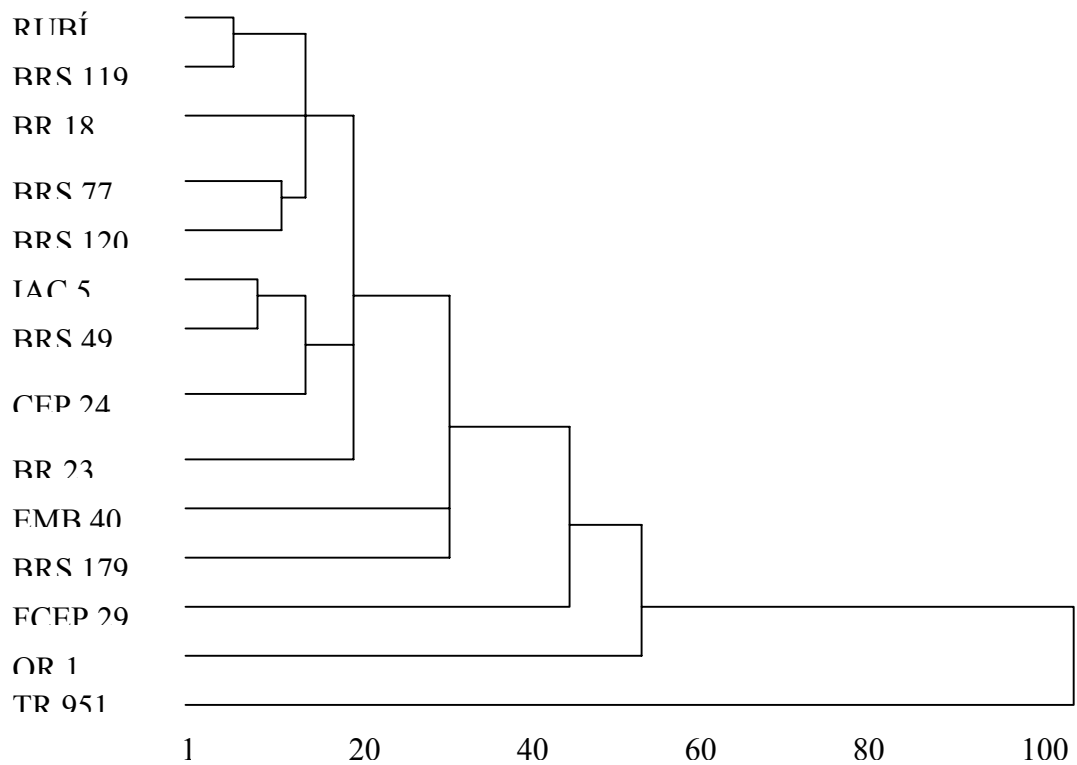


FIGURE 2. Dendrogram showing genetic divergence among 14 wheat genotypes, obtained by hierarchical method (nearest neighbour), using D^2 as dissimilarity measure.

TABLE 5. Ponderation coefficient for the traits: stem lodging resistance coefficient (cLr), stem strength test (SST), plant height (PH), second internode length (SIL), last internode length (LIL), peduncle length (PL), second internode diameter (SID), last internode diameter (LID), peduncle diameter (PD), basal stem weight (BSW), stem index (SI), ear length (EL), stem length (SL) and number of internodes (NI) used to obtain canonical variables (CV), accumulate variances (Ac.Var. in %) explained by VC and indication of descartable variables (Desc. Var.). Analysis including line TB951.

CV	cLr	SST	PH	SIL	LIL	PL	SID	LID	PD	BSW	SI	EL	SL	NI
1	0.91	0.12	-2.94	-1.19	0.56	-1.19	-0.19	0.03	0.56	-0.56	0.96	1.09	4.08	-0.55
2	0.48	-0.09	1.53	-0.42	-0.43	0.30	0.39	-0.12	0.71	0.68	-0.56	-1.26	-1.19	0.05
3	0.02	0.23	-1.61	0.34	0.35	1.21	-0.01	-0.12	-1.46	0.30	0.63	1.56	1.46	-0.05
4	0.02	-0.15	-0.76	-0.45	0.92	-0.74	0.79	0.05	0.92	-0.36	0.34	-0.12	1.60	-0.17
5	-0.03	0.01	-4.46	-0.23	0.29	-0.63	-0.18	0.53	0.17	0.59	-0.21	0.49	4.58	0.45
6	-0.08	-0.07	0.59	0.35	-0.30	-0.31	1.56	0.10	0.40	-0.20	-3.78	0.29	-3.32	0.86
7	0.29	0.00	-3.90	0.39	0.53	1.02	0.36	-1.23	-0.49	0.56	0.19	0.41	2.66	0.03
8	0.07	-0.23	-10.05	0.40	-0.47	0.92	0.85	-0.39	-0.88	0.16	-0.34	1.81	9.03	0.21
9	-0.15	0.67	-4.17	-0.47	-0.85	-0.87	0.42	-0.74	0.21	-0.29	0.67	0.70	6.26	-0.54
10	0.16	0.58	3.04	0.73	-0.40	0.75	0.33	0.02	-0.61	0.22	-0.15	-0.56	-3.72	0.40
11	-0.25	-0.26	0.49	-0.52	0.79	0.56	0.45	-0.77	-0.12	0.58	0.61	-0.16	-0.99	0.03
12	-0.13	-0.24	0.56	1.76	-1.41	-0.29	0.17	-0.34	0.39	0.37	0.12	-0.20	-0.71	0.13
13	-0.11	0.21	-2.29	0.15	0.92	0.68	-1.04	0.30	0.62	-0.23	1.41	0.34	1.59	0.23
14	0.09	-0.38	4.01	0.41	-0.86	-0.44	-0.13	-0.17	0.03	-0.31	0.67	-0.45	-2.83	0.74
Desc. Var.		7 ^a		2 ^a	3 ^a		5 ^a	6 ^a	4 ^a				1 ^a	8 ^a

TABLE 6. Genetic correlations among traits: stem lodging resistance coefficient (cLr), plant height (PH), second internode length (SIL), last internode length (LIL), peduncle length (PL) and second internode diameter (SID), last internode diameter (LID), peduncle diameter (PD), basal stem weight (BSW), stem index (SI), ear length (EL), stem length (SL) and number of internodes (NI)¹

	cLr	PH	SIL	LIL	PL	SID	LID	PD	BSW	SI	EL	SL	NI
cLr		-0.5	-0.8	-0.7	-0.4	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	0.6	-0.6	-0.8
PH	-0.4		0.8	0.7	0.9	-0.3	-0.2	0.5	0.3	-0.9	0.1	1.0	0.6
SIL	-0.4	0.8		1.0	0.5	-0.2	-0.5	-0.1	-0.2	-0.8	-0.3	0.8	0.8
LIL	-0.4	0.7	1.0		0.4	-0.2	-0.4	-0.1	-0.2	-0.7	-0.3	0.8	0.8
PL	-0.3	0.9	0.4	0.3		-0.3	-0.1	0.7	0.3	-0.9	0.1	0.9	0.3
SID	0.6	-0.3	-0.2	-0.1	-0.3		0.8	0.2	-0.1	0.6	0.3	-0.4	-0.7
LID	0.2	-0.1	-0.3	-0.3	0.0	0.8		0.3	0.4	0.5	0.4	-0.3	-0.4
PD	0.1	0.8	0.2	0.2	0.9	0.1	0.2		0.7	-0.4	0.6	0.4	-0.1
BSW	-0.2	0.9	0.6	0.6	0.9	-0.4	0.1	0.7		-0.1	0.8	0.2	0.3
SI	0.6	-0.9	-0.7	-0.6	-0.9	0.6	0.4	-0.7	-0.9		0.1	-1.0	-0.9
EL	-0.1	0.8	0.8	0.6	0.8	0.2	0.1	0.6	0.3	-0.6		-0.1	-0.5
SL	-0.5	1.0	0.8	0.7	0.9	-0.3	-0.1	0.7	1.0	-0.9	0.7		0.7
NI	-0.8	0.5	0.7	0.7	0.2	-0.7	-0.2	0.1	1.0	-0.8	-0.3	0.6	

¹ Analysis including line TB 951 are above the diagonal and excluding line TB 951 are below the diagonal.

TABLE 7. Relative contribution (%) of each trait for genetic divergency among wheat genotypes based on S statistics (Singh, 1981).

trait	abbreviati on	contribution (%) including line TB 951	contribution (%) excluding line TB 951
stem lodging resistance coefficient (%)	cLr	12.7	14.5
stem strength test (N)	SST	0.4	0.1
plant height (cm)	PH	17.6	18.1
second internode length (cm)	SIL	6.7	2.7
last internode length (cm)	LIL	0.3	2.4
peduncle length (cm)	PL	11.8	13.7
second internode diameter (mm)	SID	0.4	1.3
last internode diameter (mm)	LID	1.1	1.2
peduncle diameter (mm)	PD	1.2	0.5
basal stem weight (mg)	BSW	1.5	4.4
stem index (mm)	SI	7.3	13.2
ear length (cm)	EL	9.2	1.3
stem length (cm)	SL	27.5	24.5
number of internodes (un)	NI	2.1	2.3

CAPÍTULO V

Genetics of Lodging Resistance in Wheat

(Artigo a ser submetido à revista Journal of News Seeds, editada em New York)

Genetics of Lodging Resistance in Wheat

Pedro Jacinto Cruz, Fernando Irajá Félix de Carvalho, Simone Alves Silva, Vanderlei da Rosa Caetano, Rosa Lía Barbieri, Antonio Costa de Oliveira

ABSTRACT – The knowledge of the inheritance of lodging resistance may be of great value to improve new wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). Crosses among four different bread wheat genotypes were evaluated on the field. The analysis was based on three fixed (P_1 , P_2 and F_1) and three segregating (F_1 , BC_1F_1 and BC_2F_1) generations. Means and variances were computed for each generation in all crosses. Nature and effects of the genes involved were estimated. The lodging resistance factor method (cLr) was measured. Partial or complete dominance of the lodging susceptible parent over the lodging resistant one in each cross was evident. Results showed a large genetic variability among the genotypes.

KEYWORDS - lodging resistance factor method (cLr), generation means, heritability, quantitative genetics, gene action, variances, *Triticum aestivum* L.

Pedro J. Cruz is professor at Universidade Federal da Bahia, Escola de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, CEP 44380-000, Bahia, Brazil

Fernando I.F. de Carvalho, Antonio C. de Oliveira and Vanderlei da R. Caetano are professors, Simone A. Silva and Rosa L. Barbieri are post-doc at Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de Fitotecnia, Caixa Postal 571, CEP 96010-900, Pelotas, RS, Brazil

Address correspondence to: Fernando Irajá Félix de Carvalho at the above address.

INTRODUCTION

Lodging caused by severe storms, high soil fertility, or delayed harvest, frequently results in serious small grain losses. It has been a major problem in agriculture since a long time ago and an interesting subject for many agronomists (Watanabe, 1997).

The incidence of lodging in wheat has decreased in Southern Brazil due to the development of cultivars with improved lodging resistance. Despite this progress, major yield losses caused by lodging continue to occur because of intensive agricultural practices that demand high plant population densities and fertilization rates (Cruz et al., 2001). Thus, selection for lodging resistance remains of primary importance to breeders. However, nowadays, very little attention has been given to lodging in wheat, specially in relation to its inheritance.

Direct selection for lodging resistance in wheat is ineffective due to a dependency on environmental conditions that allow differentiation among genotypes (Cruz et al., 2001). Several methods of evaluating the lodging resistance in small grain varieties have been proposed. The lodging resistance factor method (cLr) measures the force or weight that a unit length of stem will support (Murphy et al., 1958). The cLr method has high heritability and is controlled primarily by additive gene action, and has been proposed as an indirect criteria of selection because it is correlated with lodging resistance (Watanabe, 1997).

The present study aimed to determine the mode of inheritance and heritability of lodging resistance in wheat as measured by the cLr method.

MATERIAL AND METHODS

Four wheat genotypes (Table 1) and their F_1 , F_2 , BC_1F_1 and BC_2F_1 were evaluated.

The non-segregating and segregating populations were established individually, distributed in random blocks at a distance of 0.30 m between rows. Rows were 3 m long and plants were spaced 0.30 m apart within the same row, keeping plant density no larger than 10 plants per row. The experimental area was prepared through tilling and harrowing, and the fertilizers used were urea [$CO(NH_2)_2$] and potassium chloride (KCl) spread by casting. Initially 1/3 of the urea doses were applied at sowing and 2/3 in coverage, during the first weeding, 40 days after crop emergence. The pH was corrected using approximately 3 t ha^{-1} of dolomite limestone, based on recommendations by the Southern Brazilian Wheat Research Committee, 1999.

The lodging resistance factor method (cLr) was evaluated approximately 25 days after anthesis, evaluating the three tillers more developed in each plant, where $cLr = F / b$, being F = the weight (g) of the part that was suspended by a chain weighting 0.5g per ring and with two rings per cm, fixed to the ear base, and b = the stem length (cm), measured from soil surface to the ear base.

The cLr value is the chain weight divided by stem length. The chain weight is the product of the weight of one ring times the number of rings attached to the ear base of the plant. The measurement is made when the chain weight balances with the bending strength of the stem. The appropriate measurement stage is estimated to be

between 30 to 40 days after heading time, because lodging resistance is relatively less changeable at this stage (Watanabe, 1997).

Distribution of frequencies for the data from cLr were applied in each generation from all crosses, obtained by the interval of seven grams, with the purpose of estimating genetic action and number of genes involved in the control of the trait through biometrical studies. An adjustment of obtained distributions was achieved through applications of chi-square test (Steel & Torrie, 1980). Means and variances were calculated for each generation from the frequency of observed values. Some genetic parameters were estimated: phenotypic (σ^2_P), environment (σ^2_E), genetic (σ^2_G), dominance (σ^2_D) and additive (σ^2_A) variances, as well as broad sense (h^2_a) and narrow-sense (h^2_r) heritabilities, according Allard (1960) and Carvalho (1982).

Genetic effects were tested in all crosses, through the technique described by Cavalli (1952), apud Mather & Jinks (1982), known as the set scale test. By this method, were estimated the parameters mean [m], additivity [a] and dominance [d], as well as the interactions aa, ad and dd, from the means of all studied crosses, followed by comparison of observed and expected means from the chi-square test (χ^2), for confirming the results.

RESULTS AND DISCUSSION

The bread wheat germplasm evaluated, composed by three fixed (P_1 , P_2 and F_1) and three segregant generations (F_2 , BC_1F_1 and BC_2F_1) in six different crosses among genotypes EMB40, TB429, TB951 and TB961, allowed a complete analysis for the trait lodging resistance factor method (cLr) (Table 1).

The wheat genetic constitutions used in the crosses, with different responses to induced lodging in plants by the cLr method, showed two aspects of great

importance for breeders. First, segregation for the trait was observed in generations F_2 , BC_1F_1 and BC_2F_1 . Second, there were some evidences of complete dominance of the trait among plants that constitute the fixed generation F_1 . Therefore, it can be assumed that there is genetic variability for this trait.

All crosses involving the genotype EMB 40, which has the largest lodging susceptibility, allowed the application of a truncation point between the classes 28 g m^{-1} e 35 g m^{-1} . As a consequence, it was possible to establish frequencies of individuals with higher susceptibility for the trait ($<35 \text{ g m}^{-1}$) in relation to individuals of higher resistance ($>35 \text{ g m}^{-1}$), these results correspond to 75% of lodging susceptible plants and 25% lodging resistant in the F_2 generation, reaching a proportion of 3:1 (Table 2). Moreover, proportions of 1:1 and 1:0, were observed in backcross generations BC_1F_1 and BC_2F_1 , respectively. Therefore, the hypothesis of only one gene with two alleles controlling the lodging these in this four wheat genotypes is acceptable, comparing to a chi-square test varying from 0.48 to 1.00 (Table 3).

Crosses that not involved the parent EMB 40 also showed genetic variability regarding means and variances estimated for segregant generations (F_2 , BC_1F_1 and BC_2F_1) relative to the values obtained for the fixed generations (P_1 , P_2 and F_1), except in the cross TB951 x TB961 (Table 2). Thus, these two genotypes probably do not have differences for the trait lodging, indicating that both have the same resistance genes. Consequently, these two genotypes can not express segregation in generations F_2 , BC_1F_1 and BC_2F_1 . There are evidences that in the crosses TB961 x TB429 and TB951 X TB429 the susceptible phenotype is strongly expressed by dominant alleles. Applying the truncation point between classes 49 and 56 g m^{-1} made possible to establish groups of plants susceptible and resistant in the crosses

involving TB951 and TB961 with TB429. According to this criterion it was possible to determine the frequency of plants with the higher grade of lodging resistance ($> 56 \text{ g m}^{-1}$) and those with the minor grade ($< 56 \text{ g m}^{-1}$), allowing the establishment of a relation around 75% of lodging susceptible plants and 25% of lodging resistant in the generation F_2 , or a proportion of 3:1 (Table 2). Backcross populations BC_1F_1 and BC_2F_1 showed proportions of 1:1, and 1:0, respectively (Table 2). Consequently, the hypothesis of one gene with two alleles can also be attributed to differences in the expression of the lodging trait for these two crosses (TB951 x TB429 and TB961 x TB429) considering the support evidenced by the chi-square test, which varied from 0.53 to 1.00 (Table 3).

This hypothesis of one gene with two alleles for the control of the lodging trait has support only when analyzing each cross individually, because a group of plants with intermediate phenotypes for lodging was observed, mainly in the crosses TB951 x EMB40 and TB961 x EMB40 in the F_2 , BC_1F_1 , and BC_2F_1 generations. Moreover, segregant generations F_2 , BC_1F_1 , and BC_2F_1 of the crosses TB951 x TB429 and TB951 x TB429 showed groups of plants with lodging susceptibility like EMB40. For this reason, the hypothesis of one gene with two alleles is not fitted for all crosses. Consequently, a new hypothesis needs to be formulated, with two independent genes with two alleles each to controlling the lodging trait in wheat. This hypothesis can explain the intermediate group of plants arising from the crosses TB951 x EMB40 and TB961 x EMB40 and also from those involving TB429 as a genitor. In the first two crosses, two truncation points were needed among classes 28 and 35, and 49 and 56 m^{-1} (Table 2). This fact allows the proposal of 12:3:1 in the F_2 generation, 2:1:1 in BC_1F_1 and 1:0:0 in BC_2F_1 . This proposal had to fit a chi-square test, varying from 0.70 to 1.00 of probability for BC_1F_1 and BC_2F_1 respectively. Therefore, the

phenotypic proportions of the expected classes in F_2 , BC_1F_1 and BC_2F_1 , as well as the respective probabilities from the chi-square test (Tables 2 and 3) agree with the hypothesis that genotype EMB40 has two independent genes with dominant alleles for lodging susceptibility (genetic constitution *AABB*). On the other hand, genotypes TB951 and TB961 must have two independent genes with recessive alleles (genetic constitution *aabb*) for stem lodging resistance in wheat. The intermediate answer expressed by genitor TB429 may be due to the presence of two genes with two alleles, being one locus recessive and the other one dominant (genetic constitution *aaBB*).

The analysis of frequency distribution of fixed and segregant generations from each cross (Table 2) allowed one to formulate the hypothesis over number of genes by which genotypes differ in relation to cLr. This is very important to breeders because it establishes the size of the initial population and the best moment to use the maximum of artificial selection pressure.

The phenotypic proportions of classes of cLr expected from generations F_2 , BC_1F_1 and BC_2F_1 as well as respective probabilities obtained by the chi-square test are presented on Table 3.

The cross TB951 x TB961 does not evidence any discontinuity or transgressive segregation in F_2 . The F_2 distribution was also consistent with those verified for respective backcrosses ($p=1.00$). These observations suggest *AABB* as the putative genetic constitution of parents, agreeing with results obtained in the crosses above.

The highest values of phenotypic variances were observed in the crosses of resistant genotypes TB951 and TB961 with the susceptible EMB40 (Table 4). The smaller value was verified in the cross between resistant genotypes TB951 and TB961, possibly with the same genetic constitution.

Values observed for environmental variance were of low magnitude when compared with values of phenotypic variance in all crosses, except to the cross involving resistant genotypes where both phenotypic and environmental variances were very low and similar. These data characterize one high correlation between phenotypic and genetic variances and, consequently, high values for heritability, except for the cross TB951 x TB961.

In relation to the genetic effects, estimated by Mather & Jinks' (1971) method, Table 5 shows that the dominance effect was superior than the additivity effect in the cross TB429 x EMB40. However, additivity revealed its contribution for genetic variance in the other crosses, except for TB951 x TB961 where genetic variance was not observed due to the lack of genetic differences between parents for cLr trait.

In all crosses the non-significant values of chi-square statistics (Table 5) suggest that an additive-dominance model is enough to explain variances for this trait.

Presence of one or two major genes controlling the trait was evident from analysis of frequency distribution through generations in each cross. Genotypic differences were not detected among resistant genotypes. However, a difference of only one gene with two alleles was detected between the resistant genotypes and the intermediate, and between the intermediate and the susceptible genotype. A difference of two genes was detected between the resistant and the susceptible genotypes.

Thus, the presence of only one dominant allele *A* would be enough to express lodging susceptibility, while to have an intermediate answer it would be necessary to lack the dominant allele *A* and have the dominant allele *B*. By this way, to express lodging susceptibility, it would be only necessary the presence of dominant allele *A*.

Consequently, from global data analysis, it was possible to suggest one hypothesis for genetic constitution of genitors in relation to the cLr trait, as shown in Table 6. This hypothesis express the variability among analyzed genotypes, corroborated by the significant difference of cLr mean values among genitors, as well as by the high values observed for genetic variance (Table 5).

The evaluation of the genetic merit of an genotype, based on its phenotype, is not very accurate in cases where the heritability of the trait is low. However, the accuracy of selection may be increased by using an average of several phenotypic records, since the variance of an average of n records decreases when n increases and also brings the value of the average being near of genotypic value, increasing the heritability. In this case, it is important to observe the unit used to obtain the variances, if individuals or average. Actually, heritability is important to predict the gain with selection, so, the unit must be the same as the one applied for selection (Carvalho et al., 2002).

Heritability obtained in the present work for trait cLr was relatively high, however, it was obtained from averages of three repetitions within the same plant (cLr value for each plant was the mean of observations in the three more developed tillers).

Many studies, conducted in Japan with rice, had reported high heritabilities for the cLr trait, even when heritability was estimated in individual level (Ramiah and Dharmalingam, 1934; Ito, 1965; Yagi, 1983; Horiuchi and Mizuno, 1980). However, in oat, Brown and Patterson (1992), have found low values for heritability of the cLr trait. Watanabe (1997) reported that although there are few genetic analyses to determine the mode of inheritance of lodging resistance in rice plants, the results so far obtained have revealed that the number of genes controlling lodging resistance is limited, and that heritability values for lodging resistance is lower than those for

heading time and stem length, but higher than those for number of panicles and yield, implying that the selection for lodging tends to be effective.

REFERENCES

- Al-Qaudhy, W., Morris, R., Mumm, R.F. and Hanna, M.A. (1988). Chromosomal locations of genes for traits associated with lodging in winter wheat. *Crop Science* 28: 631-635.
- Brown, C.M., Patterson, F.L. (1992). Conventional oat breeding. In *Oat Science and Technology* Marshall, ed. M.E. Sorrells, Binghamton, NY: The Haworth Press, inc., pp.613-656.
- Carvalho, F.I.F. de, Qualset, C.O. (1978) Genetic variation for canopy architecture and its use in wheat breeding. *Crop science* 18:561-567.
- Carvalho, F.I.F. de. Genética quantitativa. (1982). In *Trigo no Brasil*. Ed. E.A. Osório, São Paulo: Fundação Cargil, pp.63-94.
- Carvalho, F.I.F., Silva, S.A. Kureck, A.J., & Volmir, S.M. (2001). *Estimativa e implicações da herdabilidade*. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária, UFPel, 99 p.
- Cruz, P.J., Carvalho, F.I.F., Caetano, V.R., Silva, S.A., Kureck, A.J. and Barbieri, R.L. (2001). Caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo. *Ciência Rural* 31:563-568.
- Grafius, J.E., Brown, H.M. (1954). Lodging resistance in oats, *Agronomy Journal* 46:414-418
- Mather, S.K. & Jinks, J.L. 1982. *Biometrical genetics*. Cambridge: University Press. 3 ed., 396p.

Murphy, H.C., Peter, F., Frey, K.J. (1958). Lodging resistance studies in oats. *Agronomy Journal* 50:609-611.

Reunião da Comissão Sul-Brasileira de Pesquisa de Trigo. (1999), Pssso Fundo, RS, 86 p.

Watanabe, T. (1997). Lodging resistance. In *Science of the rice plant*. Vol. III Genetics. Edit T. Matsuo, F. Futsuhara and H.Yamaguchi. Food and Agriculture Policy Research Center, Tokyo: pp.567-577.

TABLE 1. Genealogy of wheat genotypes evaluated. FAEM/UFPel, Pelotas, RS. 2000

Genotype	Genealogy
TB 951	TB 108 // BR 23 * 2/PF 869114
TB 966	D-1TB-1TB
TB 429	B-1TB-1TB
EMB 40	PF 7650/NS18-78//CNT 8/PF7577

SOURCE: Laboratório de Fitotecnia, CPACT/EMBRAPA.

TABLE 2. Frequency distribution, number of individuals (N), means (\bar{X}) and variances (σ^2) for the lodging resistance factor method (cLr) in three non-segregating (P_1 , P_2 and F_1) and three segregating generations (F_2 , BC_1F_1 e BC_2F_1), in six crosses, involving four wheat genotypes. FAEM/UFPel, Pelotas, RS. 2000

Crosses and Generations	Classes (interval: 7.00cm)																N	\bar{X}	σ^2	
	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91							
TB429 X EMB40																				
P_1				4	19	20	1											44	37.9	23.5
P_2	5	10	26	10														51	19.6	37.3
F_1	3	14	41	29														87	21.7	30.8
F_2	1	85	78	20	30	28	1											24	23.3	95.2
BC_1F_1	1	4	10	10	12	15												52	30.8	94.6
BC_2F_1	6	7	7	8	2													30	19.4	76.7
TB961 X TB429																				
P_1								6	18	26	14							64	68.3	40.4
P_2				8	24	27	11											70	39.1	39
F_1				9	45	51	10											11	38.5	28.6
F_2				2	60	136	59	5	41	29	4							33	47.6	127.6
BC_1F_1					3	4	13	4	9	7								40	54.8	115.0
BC_2F_1				15	8	9	14											46	38.3	75.7
TB951 X EMB40																				
P_1								3	10	31	29	2	1					76	71.8	41.0
P_2	10	58	64	11														14	17.3	26.8
F_1	5	11	35	15	7													73	21.8	49.8
F_2	33	10	92	80	20	32	25	1	4	7	8	4	5					41	27.1	308.4
BC_1F_1	1	18	19	1	5	9	5	4	10	9								81	36.6	429.1
BC_2F_1	4	4	10	9														27	20.2	54.0

TABLE 3. Adjustment test of chi-square (χ^2) applied to observed scores in segregating generations (F₂, BC₁F₁ e BC₂F₁). FAEM/UFPel, Pelotas, RS. 2000

Crosses and Generations	x	Observed frequency		Total	Expected frequency	χ^2	Probability (0.05)
		< 35	≥ 35				
TB429 EMB40							
F ₂		184	59	243	3:1	0.07	0.80
BC ₁ F ₁		25	27	52	1:1	0.08	0.78
BC ₂ F ₁		28	2	30	1:0	0.13	0.54
TB961 x TB429		< 56	≥ 56				
F ₂		257	79	336	3:1	0.40	0.53
BC ₁ F ₁		20	20	40	1:1	0.00	1.00
BC ₂ F ₁		32	0	32	1:0	0.00	1.00
TB951 x EMB40		< 35	≥ 35				
F ₂		305	106	411	3:1	0.14	0.71
BC ₁ F ₁		39	42	81	1:1	0.11	0.74
BC ₂ F ₁		27	0	27	1:0	0.00	1.00
TB951 x TB961		< 35	≥ 35				
F ₂		0	261	261	0:1	0.00	1.00
BC ₁ F ₁		0	39	39	0:1	0.00	1.00
BC ₂ F ₁		0	35	35	0:1	0.00	1.00
TB951 x TB429		< 56	≥ 56				
F ₂		128	41	169	3:1	0.05	0.82
BC ₁ F ₁		10	11	21	1:1	0.05	0.83
BC ₂ F ₁		16	0	16	1:0	0.00	1.00
TB961 x EMB40		< 35	≥ 35				
F ₂		147	53	200	3:1	0.24	0.62
BC ₁ F ₁		23	28	51	1:1	0.49	0.48
BC ₂ F ₁		18	0	18	1:0	0.00	1.00

TABLE 4. Scores of phenotypic (σ^2_P), environment (σ^2_E), genetic (σ^2_G), additive (σ^2_A) and dominance (σ^2_D) variances and heritability coefficient in the broad (h^2_a) and narrow sense (h^2_r), for lodging resistance factor method (cLr) in wheat plant. FAEM/UFPel, Pelotas, RS. 2000

CROSSES	Lodging resistance factor method (cLr)					h^2_a	$\frac{\%}{h^2_r}$
	σ^2_P	σ^2_E	σ^2_G	σ^2_A	σ^2_D		
TB429 x EMB40	95.2	30.6	64.6	19.0	45.5	67.8	20.0
TB961 x TB429	127.7	34.2	93.4	64.3	29.2	73.2	50.4
TB951 x EMB40	308.4	41.8	266.6	133.7	132.9	86.4	43.3
TB951 x TB961	47.0	43.9	3.1	2.2	0.9	6.6	4.6
TB951 x TB429	125.8	31.0	94.8	51.0	43.8	75.3	40.5
TB961 x EMB40	314.1	40.4	273.7	136.7	137.7	87.1	43.5

TABLE 5. Genetic effects for the model of three and six parameters, for the study of the lodging resistance factor method (cLr) in wheat plant. FAEM/UFPel, Pelotas, RS. 2000

Lodging resistance factor method (cLr)			
Generations and Parameters	TB429 x EMB40	TB961 x TB429	TB951 x EMB40
P ₁	37.9 ± 4.8	68.3 ± 6.4	71.8 ± 6.4
P ₂	19.6 ± 6.1	39.1 ± 6.2	17.7 ± 5.2
F ₁	21.7 ± 5.5	38.8 ± 5.3	21.8 ± 7.1
F ₂	23.3 ± 9.8	47.5 ± 11.3	27.4 ± 17.6
BC ₁ F ₁	30.8 ± 9.7	54.8 ± 10.7	36.6 ± 20.7
BC ₂ F ₁	19.4 ± 8.8	38.3 ± 8.7	20.2 ± 7.3
M	28.2 ± 0.5	54.0 ± 0.5	44.1 ± 0.4
[a]	9.4 ± 0.5	14.7 ± 0.5	26.6 ± 0.4
[d]	-7.1 ± 0.8	-15.0 ± 0.7	-24.6 ± 0.9
χ ²	0.2	0.1	2.6
G.L	3	3	3
P	1.0	1.0	0.8
Generations and Parameters	TB951 x EMB40	TB951 x TB429	TB951 x EMB40
P ₁	68.7 ± 6.2	68.7 ± 6.3	71.3 ± 7.0
P ₂	70.3 ± 7.1	38.6 ± 5.8	17.6 ± 5.3
F ₁	67.8 ± 6.6	38.8 ± 5.0	23.1 ± 6.5
F ₂	69.0 ± 6.9	47.4 ± 11.2	28.4 ± 17.7
BC ₁ F ₁	68.0 ± 6.9	54.3 ± 11.5	37.5 ± 20.5
BC ₂ F ₁	66.0 ± 6.6	38.5 ± 8.3	19.4 ± 8.5
M	69.3 ± 0.6	54.0 ± 0.7	43.5 ± 0.6
[a]	-0.3 ± 0.6	15.1 ± 0.7	26.2 ± 0.6
[d]	-1.7 ± 1.2	-14.9 ± 1.0	-21.5 ± 1.0
χ ²	0.1	0.0	2.2
G.L	3	3	3
P	1.0	1.0	0.8

TABLE 6. Parents, putative genotypes, means and phenotypic groups for heading date and stature. FAEM/UFPEl, Pelotas, RS. 2000

Lodging resistance factor method (cLr)			
Parent	Putative genotypes	^{1]} means (g m⁻¹)	^{2]} phenotypic group
TB 951	<i>aabb</i>	69.73 a	lodging resistant
TB 961	<i>aabb</i>	70.00 a	lodging resistant
TB 429	<i>aaBB</i>	38.53 b	intermediate
EMB 40	<i>AABB</i>	18.30 c	lodging susceptible

^{1]} Means followed by the same letter are not different according Tukey at 5%.

^{2]} Phenotypic groups formed from data obtained in the current study.

CAPÍTULO VI

Discussão Geral

DISCUSSÃO GERAL

O acamamento é o acidente pelo qual a planta de trigo perde sua posição naturalmente vertical, inclina-se e cai sobre o solo. Segundo Pinthus (1973), o acamamento é uma característica agronômica que pode afetar o rendimento e a qualidade do grão do trigo, pela interferência que causa na acumulação da matéria seca e pela dificuldade que impõe na colheita, além de poder, também afetar a qualidade do grão. O acamamento é um caráter difícil de ser avaliada isoladamente e com precisão, dada a grande interação existente com o vento, precipitações e com o solo. As diferenças entre as cultivares tendem a ser obscurecidas por fatores de ambiente, tais como a densidade de plantas e a fertilidade do solo (Neenan & Spencer-Smith, 1971). O acamamento tem sido atribuído a diversos fatores, como o defeito do sistema radicular (Pinthus, 1973; Kirichenko & Palamarchuk, 1980), a fraqueza dos colmos, a interação da densidade de população de plantas com o vento e com a chuva (Salmon, 1973) e a ocorrência de moléstias fúngicas (Glynne, 1951). As informações sobre os atributos da arquitetura genética referente ao acamamento são, ainda, muito escassas (Luthra, 1987).

Como mostrado no capítulo II, o coeficiente de resistência do colmo ao acamamento (cLr), estatura de planta (EST), o comprimento do pedúnculo (CP) e índice do colmo (IC) foram altamente correlacionados com a resistência ao acamamento. Estes caracteres poderão ser utilizados como critérios de seleção indireta para resistência ao acamamento. A linhagem TB951 foi, entre os genótipos avaliados, o que apresentou melhor desempenho para todos os fatores relacionados com a resistência ao acamamento, portanto esta constituição genética poderá ser indicada como uma excelente fonte de resistência ao acamamento em trigo.

No capítulo III no primeiro trabalho, os resultados demonstram que não houve efeito marcante das diferentes épocas de acamamento sobre os caracteres estudados, entretanto, estes resultados não poderão ser entendidos como de validação geral, haja vista que o ano foi atípico, pois praticamente não choveu durante a fase reprodutiva das plantas. Contudo, no segundo trabalho, do mesmo capítulo, os resultados evidenciaram que o acamamento causa grande redução no rendimento e qualidade do grão, concordando com o que afirmou Pinthus (1973).

Os resultados expressos nos capítulos II e IV evidenciam o alto grau de resistência ao acamamento apresentado pela linhagem TB951, assim como, mostra a grande dissimilaridade deste genótipo em relação às cultivares de trigo recomendados para cultivo no Rio Grande do Sul. Estes resultados credenciam a linhagem TB951 como uma excelente fonte de resistência ao acamamento a ser utilizadas pelos melhoristas de trigo no sul do Brasil.

Os resultados apresentados no capítulo V demonstram que os genótipos de trigo estudados apresentam variabilidade para o caráter cLr, e que este caráter provavelmente seja controlado por dois genes com dominância quase completa, permitindo a manifestação de três classes fenotípicas: uma susceptível ao

acamamento contendo pelo menos um alelo dominante no loco A, outro intermediário com dois alelos recessivos no loco A e pelo menos um alelo dominante no loco B e uma outra resistente ao acamamento, com todos alelos recessivos em ambos os locos. A herdabilidade no sentido restrito, para o caráter cLr, foi relativamente alta, permitindo expressar a hipótese de que a seleção indireta para a resistência ao acamamento através da técnica cLr, nas primeiras gerações segregantes, é viável para a obtenção de plantas de trigo resistentes ao acamamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DOLINSKI, R. Diallel analysis of the stem mechanical properties determining lodging resistance of winter wheat. **Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roslin**, 20(5): 245-250. 1996.

FEDERIZZI, L.C.; FANTINI, A.C.; CARVALHO, F.I.F. de. Efeito do acamamento artificial em alguns genótipos de trigo de porte alto e baixo. **Ciência Rural**, Santa Maria, 24(3):465-469. 1994.

GLYNNE, M.D. Effects of cultural treatments on wheat and on the incidence of eyespot, lodging, take-all and weeds. **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v.38, p.665-688, 1951.

GOMES, E.P. **Análise de alguns aspectos da genética da estatura de planta relacionados com o comprimento e o número de entrenós do colmo em trigo (*Triticum aestivum* L.)**. Porto Alegre: UFRGS, 1978. 104p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia) - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, 1978.

KIRICHENKO, F.G.; PALAMARCHUK, A.I. Relationship of primary root system to plant height and lodging resistance in soft winter wheat. **Soviet Agricultural Sciences**, New York, v.9, p.1-4, 1980.

KHEIRALLA, K. Genetic analysis of some characteres related to lodging resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Asstralian Journal of Agricultural Sciences**. **25** (2): 115-124.

LUTHRA, O.P. Genetic architecture of characters related to lodging in wheat. **Wheat Information Service**, Yokehana, v.64, p.21-23, 1987.

- NEENAN, M.; SPENCER-SMITH, J.L. An analysis of the problem of lodging with particular reference to wheat and barley. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.81, p.495-507, 1971.
- ORLYUK, A. P. Inheritance of morphological and anatomical characters of the stem in winter-wheat hybrids. **Plant Breeding Abstracts**, Cambridge, 45 (6): 339. 1975.
- PINTHUS, M.J. Lodging in wheat, barley, and oats: The phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, New York, 25(1): 210-256. 1973.
- POWELL, J.B. e SCHLEHUBER, A.M. Components of height inheritance of the Semidwarf straw character in wheat, *Triticum aestivum* L. **Crop Science**, Madison, 7(5): 511-516.1967.
- SALMON, S.C. An instrument for determining the breaking strength of straw and a preliminary report on the relation between breaking strength and lodging. **Journal of Agricultural Research**, Lahore, v.43, p.73-82, 1931.
- SCHEEREN, P.L. **Componentes da estatura de planta e herança do caráter comprimento de pedúnculo em trigo (*Triticum aestivum* L.)** Porto Alegre: UFRGS,. 1980. 92 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fitotecnia - Curso de Pós-Graduação em Agronomia, 1980).
- STANKA, A.M.; JENKINS, G.; HANSON, P.R Varietal responses in spring barley to natural and artificial lodging and to a growth regulator. **Journal Agriculture Science**, 93(2):419-458. 1979.

- STODDART, J.L.; LLOYD, E.J. Modification by gibberelin of the growth temperature relationship in mutant and normal genotypes off several cereals. **Plant**, 167(1): 364--368. 1986.
- VOGEL, O. A ; CRADDOCK Jr., J.C.; MUIR, C. E. ; EVERSON, E.H.; ROHDE, C.R. Semidwarf growth habit in winter wheat improvement for the pacific northwest. **Agronomy Journal**, Madison, 48 (2): 76-78. 1956.
- WATANABE, T. lodging resistance. In: MATSUO, T., FUTSUHARA, F., YAMAGUCHI, H. **Science of the rice plant**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1997.
- WEIBEL, R.O.; PENDLETON. J.W. Effect of artificial lodging on winter wheat grain yield and quality. **Agronomy Journal**., Madison, 56(3): 419-458. 1976.
- WIERSMA, D.W.; OPLINGER, E.S.: GUYS.O. Environment and cultivar effects on winter wheat response to ethephon plant growth regulator. **Agronomy Journal**. Madison, 78(5):761-764. 1986.
- ZANATTA, A.C.A.; OERLECKE, D. Efeito de genes de nanismo sobre alguns caracteres agronômicos e morfológicos de *Triticum aestivum* (L.) Thell. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, 26(7):1001-1016.1991.

RESUMO E CONCLUSÕES

O problema do acamamento em trigo tem chamado a atenção dos melhoristas devido à severidade dos danos causados as plantas com reflexo no rendimento e na qualidade dos grãos. É um caráter difícil de ser estudado diretamente, dados a múltiplas interações com o ambiente. Muitos trabalhos foram desenvolvidos procurando identificar métodos para seleção indireta. A estatura de planta foi exaustivamente estudada por ser um caráter de alta herdabilidade e fortemente correlacionado com o acamamento; entretanto, plantas com estatura abaixo de 70 cm são inadequadas para o cultivo devido a sua pouca competitividade com as ervas daninhas e por apresentarem dificuldades para a colheita mecanizada. Neste sentido, no presente trabalho foram testados os vários caracteres relacionados com o acamamento e métodos indiretos que possibilitem maiores ganhos na seleção. Foi identificado o coeficiente de resistência do colmo, método internacionalmente conhecido com cLr, como sendo a metodologia mais eficiente para seleção indireta em populações segregantes. Foi também mensurada a dissimilaridade genética entre dez cultivares de trigo recomendadas para cultivo no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no ano 2000, e mais os genótipos IAC 5 e TB 951. A genética do caráter cLr foi estudada através da Análise de Gerações, metodologia também conhecida como Teste de Escala Conjunta. Foram avaliadas a natureza e a magnitude dos efeitos gênicos envolvidos o que ficou determinado que a aditividade e dominância

atuam de maneira similar. Não foram encontrados efeitos epistáticos e a herdabilidade no sentido restrito foi de mediana a alta. O caráter cLr parece ser controlado por dois genes independentes com dois alelos cada, sendo que o genótipo duplamente recessivo (aabb) expressou fenotipicamente os valores mais altos para resistência ao acamamento.

Assim, os resultados sugerem as seguintes conclusões:

1. O caráter cLr foi o mais indicado como método de seleção indireta para resistência ao acamamento;
2. A linhagem TB 951 foi, entre os genótipos testados, o que apresentou maior resistência ao acamamento e maior dissimilaridade, podendo, assim, ser indicada como uma excelente fonte de resistência ao acamamento em trigo;
3. Entre os possíveis fatores associados à maior resistência ao acamamento estão a estatura mais baixa e o maior coeficiente de resistência do colmo ao acamamento (cLr). Contudo, foram observadas exceções a essas associações;
4. O caráter cLr expressou herdabilidade variando de mediana a alta;
5. O caráter cLr parece ser controlado por dois genes independentes com dois alelos cada, com ação gênica de parcial a completa dominância e grande participação da aditividade.
6. A seleção indireta para aumentar a resistência ao acamamento através do método cLr pode ser aplicada logo na primeira geração segregante, com grande ganho genético, sem necessidade de teste em F_3 , já que os genótipos resistentes são recessivos.

ABSTRACT AND CONCLUSIONS

The lodging problem in wheat has called attention of plant breeders due to the severity of plant damage, which is reflected on the grain yield and quality. Lodging is a very difficult trait to measure directly because there are multiple interactions with the environment. Many studies have been developed trying to identify methods for indirect selection. Plant stature was extensively studied because of its high heritability and strong correlation with lodging. However, plants less than 70 cm high are not recommended for growing because they compete unfavorably with weeds and the difficulty for mechanical harvest. Therefore, in the present work many traits related to lodging and indirect methods to allow more efficient selection were tested. The lodging resistance factor method, known as cLr, is the most efficient methodology currently used for indirect selection in segregant populations. Genetic dissimilarity among twelve wheat genotypes was measured. The genetics of cLr trait was studied by Generation Mean Analysis. The nature and magnitude of genetic effects were evaluated, showing that additivity and dominance act in a similar way. Epistatic effects were not found, and heritability in the narrow sense was from medium to high. The cLr trait seems to be controlled by two independent genes with two alleles each. The double recessive genotype (*aabb*) expressed the highest values for lodging resistance.

Results suggest the following conclusions:

1. cLr trait was more appropriate as a method of indirect selection for lodging resistance;
2. line TB 951 showed, among all genotypes tested, the highest lodging resistance and the highest dissimilarity, being indicated as an excellent resistance source in wheat;
3. lowest stature and highest cLr are among putative factors associated to better lodging resistance; however, it were observed exceptions to these associations;
4. cLr trait expressed heritability varying from medium to high;
5. trait cLr seems to be controlled by two independent genes with two alleles each, with genetic action from partial to complete dominance and strong participation of additivity;
6. indirect selection to improve lodging resistance by cLr method can be applied during first segregant generation, allowing large genetic gains there is no need for F₃ tests, because resistant genotypes are recessive.