

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

**CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DE COLMOS E RAÍZES DE PLANTAS
DE CEVADA E AVEIA RELACIONADAS À SUSCETIBILIDADE AO
ACAMAMENTO**

Carlos Walter Alfonso
Engenheiro Agrônomo/UNLu

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

Porto Alegre (RS), Brasil
Outubro de 2004

AGRADECIMENTOS

Ao professor Cláudio Mario Mundstock, pela orientação científica e precisa deste trabalho, mas particularmente pela amizade, estímulo, paciência e dedicação transmitidos durante o curso.

A minha família que na distancia transmitiram seu amor, estímulo e apoio incondicional para que terminasse com êxito o trabalho de mestrado.

Aos colegas, pela amizade, convívio, cooperação e por fazer muito mais fácil minha adaptação neste querido País, em especial a Naracelis Poletto, Fabiane Pinto Lamego, Fausto Borges Ferreira, Itamar Cristiano Nava e Emerson Portes.

Aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, pela cordialidade, amizade e ensinamentos transmitidos.

Aos Bolsistas de iniciação científica Alexandre Piana e Daniel Grohs pela ajuda e colaboração nos trabalhos de campo e laboratoriais e pela amizade.

Aos funcionários da Faculdade de Agronomia, particularmente a Marlene Correa da Veiga e Joana Buffi Lopes pela alegria transmitida e por fazer cada jornada de trabalho um pouco mais amena.

Aos funcionários da Estação Experimental Agronômica, pelo apoio na realização deste trabalho.

A meus queridos colegas e amigos da Unlu Maria de Iãs Nieves Garcia, Ana Curioni e Osvaldo Arizio pelo apoio, estímulo e amizade.

A CAPES, pela bolsa concedida.

CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DE COLMOS E RAIZES DE PLANTAS DE CEVADA E AVEIA RELACIONADAS À SUSCETIBILIDADE AO ACAMAMENTO¹

Autor: Carlos Walter Alfonso.

Orientador: Claudio Mario Mundstock.

RESUMO

O acamamento é um dos principais problemas que prejudica o rendimento e a qualidade de grãos de cevada e aveia no sul do Brasil e as características das plantas relacionadas com o acamamento ainda são pouco conhecidas. Com este trabalho objetivou-se identificar as possíveis causas intrínsecas das plantas associadas à suscetibilidade ao acamamento, em genótipos de aveia branca (*Avena sativa*) e de cevada (*Hordeum vulgare*), avaliando características biométricas de colmo e de raiz. Dois experimentos foram realizados nos anos de 2002 e 2003 na EEA/UFRGS, quando foram cultivados quatro genótipos de aveia (L93605, UFRGS 19, URS 21 e UPF 18) e dois de cevada (BRS 195 e MN 698) com doses crescentes de N em cobertura (30, 60, 90, 120, 150 kg ha⁻¹), além da testemunha sem N. Os genótipos menos suscetíveis ao acamamento (BRS 195, UFRGS 19 e L93605) apresentaram colmos mais compactos e com maior resistência mecânica em decorrência do menor porte e melhor distribuição da matéria seca. O sistema radical foi incrementado com a maior disponibilidade de nitrogênio melhorando a ancoragem das plantas. Os genótipos de maior suscetibilidade (MN 698, URS 21 e UPF 18) apresentaram colmos com menor resistência mecânica em decorrência do maior momento de torque pelo maior porte das plantas e pior partição da matéria seca. Estes genótipos exibiram menor peso das raízes e, conseqüentemente, tiveram pior ancoragem predispondo as plantas ao acamamento de raiz. O acamamento não pôde ser atribuído especificamente a uma ou outra das características estudadas, já que cada genótipo exibiu estratégias diferenciais cujos efeitos aditivos contribuíram com maior ou menor grau de suscetibilidade ao acamamento.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, (101p.) Outubro de 2004.

OATS AND BARLEY ROOT AND CULM BIOMETRIC CHARACTERISTICS RELATED TO LODGING SUSCEPTIBILITY²

Author: Carlos Walter Alfonso

Adviser: Cláudio Mario Mundstock

ABSTRACT

Oats and barley production in southern Brazil has several limitations and among them lodging has been considered as one of the major causes for low productivity. The present work was developed in order to determine the plant intrinsic characteristics associated to lodging susceptibility in oats (*Avena sativa*) and barley (*Hordeum vulgare*) genotypes. Two experiments were carried out in 2002 and in 2003 at EEA/UFRGS, with four oat genotypes (L93605, UFRGS 19, URS 21 e UPF 18) and two barley genotypes (BRS 195 e MN 698) cultivated under increasing top-dressing nitrogen rates (30, 60, 90, 120, 150 kg ha⁻¹). BRS 195, UFRGS 19 and L93605 were less susceptible to lodging, showing more compact culms and mechanical resistance related to plant height and better distribution of dry matter. Better root system at higher nitrogen rates improved plant anchorage more susceptible lodging genotypes (MN 698, URS 21 e UPF 18) showed culms with less mechanical resistance due to bigger torque moment related to plant height and dry matter distribution. These genotypes showed less root weight and poor anchorage. Lodging could not be attributed to single plant characteristic since each genotype showed intrinsic characters which interacted more or less to lodging susceptibility.

² M. Sc. Dissertation in Crop Science (Fitotecnia), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (101p.) October, 2004.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DA LITERATURA	3
3	MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1	Tratamentos e delineamento experimental	15
3.2	Manejo das áreas experimentais	15
3.3	Avaliações de etapas fenológicas e características biométricas de colmo e de raízes nos dois anos agrícolas	17
3.3.1	Avaliações de características biométricas no ano 2002	18
3.3.1.1	Caracterização do tipo, percentagem e índice de acamamento de plantas	18
3.3.1.2	Análise estrutural e anatômica dos colmos.....	19
3.3.1.3	Análise de lignina dos colmos.....	19
3.3.1.4	Rendimento de grãos.....	20
3.3.2	Avaliações de características biométricas no ano 2003	20
3.3.2.1	Caracterização do tipo, índice e percentagem de acamamento de plantas	20
3.3.2.2	Análises estrutural e anatômica dos colmos e raízes	20
3.3.2.3	Ancoragem radical	21
3.3.2.4	Índice de colheita	22
3.3.2.5	Rendimento de grãos.....	22
3.4	Dados meteorológicos do local de execução dos experimentos.....	23
3.5	Análise estatística	23
4	RESULTADOS	24
4.1	Genótipos de baixa e média suscetibilidade ao acamamento.....	32
4.1.1	Características de colmo	33
4.1.2	Características de raiz e de parte aérea.....	45
4.2	Genótipos de alta suscetibilidade ao acamamento	58

4.2.1	Características de colmo	60
4.2.2	Características de raiz e de parte aérea.....	63
5	DISCUSSÃO	67
5.1	Considerações finais.....	85
6	CONCLUSÕES	88
7	BIBLIOGRAFIA	90
8	APÊNDICES.....	95
9	VITA	101

RELAÇÃO DE TABELAS

TABELA 1.	Análise química de amostras de solo das áreas experimentais. EEA/UFRGS, 2002/2003.....	14
TABELA 2.	Características dos genótipos utilizados nos dois anos agrícolas. EEEA/UFRGS. 2002/2003.....	15
TABELA 3.	Datas do alongamento, antese e maturação de colheita de genótipos de cevada e aveia, em dois anos agrícolas. EEEA/UFRGS, 2002/2003.	17
TABELA 4.	Temperatura do ar (média diária), precipitação pluvial (mensal), umidade relativa do ar (média diária) e radiação solar (média diária) para os meses de maio a novembro (médias mensais). EEA/UFRGS, 2002-2003.	23
TABELA 5.	Dias após emergência (DAE) das fases de alongamento, antese e maturação de colheita de genótipos de cevada e aveia, em dois anos agrícolas. EEEA/UFRGS, 2002/2003.	24
TABELA 6.	Soma térmica em graus dias (GD) após a emergência para atingir as fases de alongamento, antese e maturação de colheita de genótipos de cevada e aveia, em dois anos agrícolas. EEEA/UFRGS, 2002/2003.....	24
TABELA 7.	Caracterização do tipo de acamamento de genótipos de aveia e de cevada em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, 2002/2003.	25
TABELA 8.	Correlações entre percentagem de acamamento e características de colmo e de raiz de genótipos de aveia e de cevada em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, 2002/2003.....	28
TABELA 9.	Comparações entre anos para as variáveis analisadas em 2002 e 2003 de genótipos de aveia e de cevada na média dos tratamentos com N em cobertura. EEA/UFRGS, 2002/2003.....	29
TABELA 10.	Comparações entre genótipos de aveia e de cevada para as variáveis analisadas em 2002, na média dos tratamentos de N em cobertura. EEA/UFRGS, 2002.....	30
TABELA 11.	Comparações entre genótipos aveia e de cevada para as variáveis analisadas em 2003 na média dos tratamentos de doses de N em cobertura. EEA/UFRGS, 2003.....	31

RELAÇÃO DE FIGURAS

FIGURA 1.	Porcentagem de acamamento em genótipos de aveia e cevada nos tratamentos com doses de N em cobertura. EEA/UFRGS. 2002/2003.....	26
FIGURA 2.	Porcentagem de acamamento para cultivares de cevada e de aveia sob diferentes doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. ** significativo a 1%. NS não significativo.....	34
FIGURA 3.	Índice de acamamento (IA) para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS 2002-2003, ** significativo a 1%. NS não significativo.	35
FIGURA 4.	Comprimento do 1º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. * significativo a 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.....	36
FIGURA 5.	Comprimento do 2º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. * significativo a 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.....	38
FIGURA 6.	Diâmetro do 1º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis de acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. *significativo a 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.	39
FIGURA 7.	Diâmetro do 2º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. * significativo a 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.	40

FIGURA 8.	Espessura da parede do 1º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%. NS não significativo.....	42
FIGURA 9.	Espessura da parede do 2º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.....	43
FIGURA 10.	Estatuta final de plantas para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. ** significativo a 1%. NS não significativo	44
FIGURA 11.	Número de filhinhos por planta para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%. NS não significativo.	47
FIGURA 12.	Teor de lignina do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002. ** significativo a 1%. NS não significativo.	48
FIGURA 13.	Peso seco da parte aérea (sem pedúnculo e inflorescência) para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%.....	49
FIGURA 14.	Peso seco de pedúnculo + inflorescência para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%.....	50
FIGURA 15.	Peso seco de raiz para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%.....	51
FIGURA 16.	Relação peso seco aéreo/raiz (PA/PR) para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. * significativo a 5% ** significativo a 1%.....	54

FIGURA 17.	Ancoragem radical para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003.. significativo a 5% ** .	55
FIGURA 18.	Índice de colheita para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%.	56
FIGURA 19.	Rendimento de grão para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. ** significativo a 1%.	57
FIGURA 20.	Acamamento de raiz a campo (A), acamamento de colmo a campo (B) e curvatura típica de acamamento de colmo (C). EEA/UFRGS, 2002-2003.	100

1 INTRODUÇÃO

As atuais cultivares de cevada e aveia utilizadas no Sul do Brasil possuem alto potencial de rendimento graças a um intenso trabalho de melhoramento genético. No entanto, quando se associam condições de altas precipitações e incremento na fertilização nitrogenada, com o objetivo de maximizar os rendimentos de grãos, elevam-se os riscos de acamamento. O acamamento, definido como o deslocamento da posição vertical normal dos colmos, produz efeitos sob o rendimento e a qualidade de grãos, interferindo na acumulação de matéria seca e dificultando a colheita.

Os programas de melhoramento genético têm, entre suas metas, o objetivo de reduzir o acamamento de plantas. Para tanto, uma série de características da parte aérea das plantas foram motivos de seleção, conseguindo ao longo do tempo redução na suscetibilidade ao acamamento. A incorporação de genes de porte baixo foi um importante avanço neste sentido. No entanto, este fenômeno não foi totalmente controlado, indicando que devem haver outras características de ordem anatômica e/ou bioquímica associadas ao acamamento conferindo variabilidade entre genótipos.

As características do sistema radical foram pouco consideradas, devido a dificuldade na avaliação fenotípica e poucas evidências existem relacionando

características de colmo e raiz com o grau de suscetibilidade ao acamamento em genótipos de cevada e aveia.

A campo, o nitrogênio exacerba o fenômeno, sobretudo quando se incrementa a sua disponibilidade com objetivo de aumentar o rendimento de grãos. Tal fato também tem sido observado por pesquisadores, existindo entretanto, reduzido volume de trabalhos relacionando o efeito do nitrogênio sobre características de colmos e raízes.

Estas constatações geram a necessidade de estudos que abranjam avaliações de características biométricas da parte aérea e das raízes de cevada e de aveia e suas associações com os tipos de acamamento.

Neste contexto foi realizado o presente trabalho, que teve como objetivo identificar as possíveis causas intrínsecas das plantas associadas ao acamamento, em diferentes genótipos de aveia e de cevada, avaliando características biométricas de colmo e de raiz, utilizando o efeito do ambiente (nitrogênio e ano) como fontes de variação para estudar o fenômeno.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A região sul do Brasil tem características de solo e clima favoráveis para o cultivo de cereais de estação fria sendo, dentre estes, a cevada e aveia excelentes culturas alternativas ao trigo. Qualquer que seja o objetivo de produção destas espécies, elas apresentam algumas limitações a campo que provocam importantes perdas de qualidade e diminuição de rendimento, impossibilitando o alcance do máximo potencial produtivo. O acamamento é uma limitação muito importante sendo entretanto muito pouco estudada para estas culturas.

O fenômeno do acamamento é definido como o deslocamento permanente da posição vertical dos colmos (Pinthus, 1973). Ele tem sido estudado desde o início do século passado (Moldenhaver, 1914) por ser um importante fator de diminuição dos rendimentos de grãos em diversas regiões do mundo. As reduções no rendimento e qualidade dos grãos são causadas de forma direta pela interferência na acumulação de matéria seca dos grãos quando as plantas estão deitadas umas sob as outras e, de forma indireta, pelas dificuldades de colheita.

O acamamento é um fenômeno complexo que, para sua expressão, intervém fatores intrínsecos da planta (características genéticas), inter-relacionados com fatores do clima, do solo e práticas culturais adotadas. Ele tem

sido alvo de estudos há mais de um século, mas apenas na década de 1970 foram caracterizados os dois tipos de acamamento. O primeiro é denominado “acamamento do colmo” e é causado por uma curvatura ou quebra da base do colmo. O segundo é denominado “acamamento de raiz” e é provocado pela rotação do colmo desde a base, com o deslocamento de raízes primárias. A inclinação ocorre desde a coroa e o restante do colmo aparece intacto. Este tipo de acamamento é o mais comum em cereais de estação fria (Crook & Ennos, 1995; Berry et al., 2003).

A predisposição ao acamamento está relacionada a caracteres de ordem morfológica e anatômica, assim como aspectos fisiológicos.

Os principais parâmetros anatômicos e morfológicos associados ao acamamento são o comprimento total dos colmos, o comprimento dos distintos entrenós, a matéria seca de colmo e raízes e a superfície radicular.

O comprimento do colmo é relacionado com o diâmetro dos entrenós basais, estando associado à resistência ao acamamento (Pinthus, 1973; Tripathi et al., 2003). O comprimento dos entrenós basais é analisado com mais detalhes devido a possíveis causas de debilidade estrutural que predispõe ao acamamento. Além da estatura das plantas, existem, de acordo com Rocha (1996), outros fatores intrínsecos que devem contribuir para tornar uma planta mais suscetível ao acamamento. Na porção basal do colmo há a proximidade física entre os nós inferiores e entre as raízes primárias próximas à região da coroa da planta. Os entrenós desta região, particularmente o primeiro e o segundo, quando são muito longos tem mostrado correlação positiva com a predisposição ao acamamento em cereais de inverno (Pinthus, 1973).

A matéria seca dos colmos mostra, em diversos estudos, relação positiva com a resistência ao acamamento para cultivos de aveia e cevada (Tandon et al., 1973; White, 1995; Leitch & Hayes, 1989). A matéria seca das raízes, na sua relação com o acamamento, não avalia precisamente a capacidade de ancoragem das plantas (Pinthus, 1973). Para isso é necessário utilizar a superfície radicular e a relação da matéria seca das raízes/matéria seca da parte aérea. Estes parâmetros quantificam melhor o efeito da debilidade estrutural das raízes em relação a predisposição ao acamamento.

As estruturas anatômicas do colmo associadas com a resistência se desenvolvem e sofrem modificações no decorrer do ciclo da planta para poder suportar as forças externas que provocam o acamamento (Gemmell, 1981). As características de ordem anatômica de maior interesse de estudo são: diâmetro do colmo, espessura da parede do colmo, número de feixes vasculares, diâmetro dos feixes vasculares e diâmetro de metaxilema, protoxilema e floema de cada feixe. A maioria destas variáveis mostram correlação negativa com a ocorrência do acamamento (Pinthus, 1973; Rocha, 1996). Com o engrossamento, as paredes dos colmos apresentam maior quantidade de tecidos parenquimáticos e feixes vasculares. Em decorrência, aumenta o conteúdo de água e diminui o conteúdo de lignina, já que essa se dilui nos tecidos. Todas estas características conferem maior elasticidade aos colmos e menor predisposição ao acamamento (Rocha, 1996).

O conteúdo de celulose, hemicelulose e lignina, especialmente nos nós basais, estão associados com a resistência ou suscetibilidade ao acamamento (Pinthus, 1973; Rocha, 1996; Tripathi et al., 2003; Zhu et al., 2004). A dinâmica destes compostos químicos nas plantas é caracterizada pelo fato de que nas

fases iniciais, os colmos mostram baixa resistência mecânica por apresentar um elevado conteúdo de água e baixo teor de lignina, predominando na constituição do colmo principalmente celulose e hemicelulose. Estas características conferem ao colmo falta de resistência mecânica, podendo existir acamamento quando o vento chega a atingí-las, mas também apresentam alta elasticidade, podendo retornar a sua posição original em poucos dias (Rocha, 1996). Durante o alongamento dos entrenós aumenta o teor de lignina que torna os colmos mais plásticos sem que possam retornar à posição vertical normal quando são acamados pelo vento, chuva ou granizo. Estes fenômenos meteorológicos alteram o equilíbrio existente entre as forças de tensão que mantêm o colmo intacto.

Os fatores extrínsecos que afetam o acamamento são aqueles relacionados ao clima, ao solo e as práticas culturais. Entre os principais agentes que promovem o acamamento se destacam o vento e a chuva. O primeiro para produzir danos de relevância tem que ter velocidade superior a 25 km/h (Easson et al., 1993). A chuva incrementa o peso da parte aérea, sobretudo quando os cultivos se encontram na fase reprodutiva. Ocasionalmente, ainda, o umedecimento do solo gerando condições favoráveis para o acamamento de raízes, já que diminui a ancoragem das mesmas. Nestas condições, Easson et al. (1993) mencionam que ventos de até 16 km/h são suficientes para provocar acamamento posterior a uma chuva, mostrando a maior debilidade das plantas depois da precipitação pluvial.

A temperatura do ar afeta, presumivelmente, a alongação dos entrenós durante o período de crescimento com relação direta e negativa entre a estatura da planta e temperatura. Quando há aumento de temperatura durante o período

de semeadura-emergência até o espigamento da cevada há redução do período de alongamento dos entrenós (Pinthus, 1973). As temperaturas moderadas a baixas no período de alongamento aumentam o tamanho dos entrenós, por incrementar a duração do período de alongamento que, conseqüentemente, alcançam um maior comprimento.

A radiação solar, tal qual a temperatura do ar, é um fator que influencia a alongação dos entrenós basais (Kirby & Faris, 1984; Pinthus, 1973). As altas radiações bloqueiam a ação natural da giberelina GA_1 , responsável pela fotomorfogênese, induzindo a alongação dos entrenós basais por promover a divisão e alongação celular. Em presença de luz, a forma ativa GA_1 se converte em GA_8 a qual é uma forma de giberelina que não promove a alongação dos entrenós (Chen et al., 2001; Alabadí et al., 2004).

A adubação nitrogenada também tem ação sobre a alongação dos entrenós e no acamamento. Com o incremento na disponibilidade de N, as plantas apresentam maior crescimento vegetativo e aumento do comprimento dos entrenós. Este fato incrementa o sombreamento mútuo entre as plantas, que recebem menor quantidade de radiação, modificando as propriedades biofísicas dos colmos, resultando em menor resistência ao acamamento (Berry et al., 2000).

Os processos fisiológicos e bioquímicos afetados pelo metabolismo do nitrogênio estão associados ao controle do crescimento, diferenciação e morfogênese. Durante o crescimento celular, a assimilação do nitrogênio contribui para o aumento de macromoléculas e componentes celulares, importantes para a regulação dos processos metabólicos do crescimento celular, implicado no aumento de tamanho e número de células (Durzan, 1985).

A morfologia e anatomia dos colmos também são afetadas pelo nitrogênio e, por isso, são associadas com o acamamento (Mulder, 1954). A aplicação de altos níveis de N incrementa os três entrenós basais em várias culturas, incluindo variedades de porte baixo em trigo. (Keller et al., 1999).

O nitrogênio é um dos elementos mais importantes para o desenvolvimento em cereais e, normalmente, determina respostas significativas em termos de rendimento de grãos. No entanto, pelas razões já mencionadas, seu uso deve ser racional, pois além de aumentar o risco de acamamento, pode ocasionar perdas na lavoura. Para minimizar as perdas e aumentar a produtividade de grãos de cereais é indicado o uso de nitrogênio com aplicações parceladas, a primeira parte por ocasião da semeadura e a restante em cobertura (Mundstock, 1999). Este manejo do nitrogênio permite ajustar a disponibilidade do N às necessidades fisiológicas dos cultivos e evitar o excessivo crescimento e alongamento dos entrenós basais nas primeiras fases da etapa vegetativa, diminuindo a incidência do acamamento (Hobbs et al., 1998).

Os efeitos do N no crescimento e desenvolvimento das raízes são contraditórios. Alta concentração de N no solo limita o desenvolvimento das raízes da coroa, aumentando a relação de peso entre a parte aérea e as raízes, o que compromete a ancoragem das plantas (Mulder, 1954). O efeito do N é menor no crescimento das raízes do que no da parte aérea e causa a elevação da relação parte aérea/raízes. (Pinthus, 1973; Castro & Kluge, 1999).

A densidade de semeadura é outra possível causa do acamamento e é considerada como um fator chave do manejo agrônomico para a redução do acamamento (Berry et al., 2003). O aumento na densidade de plantas está

vinculado com a competição entre plantas na captura da radiação solar e com a quantidade de estruturas reprodutivas produzidas e, em função disso, com o risco de acamamento (Satorre, 1999). O efeito provocado pelo aumento na densidade das plantas é similar àquele discutido com altas doses de adubação nitrogenada, estabelecendo-se um aumento da competição por radiação que induz a debilidade dos entrenós basais (Pinthus, 1973).

Os aspectos até aqui discutidos são os mais considerados pelos programas de melhoramento genético na incorporação de resistência ao acamamento. Este se constitui em um importante caráter de seleção a ser levado em consideração na obtenção e lançamento de novas cultivares. O acamamento, em geral, é de herança quantitativa, estando envolvido um grande número de genes e com grande efeito do ambiente na sua expressão.

A maioria dos estudos conduzidos para determinar as causas genéticas do acamamento está orientada principalmente na avaliação das características anatômicas e morfológicas que estão mais intimamente relacionadas com o acamamento. Estas características são utilizadas indiretamente como parâmetros de seleção.

As características morfológicas mais estudadas para incorporar resistência ao acamamento são: estatura de plantas, peso e diâmetro dos colmos (Pinthus, 1973). Neste sentido, Zuber et al. (1999), num trabalho envolvendo 15 linhagens de trigo, observaram que, aproximadamente, 50% da variância fenotípica para o caráter de resistência, era estabelecida pelo peso dos colmos e 48% pelo diâmetro dos colmos. Da mesma forma Keller et al. (1999) mostraram que a estatura das plantas e a rigidez dos colmos explicaram

77% da variância fenotípica para resistência ao acamamento, num modelo de regressão múltipla para três ambientes distintos.

As características fisiológicas que se encontram relacionadas com o acamamento também são consideradas em programas de melhoramento vegetal, orientados à redução do fenômeno. A interferência do acamamento na assimilação de carboidratos é um dos aspectos fisiológicos freqüentemente citado na literatura. Em realidade, esta interferência é uma consequência e não uma causa fisiológica envolvida neste fenômeno. A interferência se dá porque as plantas, inclinadas ou deitadas umas sob outras, provocam sombreamento das partes fotossinteticamente ativas, reduzindo assim a acumulação de fotoassimilados (Pinthus, 1973).

O etileno e outros hormônios de crescimento são importantes nas situações onde o maior crescimento vegetativo provoca competição por radiação solar. O etileno tem ação oposta às giberelinas e é um redutor da estatura das plantas que pode minimizar o acamamento em genótipos de porte alto (Castro & Kluge, 1999).

Os redutores de crescimento são efetivos para reduzir a estatura de cereais de estação fria. Eles são sinalizadores químicos que ligam-se a receptores que bloqueiam a produção endógena de fitohormônios (giberelinas, auxinas e etileno), retardando assim o crescimento dos meristemas subapicais, tornando as plantas mais compactas e de caules mais curtos. A aplicação de redutores de crescimento aumenta o diâmetro dos entrenós pelo espessamento do colênquima e esclerênquima (Sanvicente et al., 1999; Kepczynski & Czuplewska, 1975). Também reduzem o comprimento dos entrenós superiores (apicais) e incrementam o número de afilhos (Foster et al., 1992; Sanvicente et

al., 1999; Milach et al., 2002). A menor estatura das plantas, somada a um maior sistema radical aportado pelos afilhos, reduzem os riscos de acamamento.

A incorporação dos genes de nanismo, na década de 1960, nos cultivos de trigo e arroz, resultou em cultivares com alto potencial de rendimento, devido a uma melhor partição de carbono para os órgãos reprodutivos e na melhoria da resistência ao acamamento (Allam, 1983; Brown et al., 1980; Pinthus, 1973). Em cevada, nas variedades anãs e semi-anãs, o acamamento diminuiu, mas não foi completamente eliminado (Sanvicente, 1999).

A utilização de um modelo de predição de risco de acamamento proposto por Berry (2000) mostrou que o acamamento de colmo é menos relevante do que o de raiz. Ele demonstrou que um tipo de acamamento é independente da resistência ao outro, deixando aberta uma margem para o melhoramento de ambas resistências, de forma simultânea.

O acamamento de colmo é relativamente pouco comum nas cultivares modernas e, em decorrência, houve o descuido no melhoramento, com os aspectos que envolvem o sistema radicular (Crook & Ennos, 1993). Os estudos de Siddique et al. (1990) com linhas isogênicas de trigo antigas (altas) e modernas (semi anãs) mostraram que as cultivares modernas investem uma proporção menor da sua matéria seca no sistema radicular quando comparadas com variedades antigas. As variedades modernas, portadoras de genes de porte baixo (*Rht*), possuem o período de acumulação de matéria seca nas raízes sensivelmente reduzido, quando comparadas a cultivares mais antigas, de porte alto (Siddique et al., 1990).

A diminuição no rendimento de grãos causada pelo acamamento foi estimada em cerca de 50% para algumas linhagens de aveia suscetíveis ao

fenômeno em ensaios de competição de cultivares (Federizzi et al., 1993). Outros pesquisadores relatam diminuição de rendimento da ordem de 30-60% quando o acamamento foi provocado artificialmente (Berry, 2000; Fischer & Stapper, 1987; Pinthus 1973; Mulder, 1954; Caieirão, 2003)

O prejuízo no rendimento de grãos se dá de maneira diferenciada, de acordo com a forma em que o componente do rendimento é afetado, o qual é dependente do momento de ocorrência do acamamento. Quando ele ocorre antes da antese, o número de grãos por unidade de área é prejudicado, mas após a antese, o peso dos grãos é o mais afetado. Em qualquer caso há um pequeno incremento no teor de N nos grãos (Pinthus, 1973), fato este que é uma característica negativa para a cevada com destino a maltarias.

O acamamento é um fenômeno complexo onde as características das plantas, os fatores ambientais e as técnicas de manejo interagem, potencializando ou diminuindo a sua ocorrência. É por isso que as possíveis soluções para este problema devem focar diversas estratégias. Elas estão baseadas na seleção de cultivares com resistência ao acamamento de colmo e raiz, no controle das doses de adubação nitrogenada, na avaliação do N residual no solo e no uso da correta densidade de semeadura e, em alguns casos, na aplicação de reguladores de crescimento.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados genótipos de cevada e aveia comumente utilizados por agricultores no Rio Grande do Sul. A pressuposição que estes genótipos apresentam diferenças nos caracteres morfológicos e anatômicos da parte aérea e da raiz, cuja identificação poderia ser útil para relacioná-las ao acamamento, motivaram a avaliação de distintas características biométricas.

O estudo foi desenvolvido com base em dois experimentos executados nos anos agrícolas de 2002 e 2003, durante o período compreendido entre os meses de maio a novembro, em ambos os anos. O trabalho foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/ UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul (RS), na região fisiográfica da Depressão Central do Estado. A altitude média do local é de 46 m acima do nível do mar e coordenadas de 30°50'52" de latitude sul e 51°38'08" de longitude oeste (IPAGRO, 1979).

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico típico pertencente à Unidade de Mapeamento São Jerônimo, segundo a classificação da Embrapa (1999). Esse solo apresenta o perfil com horizonte A, até 20 cm de profundidade, com a seguinte composição textural: areia= 60%,

silte= 15% e argila= 25%. O horizonte B apresenta textura argilosa (areia = 35%, silte = 10% e argila = 55%) (Pedó, 1986).

Os experimentos foram instalados, nos dois anos, sobre a mesma área conduzida há mais de 15 anos com o sistema de semeadura direta na palha, sendo a soja a cultura anterior para o ano de 2002 e milho para o ano de 2003. A análise química do solo do local do experimento foi feita antes da semeadura, nos dois anos, com amostras retiradas na profundidade de 0 – 20 cm. As amostras foram enviadas para o Laboratório de Análise de Solos da UFRGS e processadas conforme a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Os resultados das análises químicas das amostras, para os dois anos, encontram-se descritos na Tabela 1.

TABELA 1. Análise químico de amostras de solo das áreas experimentais. EEA/UFRGS, 2002/2003.

Ano	pH (H ₂ O)	P	K	MO ¹	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V ²
		--- mg L ⁻¹ --		mg kg ⁻¹	-----	cmol _c L ⁻¹ -----		%
2002	5,8	17	152	20	0	3,3	1,9	78
2003	6,1	14	178	20	0	4,3	2,5	76

¹ MO = matéria orgânica

² V = saturação de bases

O clima da região é do tipo Cfa, de acordo com a classificação climática de Köppen, correspondente à subtropical de verão úmido quente (IPAGRO, 1979). A média anual de precipitação pluvial corresponde a 1440mm e a temperatura média mensal varia entre 13,9 e 24,9°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

Os trabalhos de laboratório foram realizados no Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Plantas de Lavoura da Faculdade de Agronomia da UFRGS, em Porto Alegre (RS).

3.1 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos experimentais constaram de seis genótipos (dois de cevada e quatro de aveia) e de doses de nitrogênio (30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹) aplicados em cobertura além da testemunha sem N. Os genótipos utilizados (Tabela 2) foram: BRS 195 e MN 698 (cevada) e UFRGS 19, URS 21, 93605 e UPF 18 (aveia). As cultivares MN 698 (cevada) e URS 21, UPF 18 (aveia) foram escolhidas por serem mais suscetíveis ao acamamento e as demais, incluindo a linhagem 93605, por apresentarem distintos graus de resistência ao acamamento (Tabela 2).

TABELA 2. Características dos genótipos utilizados nos dois anos agrícolas. EEEA/UFRGS. 2002/2003.

Genótipo	Espécie	Origem	Suscetibilidade ao acamamento	Estatura
BRS 195	Cevada	Embrapa	Resistente	Baixa*
MN 698	Cevada	AmBev	Suscetível	Media**
UFRGS 19	Aveia	UFRGS	Resistente	Baixa
URS 21	Aveia	UFRGS	Suscetível	Media
93605	Aveia	UFRGS	Resistente	Baixa
UPF 18	Aveia	UPF	Suscetível	Alta***

* (entre 0,50 e 0,85 m) ** (entre 0,85 e 1,10 m) *** (mais de 1,10m)

As unidades experimentais foram constituídas de parcelas com área total de 8,5 m², compostas de 10 linhas espaçadas 0,17m entre si e com 5,0 m de comprimento.

O delineamento experimental utilizado foi de parcelas subdivididas com as parcelas principais arranjadas em blocos casualizados com quatro repetições, tendo na parcela principal o fator genótipos e na subparcela as doses de N em cobertura.

3.2 Manejo das áreas experimentais

A adubação da área experimental foi feita antes da semeadura, nos anos agrícolas de 2002 e 2003, quando foram incorporados 300 kg ha⁻¹ da mistura de

adubo contendo superfosfato triplo + cloreto de potássio na fórmula 0-21-30. No ano de 2002, na mesma época da adubação, e sobre a vegetação existente, foi aplicado o herbicida Glifosate (Roundup) na dose de 2,5L ha⁻¹ do produto comercial, para controle de ervas daninhas. Já no ano agrícola de 2003 as ervas daninhas foram controladas com a aplicação de Metsulfuron-metil (Ally) na dose de 2g ha⁻¹ do produto comercial.

A semeadura foi realizada na profundidade de ± 3 cm com semeadora experimental de plantio direto de 10 linhas. Para o ano de 2002, a data de semeadura foi 27 maio e, em 2003, 5 junho. A quantidade de sementes.m⁻² utilizada foi de 320, para todos os genótipos, As sementes foram tratadas com uma mistura de Difeconazole (Spectro) + Iprodione (Rovral), na dose de 200ml + 80ml dos produtos comerciais. Na semeadura foram aplicados 20 kg. ha⁻¹ de N (uréia) como adubação de base para todos os tratamentos. Os tratamentos (doses de N) foram aplicados na forma de uréia no momento da cobertura, quando as plantas apresentaram cinco folhas completamente expandidas e início de expansão da sexta folha, no estágio 5.1 da escala Haun (Haun, 1973).

O controle de plantas invasoras (azevém), após a implantação das culturas em 2002, foi feito com o herbicida Diclofop-metil (Iloxan) na dose de 0,6L ha⁻¹ no dia 05 de junho no mesmo ano. As manchas foliares foram controladas com a aplicação do fungicida Tebuconazole (Folicur), na dose de 0,8L ha⁻¹ do produto comercial no dia 16 de julho e do fungicida Pyraclostrobin + Epoxiconazole (Ópera), na dose de 1L ha⁻¹ do produto comercial no dia 01 de agosto. No ano de 2003 este último fungicida também foi utilizado, na mesma dosagem, nos dias 01 e 30 de julho e 04 de setembro. Também em 2003, o

controle de pulgão foi feito com inseticida Dimetoato (Agritoato), na dose de 0,7L ha⁻¹ do produto comercial no dia 30 de julho e no dia 04 de setembro.

A colheita do experimento do ano 2002 ocorreu no dia 1º de novembro e do experimento conduzido no ano agrícola de 2003, no dia 5 de novembro.

3.3 Avaliações de etapas fenológicas e características biométricas de colmo e de raízes nos dois anos agrícolas

No transcurso dos experimentos, desde a semeadura até a colheita, nos anos de 2002 e 2003, foram registradas as datas e calculados os dias transcorridos após a emergência (DAE) dos principais estádios de desenvolvimento (alongamento, antese e maturação de colheita) (Tabelas 3 e 5). Para tanto, foi considerada a data de alongamento quando a maioria das plantas apresentaram os primeiros nós visíveis sobre a superfície do solo; a data de antese foi anotada quando aproximadamente mais de 50% das espigas/panículas apresentaram as anteras da porção mediana visíveis externamente; a maturação de colheita foi determinada quando os grãos atingiram o estágio de massa dura e a palha apresentava-se em fase final de amarelecimento.

TABELA 3. Datas do alongamento, antese e maturação de colheita de genótipos de cevada e aveia, em dois anos agrícolas. EEEA/UFRGS, 2002/2003.

Genótipos	Anos					
	2002			2003		
	Along.	Antese	Maturação	Along.	Antese	Maturação
Cevada						
BRS 195	25/07	10/09	14/10	28/07	12/09	17/10
MN 698	25/07	27/08	10/10	01/08	12/09	17/10
Aveia						
UFRGS 19	01/08	10/09	10/10	05/08	18/09	20/10
URS 21	01/08	10/09	14/10	05/08	18/09	24/10
93605	01/08	16/09	14/10	01/08	18/09	24/10
UPF 18	09/08	20/09	21/10	08/08	25/09	28/10

Os estádios fenológicos foram relacionados com o tempo através da soma térmica (Tabela 6). A soma térmica acumulada para um determinado período foi obtida pelo acúmulo diário de temperatura em graus-dia (GD).

$$GD_i = \frac{T_{\max_i} + T_{\min_i} - Tb}{2}$$

Onde GD_i = Graus-dia (°C) do dia i.

T_{\max_i} = Temperatura máxima do ar (°C) do dia i.

T_{\min_i} = Temperatura mínima do ar (°C) do dia i.

Tb = Temperatura base (°C), considerada como 0 °C para os cereais de inverno (Masle,1987).

3.3.1 Avaliações de características biométricas no ano 2002

3.3.1.1 Caracterização do tipo, percentagem e índice de acamamento de plantas

O critério visual para caracterizar o tipo de “acamamento de raiz” foi a observação de plantas com deslocamento das raízes mas com os colmos intactos, sem dobra e, para o “acamamento de colmo”, a observação de plantas com curvatura da porção basal do colmo.

A percentagem de acamamento de todos os genótipos, foi medida no dia 10/10/2002 (124 DAE) considerando área da parcela com plantas acamadas com relação a área total.

O índice de acamamento foi avaliado, a campo, em 20 plantas por parcela, por ocasião do acamamento, o qual ocorreu no dia 07/10/2002 aos 121 DAE como consequência de uma tormenta com chuva de 40,8 mm e ventos de

2,4 m s⁻¹. O índice foi estabelecido pelo grau de inclinação das plantas em relação à vertical, atribuindo-se notas que variaram de 1 a 5. A nota extrema (5) correspondeu à parcela onde mais do 50% das plantas acamadas se encontraram totalmente deitadas. A nota 3 foi atribuída quando mais do 50% das plantas acamadas da parcela mostravam um ângulo de inclinação de 45° em relação a vertical. A nota 1 correspondeu a plantas sem acamar.

3.3.1.2 Análise estrutural e anatômica dos colmos

As medições de colmo foram realizadas no final do ciclo da planta, antes da colheita. Os colmos principais de cinco plantas por parcela foram selecionados e deles retiradas as folhas e bainhas foliares que envolvem cada colmo. Neles foram medidos o comprimento do 1º e 2º entrenós e, com paquímetro analógico, o diâmetro da parte média do 1º entrenó basal. A estatura final foi medida desde o colo da planta até o ápice da espiga/panícula.

3.3.1.3 Análise de lignina dos colmos

A amostragem de colmos, para análise de lignina, foi feita no final do estágio de antese 110 DAE para a linhagem 93605 e a cultivar URS 21. Para as demais cultivares a amostragem foi feita no começo da maturação quando ocorreu uma tormenta de chuva e vento registrada no dia 2 de outubro de 2002 (55 mm de precipitação pluvial e ventos de 3,0 m/s) aos 117 DAE. A amostragem de colmos foi feita coletando dez deles de cada parcela e retirando suas folhas e bainhas foliares. Após foram secos em estufa de aeração forçada a $\pm 65^{\circ}\text{C}$, até massa constante. A seguir, eles foram moídos e, posteriormente, realizada a quantificação do conteúdo de lignina através do método de determinação de fibra em detergente ácido (Van Soest & Moore, 1966), no

Laboratório de Análises Bromatológicas de Alimentos do Departamento de Zootecnia/UFRGS.

3.3.1.4 Rendimento de grãos

A colheita de grãos foi realizada no dia 1/11/2002, dentro da área útil (2 m²) constituída de seis linhas centrais com 2,0 m de comprimento. As plantas foram ceifadas manualmente rente ao solo e, posteriormente, trilhadas em máquina estacionária. Os grãos foram então pesados e a massa obtida foi corrigida para a umidade de 13%. Após, foi determinado o peso dos grãos e calculado o rendimento em kg ha⁻¹.

3.3.2 Avaliações de características biométricas no ano 2003

3.3.2.1 Caracterização do tipo, índice e percentagem de acamamento de plantas

O acamamento ocorreu no dia 28/10/2003 aos 130 DAE como conseqüência de ventos de 4,4 ms⁻¹, e solo muito úmido decorrente de chuvas de 149 mm registradas durante os dias 24 e 25/10/2003. No dia 31/10/2003 foi determinado o tipo, o índice e a percentagem de acamamento, seguindo o procedimento descrito no item 3.3.1.1.

3.3.2.2 Análises estrutural e anatômica dos colmos e raízes

As análises foram feitas com base em 15 plantas consecutivas, coletadas aos 126 DAE na linha seguinte a da bordadura, retirando-as com pá de corte de modo de obter plantas com sistema radical intacto.

Em cinco dessas plantas foi contado o número de afilhos, os colmos principais separados, deles retiradas as folhas e realizadas as seguintes medições: a) comprimento do 1º e 2º entrenó basais; b) diâmetro e espessura da parede da parte média do 1º e 2º entrenó basais (medido com paquímetro analógico) e, c) a estatura final (desde o colo da planta até o ápice da espiga/panícula).

Nas outras 10 plantas as raízes foram separadas dos colmos principais, e foram colocadas em peneira de malha fina e cuidadosamente lavadas sob jato de água de torneira para extrair o solo e resíduos de palha. A massa da parte aérea foi separada em duas partes: a) pedúnculo + inflorescência e b) o restante dos colmos e folhas. Os três conjuntos foram colocados para secar em estufa de aeração forçada a $\pm 65^{\circ}\text{C}$, até massa constante, obtendo-se assim: a) a massa seca total da parte aérea, b) a massa seca da parte aérea sem pedúnculo e inflorescência, c) a massa seca de pedúnculo + inflorescência e, d) a massa seca das raízes. Com estes dados calculou-se a relação peso seco total da parte aérea/peso seco de raízes (PA/PR).

3.3.2.3 Ancoragem radical

A determinação da ancoragem radical foi feita antes da ocorrência do acamamento das plantas, quando o solo estava com muita umidade, próxima a capacidade de campo, no dia 8/10/2003 aos 1740 GD. Para tanto, foram coletadas três amostras por parcela, cada uma constituída de plantas retiradas em 15 cm lineares, sendo que cada amostra foi composta por um número variável de plantas. A forma de coleta foi arrancamento manual, procurando-se exercer uma força de tração relativamente constante e similar para todas as

amostras. A seguir as plantas, junto com o bloco de solo aderido às raízes e que acompanhava cada amostra, foram pesadas. Posteriormente, foi contado o número de plantas de cada amostra e o peso do bloco foi expresso por unidade de planta. Esta metodologia, de geração própria, estima a dispersão radical e, conseqüentemente, a ancoragem apresentada por cada genótipo. A premissa deste método é de que as plantas que apresentam maior dispersão radical e, portanto, melhor ancoragem, trazem, associado às raízes, um bloco de solo maior e, conseqüentemente, de maior peso.

3.3.2.4 Índice de colheita

O índice de colheita (IC) foi determinado na maturação, uma semana antes da colheita final. A parte aérea de uma linha de plantas com 50cm de comprimento foi coletada nas parcelas de todos os tratamentos e repetições. Após a secagem das plantas em estufa, a $\pm 65^{\circ}\text{C}$, procedeu-se a pesagem da massa seca total, obtendo-se o rendimento biológico. Logo depois, procedeu-se a trilha do material (palha + grãos) e a separação e pesagem dos grãos. O IC foi obtido através da relação entre a massa seca dos grãos pesados e a massa seca total da parte aérea.

3.3.2.5 Rendimento de grãos

A colheita foi realizada de forma mecanizada utilizando-se a colhedora Wintersteiger de fluxo axial. A área útil ($4,2 \text{ m}^2$) foi composta das seis linhas centrais, desprezando-se 0,5 m em cada extremidade. Os grãos foram pesados e a massa obtida foi corrigida para a umidade de 13% e calculado o rendimento em kg ha^{-1} .

3.4 Dados meteorológicos do local de execução dos experimentos

As variáveis meteorológicas dos anos de 2002 e de 2003 foram obtidas na base física do Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia na EEA/UFRGS distante $\pm 2,0$ km da área experimental. As variáveis, para os meses de maio a novembro de cada ano, são apresentados na Tabela 4.

TABELA 4. Temperatura do ar (média diária), precipitação pluvial (mensal), umidade relativa do ar (média diária) e radiação solar (média diária) para os meses de maio a novembro (médias mensais). EEA/UFRGS, 2002-2003.

Meses	Temp. do ar (°C)		Prec. pluvial (mm)		Umidade rel.do ar (%)		Rad. solar diária (cal cm ² .dia)	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Maio	17,5	15,7	146,2	41	84,0	80,0	212	249
Junho	13,4	15,6	225,8	161,2	84,0	89,0	192	145
Julho	12,8	12,9	208,1	138,7	84,4	74,1	140	185
Agosto	15,3	12,5	156,7	60,7	83,0	77,8	150	266
Setembro	14,6	14,9	168,1	68,7	79,1	78,1	342	314
Outubro	20,3	19	253,3	277,3	84,3	77,0	312	400
Novembro	21,3	20,7	144,1	119,4	78,6	75,8	431	492
Média	16,45	15,9	167,5	123,8	82,5	78,2	254	294

3.5 Análise estatística

Os dados das avaliações realizadas foram submetidos à análise de regressão e variância pelo F-teste. O teste de Tukey foi utilizado ao nível de significância de 5%, quando existiam diferenças significativas entre tratamentos. Na análise de variância, para testar o efeito interação, considerou-se o F-teste significativo a 5% de probabilidade. Os coeficientes de correlação entre o acamamento e as características de plantas foram calculados através da análise entre resíduos da análise de variância. Estas análises foram feitas através do PROC- GLM (General Linear Models), do programa Statistical Analysis System (SAS, 1999-2000).

4 RESULTADOS

Os dados de dias após a emergência e a soma térmica em graus dias na fase de alongamento, antese e maturação de colheita se encontram nas tabelas 5 e 6.

TABELA 5. Dias após emergência (DAE) das fases de alongamento, antese e maturação de colheita de genótipos de cevada e aveia, em dois anos agrícolas. EEEA/UFRGS, 2002/2003.

Genótipos	Anos					
	2002			2003		
	Along.	Antese	Maturação	Along.	Antese	Maturação
Cevada						
BRS 195	48	95	129	42	88	122
MN 698	48	81	125	46	88	122
Aveia						
UFRGS 19	55	95	125	50	94	123
URS 21	55	95	129	50	94	126
93605	55	101	129	46	94	125
UPF 18	63	105	136	53	101	130

TABELA 6. Soma térmica em graus dias (GD) após a emergência para atingir as fases de alongamento, antese e maturação de colheita de genótipos de cevada e aveia, em dois anos agrícolas. EEEA/UFRGS, 2002/2003.

Genótipos	Anos					
	2002			2003		
	Along.	Antese	Maturação	Along.	Antese	Maturação
Cevada						
BRS 195	654	1330	1954	626	1284	1877
MN 698	654	1149	1864	678	1284	1877
Aveia						
UFRGS 19	734	1330	1864	747	1340	1920
URS 21	734	1330	1954	747	1351	1940
93605	734	1426	1954	678	1351	2018
UPF 18	840	1493	2100	785	1474	2142

Os genótipos foram agrupados de acordo com a magnitude de expressão da porcentagem de acamamento (Figura 1). Em primeiro lugar, descrevem-se os que manifestaram baixa ou nenhuma expressão de acamamento (cultivar UFRGS 19 e linhagem 93605 de aveia e cultivar BRS 195 de cevada); em segundo lugar, o grupo que apresentou alta expressão do acamamento nos dois anos estudados (cultivares de aveia URS 21, UPF 18 e cultivar de cevada MN 698) (Figura 1).

O tipo de acamamento caracterizado para cada genótipo nos dois anos agrícolas foi determinado em função da apreciação visual. A linhagem 93605 e as cultivares MN 698 e URS 21 apresentaram curvaturas nos entrenós basais, características do “acamamento de colmo”. Os três genótipos restantes tiveram “acamamento de raiz”, de acordo com a caracterização do acamamento feita por Pinthus (1974). Já no ano de 2003 todos os genótipos apresentaram acamamento caracterizado como de “raiz” (Tabela 7).

TABELA 7. Caracterização do tipo de acamamento de genótipos de aveia e de cevada em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, 2002/2003.

Grau suscetibilidade.	Genótipos menos suscetíveis						Genótipos mais suscetíveis					
	BRS 195		UFRGS 19		L93605		MN 698		URS 21		UPF 18	
Genótipos	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz
Tipo de acamamento	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz	Colmo	Raiz
2002	--	X	--	X	X	--	X	--	X	--	--	X
2003	--	X	--	X	--	X	--	X	--	X	--	X

A associação entre as variáveis estudadas e o acamamento foi feita por análise de correlação. As associações, quando significativas, em geral mostraram pequenos valores para o coeficiente de correlação (r) (Tabela 8).

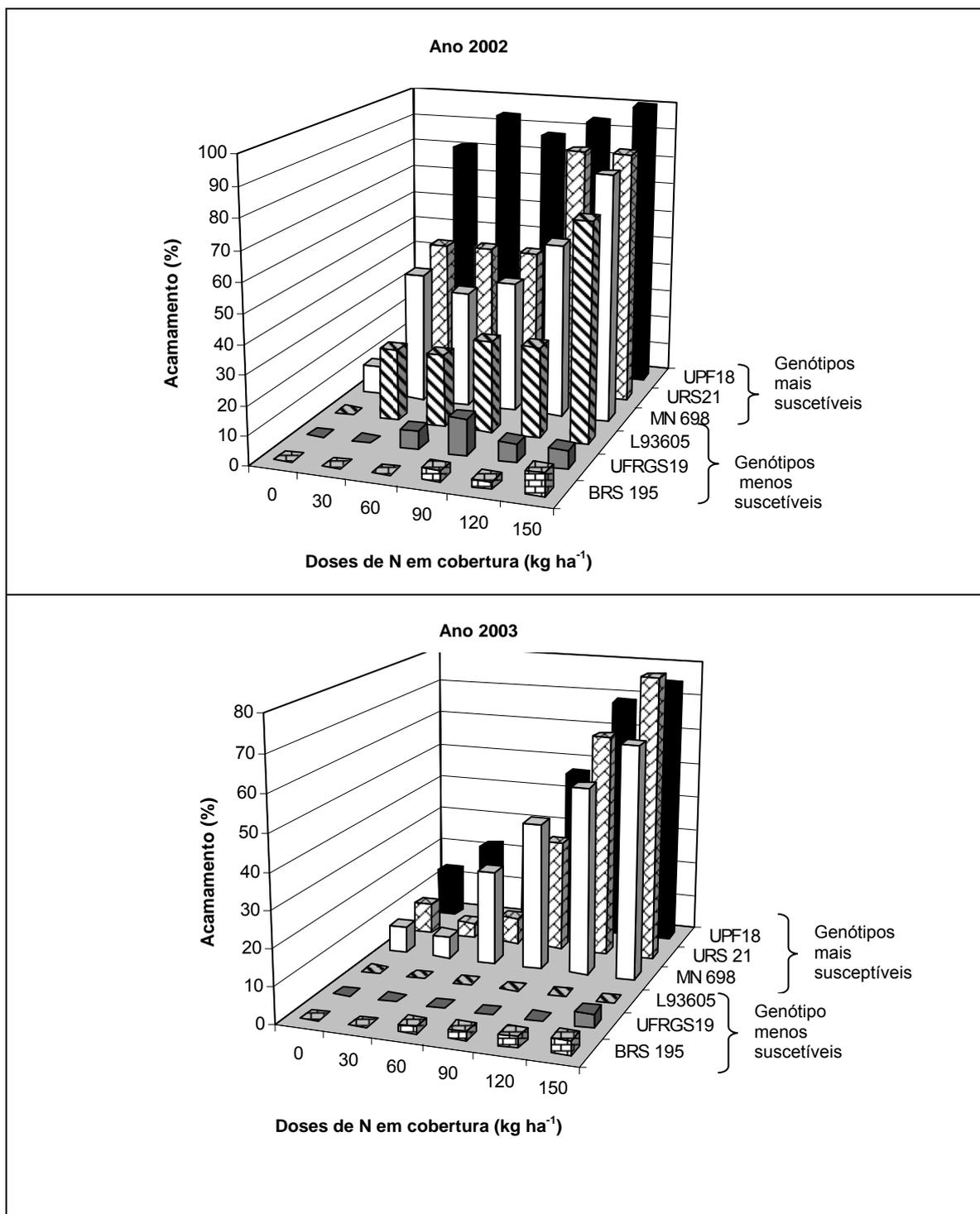


FIGURA 1. Porcentagem de acamamento em genótipos de aveia e cevada nos tratamentos com doses de N em cobertura. EEA/UFRGS. 2002/2003.

Os resultados da análise de variância revelaram diferenças significativas da interação genótipo x dose de N x ano na análise conjunta para todas as variáveis analisadas (Apêndice 1). Quando as avaliações foram feitas em apenas um dos anos (2002 ou 2003) também ocorreram interações entre genótipo x dose de N para as variáveis em estudo (Apêndice 2).

De acordo com a análise de variância, a interação tríplice genótipo x dose x ano mostrou pouca consistência biológica para a maioria das variáveis avaliadas em relação a sua resposta ao aumento de nitrogênio. Por esta razão foram consideradas as comparações da interação ano x genótipo, dentro da análise feita em conjunto. Isto permitiu comparar o efeito do ano, na média das doses de N para cada genótipo com resultados mais adequados para o objetivo deste estudo (Tabela 9).

Na análise de variância dentro de cada ano, foi considerado o efeito simples de genótipos, comparando-se os mesmos, na média das doses de N (Tabelas 10 e 11).

Para analisar os efeitos do N optou-se por estudar as variáveis através de regressão simples apresentando as equações e os coeficientes de regressão estimados pelo PROC- GLM (General Linear Models), do programa Statistical Analysis System (SAS, 1999-2000). Os gráficos foram construídos a partir dos valores médios para cada dose de N.

TABELA 8. Correlações entre percentagem de acamamento e características de colmo e de raiz de genótipos de aveia e de cevada em dois anos agrícolas. EEA/UFRGS, 2002/2003.

Genótipos	Genótipos menos suscetíveis						Genótipos mais suscetíveis					
	BRS 195		UFRGS 19		L 93605		MN6 98		URS 21		UPF18	
Variáveis	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
IA	-0,21*	0,92**	1**	1**	0,38**	NS	NS	0,24**	1**	1**	1**	NS
C1enó	NS	0,17 ^{1/} **	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C2enó	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,21**	NS
D1enó	0,20**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
D2enó	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS
E1enó	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS
E2enó	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS
Est	NS	NS	NS	NS	0,18**	NS	NS	NS	NS	0,18*	NS	NS
Afilh.	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS
Lig	NS	--	--	--	NS	--	-0,25**	--	--	--	--	--
Psa1	--	-0,38**	--	-0,60**	--	NS	--	0,17*	--	NS	--	0,36**
Psa2	--	NS	--	0,42**	--	NS	--	NS	--	0,21*	--	NS
Psr	--	NS	--	0,35**	--	NS	--	-0,20*	--	NS	--	-0,20*
PA/PR	--	NS	--	NS	--	NS	--	0,43**	--	NS	--	NS
Anc.	--	-0,42**	--	-0,54**	--	NS	--	-0,33**	--	NS	--	NS
IC	--	NS	--	NS	--	NS	--	NS	--	0,25**	--	0,28**
Rend.	0,46**	NS	-0,22*	NS	0,25**	NS	0,26**	0,21*	0,21**	NS	NS	NS

^{1/} coeficiente de correlação (r); * significativo a 5%; ** significativo a 1%; NS não significativo -- variável não analisada.

Descrição das variáveis.

(IA) = Índice de acamamento (grau de inclinação das plantas).

(C1enó) = Comprimento 1º entrenó do colmo principal (cm).

(C2enó) = Comprimento 2º entrenó do colmo principal (cm).

(D1enó) = Diâmetro do 1º entrenó do colmo principal (mm).

(D2enó) = Diâmetro do 2º entrenó do colmo principal (mm).

(E1enó) = Espessura da parede do 1º entrenó do colmo principal (mm).

(E2enó) = Espessura da parede do 2º entrenó do colmo principal (mm).

(Est) = Estatura do colmo principal (cm).

(Afilh) = Número de afilhos por planta.

(Lig) = Teor de lignina do colmo principal (%).

(Psa1) = Peso seco da parte aérea (sem o pedúnculo e inflorescência) (g).

(Psa2) = Peso seco do pedúnculo (último entrenó) + inflorescência (g).

(Psr) = Peso seco raízes (g).

(PA/PR) = Relação entre o peso seco da parte aérea e o das raízes.

(Anc) = Ancoragem das plantas (g solo pta⁻¹).

(IC) = Índice de colheita.

(Rend) = Rendimento de grãos (kg ha⁻¹).

TABELA 9. Comparações entre anos para as variáveis analisadas em 2002 e 2003 de genótipos de aveia e de cevada na média dos tratamentos com N em cobertura. EEA/UFRGS, 2002/2003.

Genótipos	Genótipos menos suscetíveis						Genótipos mais suscetíveis					
	BRS 195		UFRGS 19		L 93605		MN698		URS 21		UPF 18	
Variáveis.	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
Acam	2,00 NS	2,00 NS	5,00 A	1,00 B	31 A	0,00B	47 A	33 B	55 A	32 B	80 A	42 B
IA	1,57 NS	1,41 NS	1,21 A	1,04 B	2,16 A	1,00 B	3,91 B	4,12 A	3,21 B	4,54 A	4,21 B	4,87 A
C1enó	1,63 A	1,13 B	2,11 A	1,28 B	3,07 A	1,83 B	1,34 B	1,91 A	1,86 A	1,34 B	3,72 A	1,55 B
C2enó	4,59 A	3,60 B	7,28 A	5,54 B	5,92 NS	6,45 NS	3,87 B	5,75 A	5,51 NS	4,81 NS	5,77 NS	4,84 NS
D1enó	2,80 NS	2,49 NS	3,20 A	2,70 B	3,70 A	3,13 B	2,64 NS	2,61 NS	3,00 A	2,68 B	3,50 NS	3,36 NS
Est	59 A	51 B	89 A	81 B	80 A	68 B	82 A	73 B	106 A	86 B	126 A	106 B
Rend.	2570 B	3110 A	2580 NS	2470 NS	2600 A	2430 B	3200 A	2530 B	1840 NS	1720 NS	2970 A	2540 B

Médias seguidas de diferente letra maiúscula na linha, para cada genótipo diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.
NS Não houve diferença significativa.

Descrição das variáveis.

(Acam) = Acamamento (%).

(IA) = Índice de acamamento (grau de inclinação das plantas).

(C1enó) = Comprimento 1º entrenó do colmo principal (cm).

(C2enó) = Comprimento 2º entrenó do colmo principal (cm).

(D1enó) = Diâmetro do 1º entrenó do colmo principal (mm).

(Est) = Estatura do colmo principal (cm).

(Rend) = Rendimento de grãos (kg ha⁻¹).

TABELA 10. Comparações entre genótipos de aveia e de cevada para as variáveis analisadas em 2002, na média dos tratamentos de N em cobertura. EEA/UFRGS, 2002.

Variáveis	Genótipos menos suscetíveis			Genótipos mais suscetíveis		
	BRS 195	UFRGS 19	L 93605	MN6 98	URS 21	UPF 18
Acam	2 E	5 E	31 D	47 C	55 B	80 A
IA	1,57 E	1,20 F	2,16 D	3,91 B	3,21 C	4,20 A
C1enó	1,63 DE	2,11 C	3,07 B	1,34 E	1,86 DC	3,72 A
C2enó	4,59 C	7,28 A	5,92 B	3,87 D	5,51 B	5,76 B
D1enó	2,79 E	3,20 C	3,70 A	2,64 F	3,00 D	3,50 B
Est	59 E	89 C	80 D	82 D	106 B	126 A
Lig	8,27 BC	7,90 D	8,62 A	8,50 AB	8,25 BC	8,02 CD
Rend	2570 C	2580 C	2600 C	3200 A	1840 D	2970 B

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. NS Não houve diferença significativa.

Descrição das variáveis.

(Acam) = Percentagem de plantas acamadas por parcela.
(IA) = Índice de acamamento (grau de inclinação das plantas).
(C1enó) = Comprimento 1º entrenó do colmo principal (cm).
(C2enó) = Comprimento 2º entrenó do colmo principal (cm).

(D1enó) = Diâmetro do 1º entrenó do colmo principal (mm).
(Est) = Estatura do colmo principal (cm).
(Lig) = Teor de lignina do colmo principal (%).
(Rend) = Rendimento de grãos (kg ha⁻¹).

TABELA 11. Comparações entre genótipos aveia e de cevada para as variáveis analisadas em 2003 na média dos tratamentos de doses de N em cobertura. EEA/UFRGS, 2003.

Variáveis	Genótipos menos suscetíveis			Genótipos mais suscetíveis		
	BRS 195	UFRGS 19	L 93605	MN 698	URS 21	UPF 18
Acam	2,00 C	1,00 CD	0,00 D	33 B	32 B	42 A
IA	1,41 D	1,04 E	1,00 E	4,12 C	4,54 B	4,87 A
C1enó	1,13 D	1,28 CD	1,83 AB	1,91 A	1,34 CD	1,55 BC
C2enó	3,60 D	5,54 BC	6,45 A	5,75 AB	4,81 C	4,84 C
D1enó	2,49 D	2,69 C	3,13 B	2,61 CD	2,68 C	3,36 A
D2enó	2,71 E	3,42 C	3,66 B	2,90 E	3,14 D	3,96 A
E1enó	0,42 C	0,47 B	0,46 BC	0,45 BC	0,47 B	0,56 A
E2enó	0,29 C	0,35 B	0,36 B	0,43 A	0,31 C	0,41 A
Est	51 F	81 C	68 E	73 D	86 B	106 A
Afilh.	2,00 CD	2,18 BC	2,00 D	3,00 A	2,30 B	2,10 CD
Psa1	3,63 B	3,75 A	1,99 D	3,81 B	1,99 D	2,76 C
Psa2	4,46 B	4,79 A	2,81 E	4,68 C	2,57 E	3,50 D
Psr	0,31 B	0,38 A	0,23 D	0,19 E	0,23 D	0,25 C
PA/PR	24 C	23 D	21 E	38 A	20 F	25 B
Anc.	123 B	154 A	109 C	112 C	92 D	71,30 E
Rend.	3110 A	2470 BC	2430 C	2530 BC	1720 D	2540 B
IC	0,28 A	0,22 D	0,24 CD	0,26 B	0,24 C	0,23 CD

Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. NS Não houve diferença significativa.

Descrição das variáveis.

(Acam) = Percentagem de plantas acamadas por parcela.

(IA) = Índice de acamamento (grau de inclinação das plantas).

(C1enó) = Comprimento 1º entrenó do colmo principal (cm).

(C2enó) = Comprimento 2º entrenó do colmo principal (cm).

(D1enó) = Diâmetro do 1º entrenó do colmo principal (mm).

(D2enó) = Diâmetro do 2º entrenó do colmo principal (mm).

(E1enó) = Espessura da parede do 1º entrenó do colmo principal (mm).

(E2enó) = Espessura da parede do 2º entrenó do colmo principal (mm).

(Est) = Estatura do colmo principal (cm).

(PA1) = Peso seco da parte aérea (sem o pedúnculo e inflorescência) (g).

(PA2) = Peso seco pedúnculo (último entrenó) + inflorescência (g).

(PR) = Peso seco raízes por planta (g).

(PA/PR) = Relação entre o peso da parte aérea e o das raízes.

(Anc) = Ancoragem das plantas (g solo pta⁻¹).

(IC) = Índice de colheita.

(Rend) = Rendimento de grãos (kg ha⁻¹).

4.1 Genótipos de baixa e média suscetibilidade ao acamamento

Neste grupo foram incluídas as cultivares BRS 195 e UFRGS 19, que expressaram baixo acamamento (menor que 10%) na média dos tratamentos para os dois anos (Figura 1 e Tabela 9). Também participa a linhagem 93605, de média suscetibilidade, que em 2003 não manifestou acamamento. Já em 2002 apresentou acamamento médio de 30% com resposta linear aos tratamentos com N em cobertura. Neste caso, os tratamentos aplicados explicaram 65% do acamamento (Figura 2C).

A cultivar BRS 195 não apresentou diferença significativa de acamamento entre anos (Tabela 9). Embora o acamamento não tenha ultrapassado 10%, ocorreu um padrão de resposta linear e positiva quando houve aumento dos teores de N, para ambos anos agrícolas estudados. No ano de 2002 o incremento de N explicou 49% do acamamento (Figura 2A).

A cultivar UFRGS 19 apresentou aumentos de acamamento de pequena magnitude, com doses de N a partir de 60 kg.ha⁻¹ no ano de 2002, com um modelo de resposta quadrática (Figura 2B). No ano de 2003 o acamamento foi relevante na doses de 150 kg.ha⁻¹ (Apêndice 3).

O índice de acamamento (IA) mostrou uma forte influência das doses de N aplicadas para os três genótipos (Figuras 3A, 3B e 3C). Estes genótipos apresentaram baixos índices de acamamento, mostrando plantas com maior ângulo de inclinação no ano de 2002 (Tabela 9). Dentro deste grupo a linhagem 93605 foi o genótipo que mostrou o maior IA no ano de 2002 (Tabela 10), no qual as doses de N explicaram 67% da inclinação que sofreram as plantas (Figura 3C). Esta cultivar, no ano de 2002, mostrou correlação positiva com o

acamamento ($r = 0,38^{**}$) (Tabela 8). A cultivar UFRGS 19 apresentou correlação total do IA com o acamamento para ambos anos ($r = 1^{**}$) (Tabela 8). Já a cultivar BRS 195 mostrou diferenças entre anos, exibindo uma correlação negativa ($r = -0,21^*$) no ano de 2002 e positiva ($r = 0,92^{**}$) no ano de 2003 (Tabela 8).

4.1.1 Características de colmo

A relação entre as variáveis biométricas de colmo com acamamento é descrita a seguir, abordando as diferenças entre anos e os efeitos dos níveis de nitrogênio em cobertura.

A análise dos valores obtidos de comprimento do 1º e 2º entrenó mostrou grande variabilidade (coeficientes de variação de 45 % e 32 % para 1º e 2º entrenó, respectivamente) e, em geral, os modelos explicaram as variações do comprimento com os tratamentos de doses de N em cobertura (Figuras 4 e 5)

O comprimento do 1º entrenó, nas médias dos tratamentos dentro de cada genótipo no ano de 2002, foi maior que no ano de 2003, para os três genótipos deste grupo (Tabela 9). Coincidentemente, no ano de 2002, estes genótipos também mostraram sua maior expressão de acamamento. (Figura 1 e Tabela 9). Neste ano as respostas aos incrementos de N foram de tipo quadrática (Figura 4), mas no ano de 2003, não foi observado nenhum tipo de ajuste para os modelos testados (Figuras 4A, 4B e 4C). Apenas a cultivar BRS 195 mostrou correlação significativa e positiva do acamamento com o comprimento do 1º entrenó ($r = 0,17^{**}$) para o ano de 2003, onde as doses de N explicaram 12 % da variação no comprimento (Tabela 8 e Figura 4A).

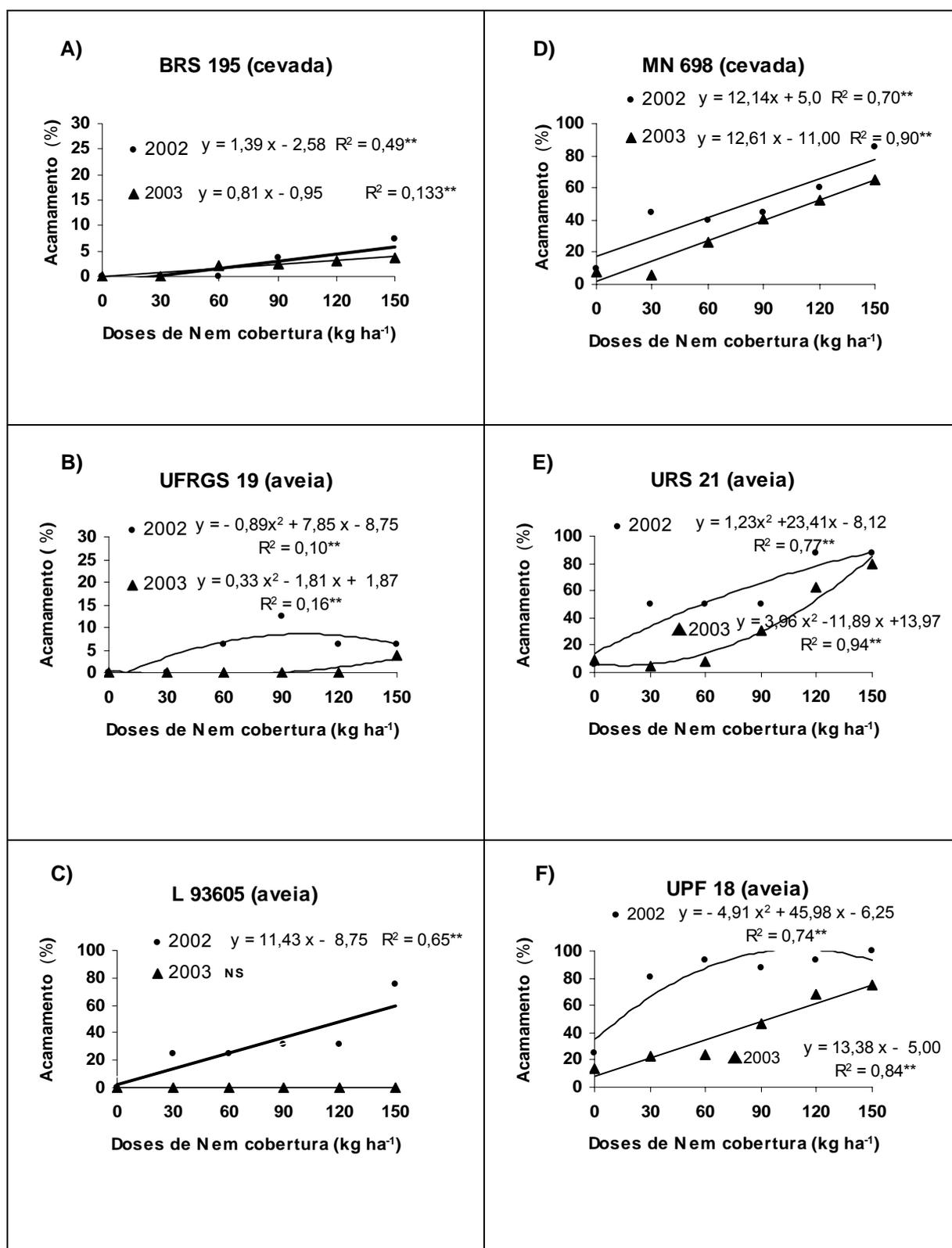


FIGURA 2. Porcentagem de acamamento para cultivares de cevada e de aveia sob diferentes doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. ** significativo a 1%. NS não significativo.

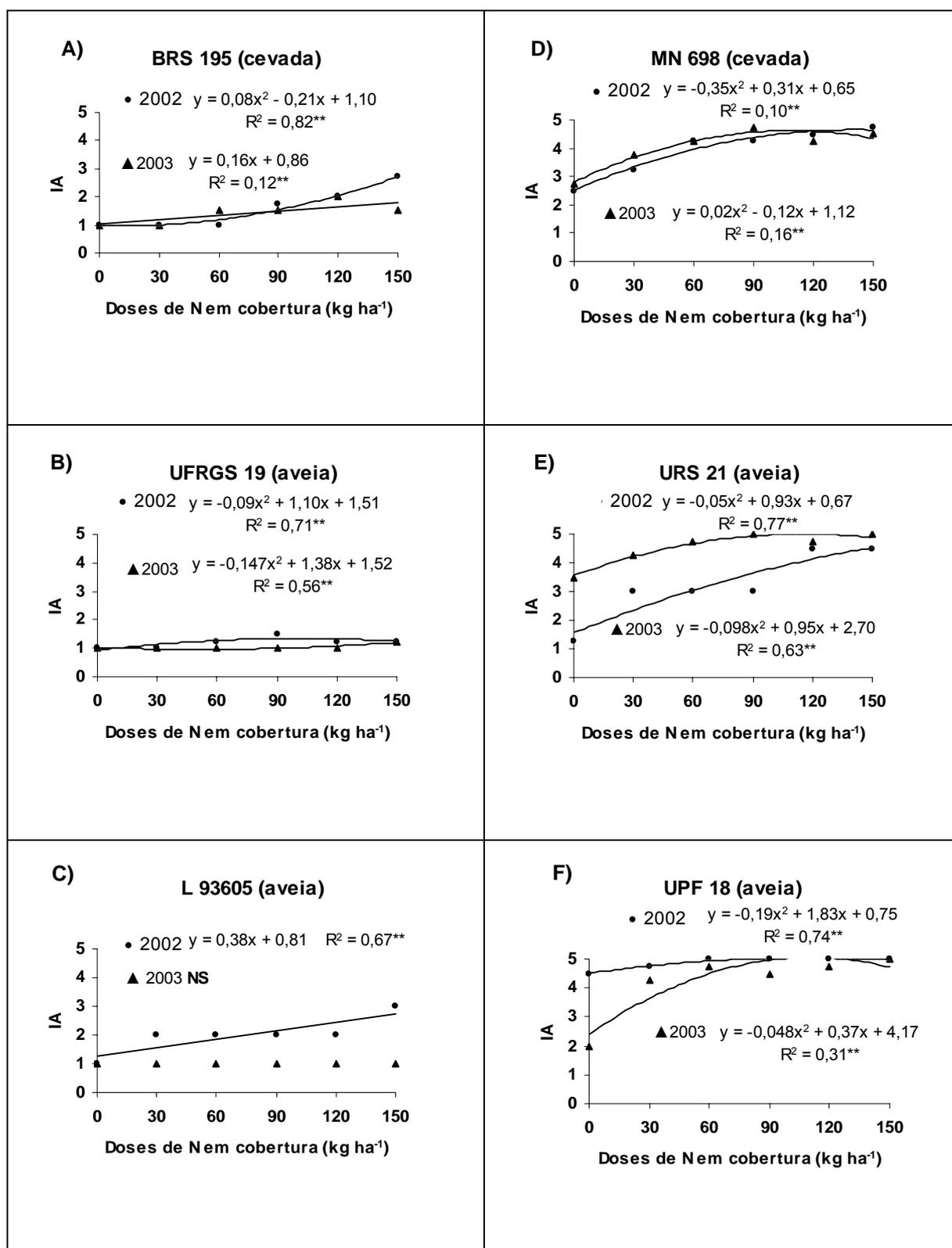


FIGURA 3. Índice de acamamento (IA) para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS 2002-2003, ** significativo a 1%. NS não significativo.

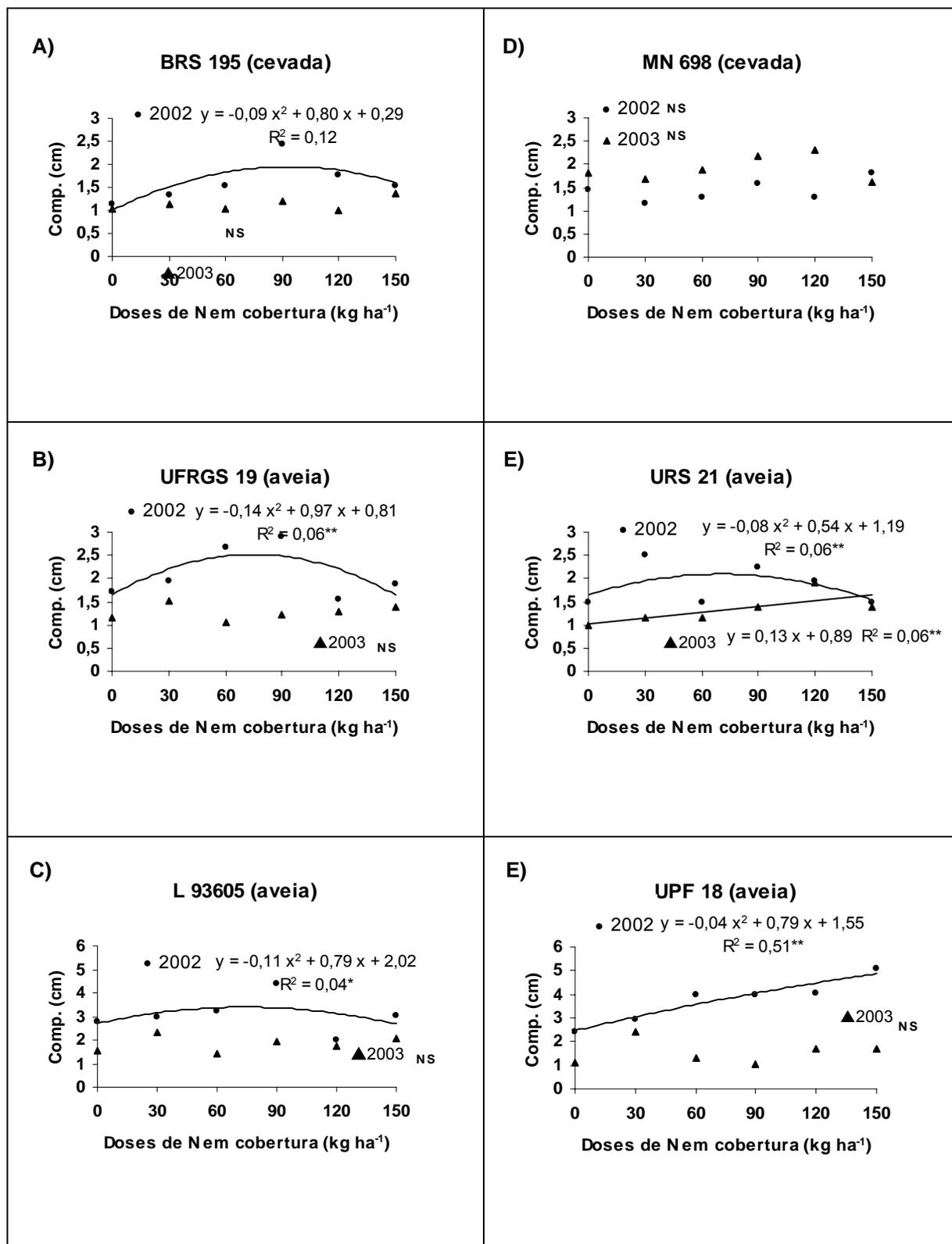


FIGURA 4. Comprimento do 1º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. * significativo a 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.

O comprimento do 2º entrenó mostrou um padrão de resposta ao nitrogênio diferente do apresentado pelo comprimento do 1º entrenó. A resposta foi linear e positiva para todos os genótipos nos dois anos estudados, com irrelevante variação provocada pelo N (Figuras 5A, 5B e 5C), sendo que o comprimento médio nas cultivares UFRGS 19 e a BRS 195 foi maior em 2002 em relação a 2003 (Tabela 9).

O diâmetro do 1º entrenó mostrou padrões de resposta muito variável para genótipos e anos. A resposta do tipo quadrática foi observada para a cultivar BRS 195 e linear para a linhagem 93605, no ano de 2002, observando-se mínimas variações de diâmetro entre as doses de nitrogênio. No ano de 2003 estes genótipos não mostraram adequação a nenhum modelo de resposta (Figuras 6A e 6C). Para o ano de 2002, a cultivar de aveia UFRGS 19 não mostrou nenhum modelo de ajuste. No entanto, no ano de 2003, a cultivar UFRGS 19 ajustou a resposta do diâmetro do 1º entrenó com doses crescentes de N a um modelo linear e positivo (Figura 6B). A cultivar BRS 195 no ano de 2002, exibiu uma correlação positiva com o acamamento ($r = 0,20^{**}$) (Tabela 8).

O diâmetro do 2º entrenó, no ano de 2003, não apresentou ajuste em relação aos tratamentos com aplicação de N em cobertura para os genótipos UFRGS 19 e 93605 (Figuras 7B e 7C). A cultivar BRS 195 ajustou um modelo de resposta quadrática, explicando em baixa proporção as variações do diâmetro provocadas pelo N (Figura 7A). Esta cultivar foi a que apresentou, em média, o menor diâmetro do 2º entrenó (Tabela 11).

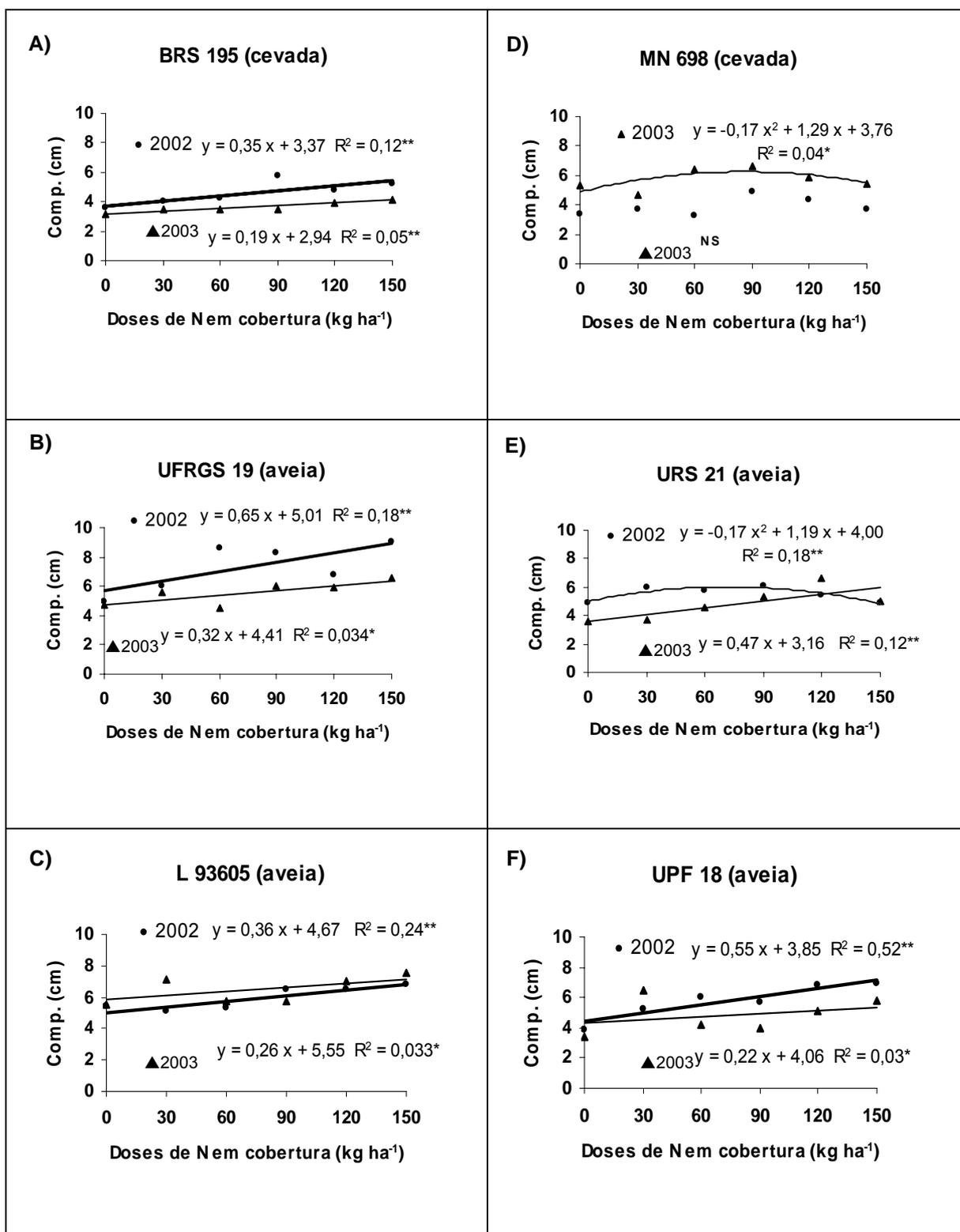


FIGURA 5. Comprimento do 2º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. * significativo a 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.

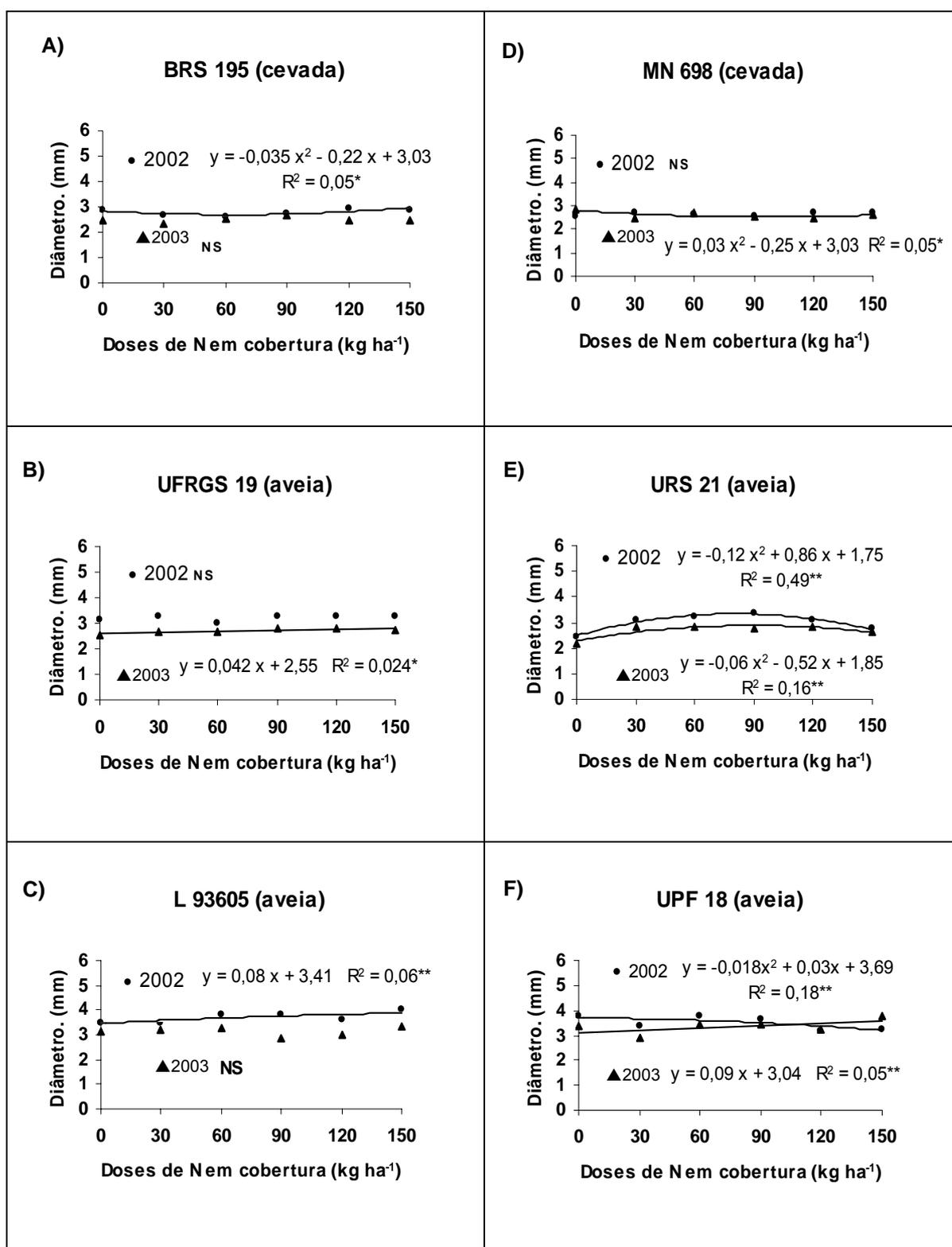


FIGURA 6. Diâmetro do 1º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis de acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. *significativo a 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.

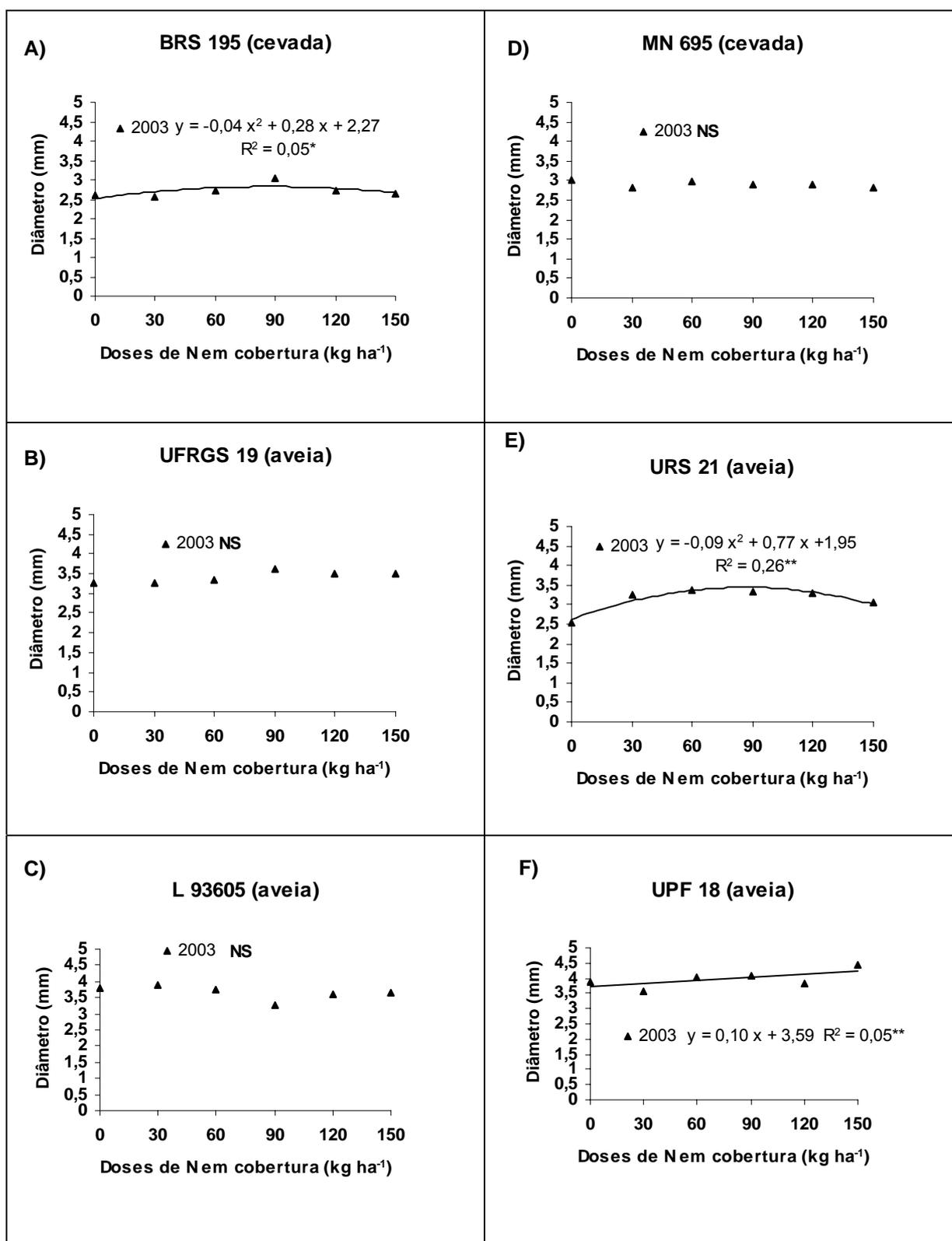


FIGURA 7. Diâmetro do 2º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. * significativo a 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.

A espessura do 1º entrenó avaliada em 2003, não mostrou modelo de ajuste matemático com os teores de N, para nenhum genótipo (Figuras 8A, 8B e 8C). Tampouco a espessura do 2º entrenó mostrou ajuste quando se incrementaram as doses de N em cobertura (Figuras 9A e 9B) a exceção da linhagem 93605 a qual mostrou uma resposta linear e negativa com mínima variação causada pelos tratamentos de N (Figura 9C). A cultivar BRS 195 atingiu os menores valores de espessura, tanto para o 1º como para o 2º entrenó (Tabela 10).

A estatura final de plantas foi uma característica marcadamente influenciada pelas doses de N e pelo ano para os três genótipos analisados. As doses de N tiveram uma influência marcadamente positiva na estatura para todos os genótipos nos dois anos. Ocorreram acréscimos lineares e positivos para a cultivar BRS 195 e a linhagem 93605, para ambos anos, e para a cultivar UFRGS 19 em 2003. Já a cultivar UFRGS 19 apresentou um modelo de resposta quadrática para o ano de 2002, sendo que neste ano o N adicionado explicou melhor a variação da estatura para os dois primeiros genótipos (Figuras 10A, 10B e 10C). Em geral, o efeito de ano caracterizou plantas de menor porte em 2003. A linhagem 93605 foi o genótipo mais influenciado pelo ano, com estatura 15% menor em relação ao ano de 2002 (Tabela 9). Este fato poderia se relacionar com o maior expressão do acamamento mostrado pela linhagem 93605 no ano agrícola de 2002 quando a estatura apresentou uma correlação positiva com o mesmo ($r = 0,18^{**}$) (Tabela 8).

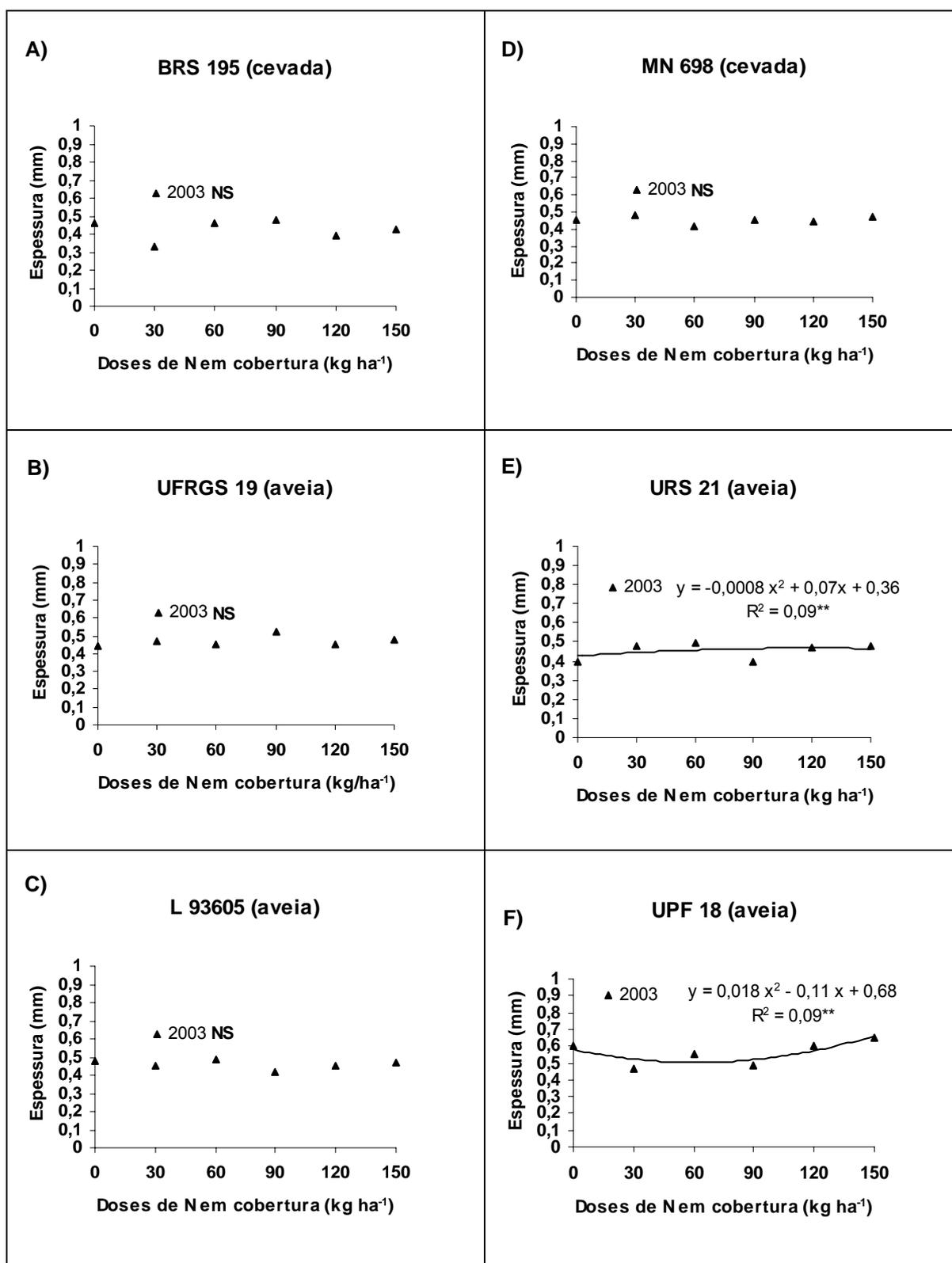


FIGURA 8. Espessura da parede do 1º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%. NS não significativo.

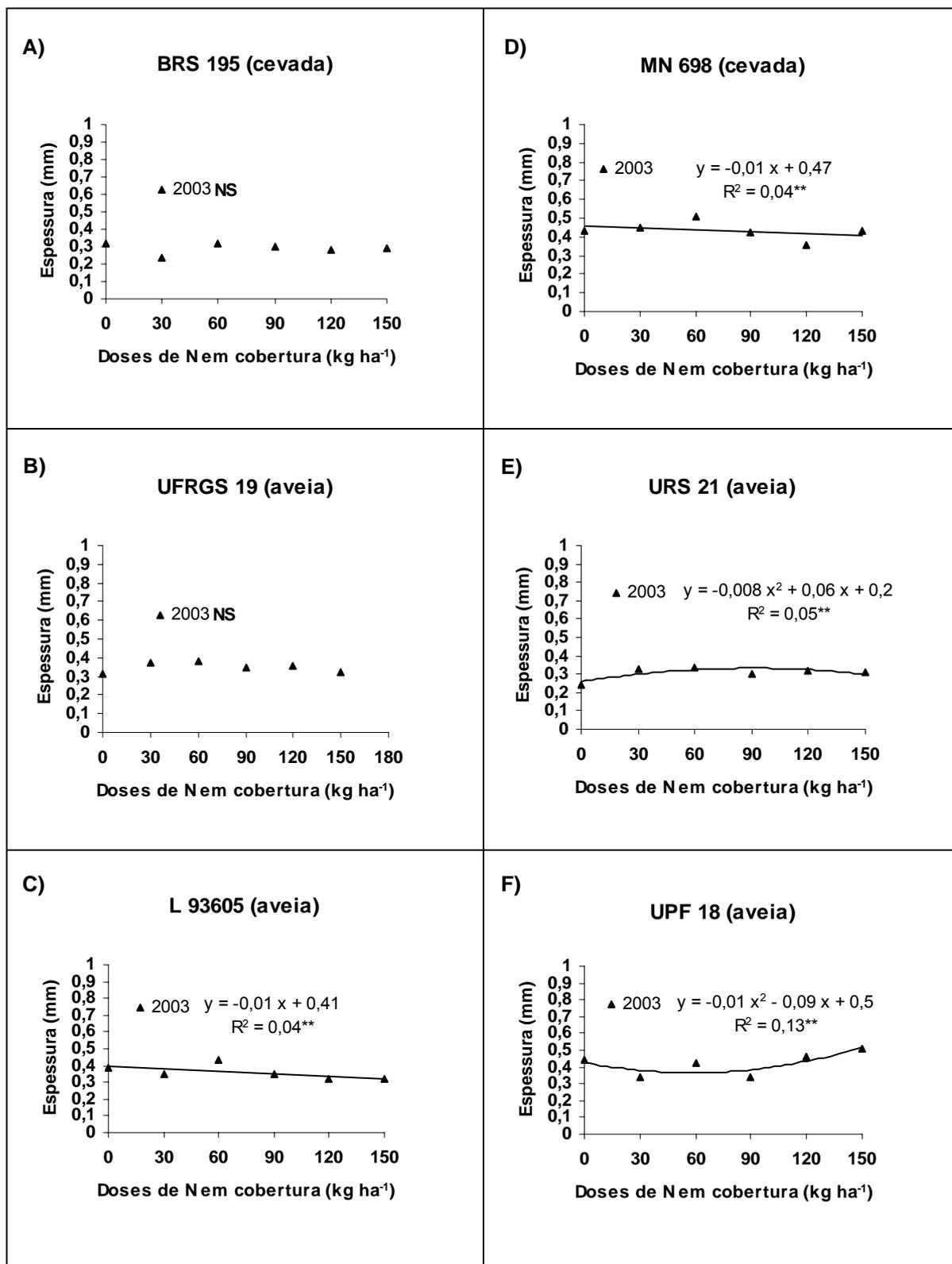


FIGURA 9. Espessura da parede do 2º entrenó do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. 5% ** significativo a 1%. NS não significativo.

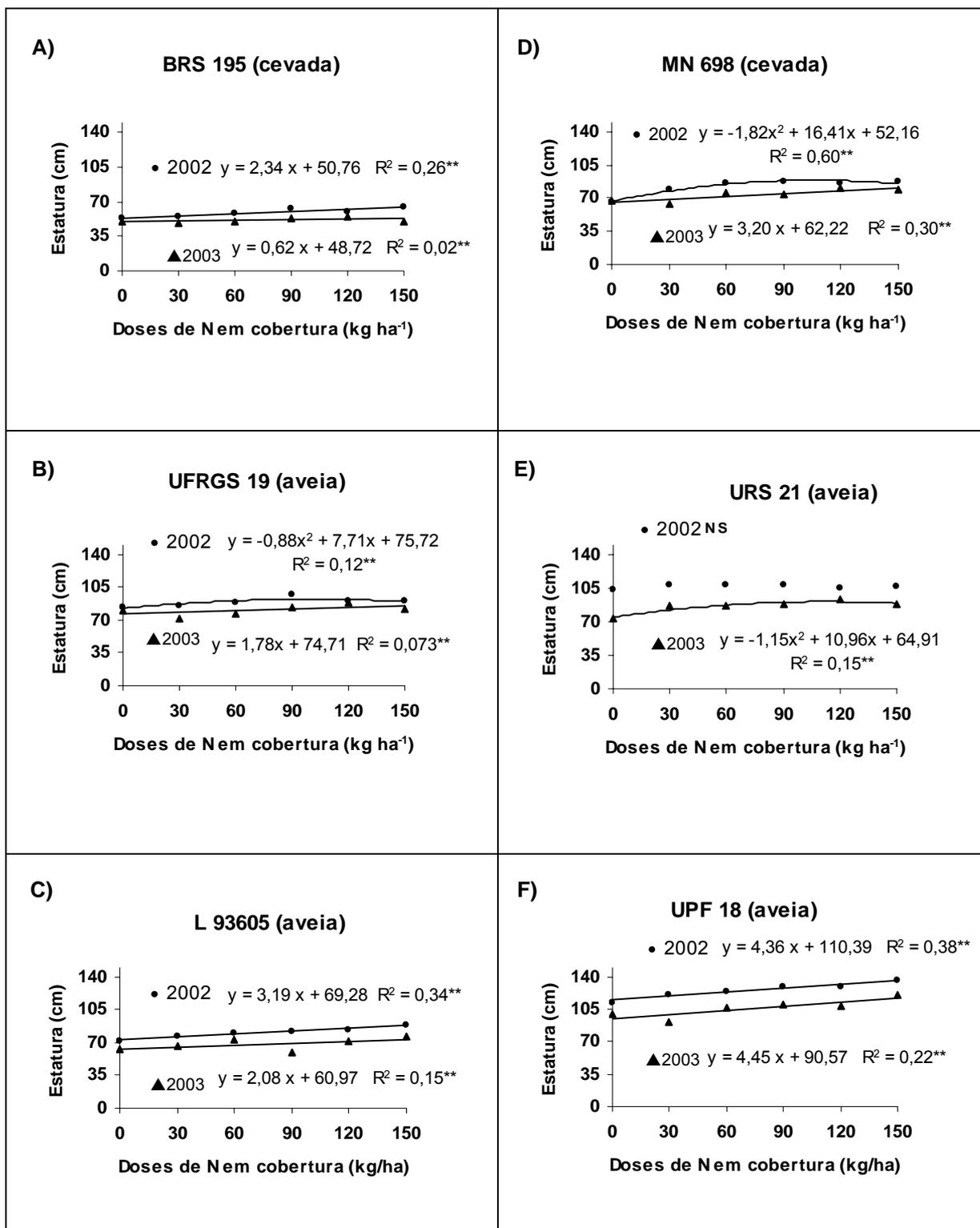


FIGURA 10. Estatura final de plantas para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. ** significativo a 1%. NS não significativo

O número de afilhos por planta foi afetado diferentemente pelas doses de N conforme os genótipos analisados. A cultivar BRS 195 apresentou um pequeno aumento linear e positivo com o incremento das doses. Esse aumento no número de afilhos foi explicada em 19% pelo N (Figura 11A). Já a linhagem 93605 mostrou uma redução no número de afilhos, explicada em 16% pelas doses de N (Figura 11C). A cultivar UFRGS 19 não apresentou diferenças no número de afilhos para nenhum tratamento (Figura 11B).

Os três genótipos não apresentaram variações no teor de lignina nas diferentes doses de N. A cultivar BRS 195 mostrou, em geral, um padrão linear decrescente do teor de lignina nos colmos conforme aumentaram as doses de N aplicadas (Figura 12A). A cultivar UFRGS 19 não mostrou um padrão definido de comportamento para esta característica (Figura 12B), sendo este o genótipo de menor teor de lignina quando comparado aos outros genótipos (Tabela 10). Já a linhagem 93605 exibiu uma resposta quadrática, exibindo baixa resposta ao nitrogênio (Figura 12C). Este último genótipo foi o que apresentou o maior teor de lignina (Tabela 10).

4.1.2 Características de raiz e de parte aérea

O peso seco da parte aérea (sem o pedúnculo e a inflorescência), para as cultivares BRS 195 e a UFRGS 19, aumentou linearmente com o incremento das doses de N em cobertura mostrando que o N tem forte influência sobre o peso seco (Figura 13A e 13B). Estas duas cultivares apresentaram o maior peso seco da parte aérea quando comparadas aos outros genótipos (Tabela 11). O peso seco da parte aérea correlacionou negativamente com o acamamento tanto para a cultivar BRS 195 ($r = -0,38^{**}$) como para a cultivar UFRGS 19

($r = -0,60^{**}$) (Tabela 8). Já a linhagem 93605 apresentou baixa relação do peso seco da parte aérea com as doses de N (Figura 13C).

O peso seco do pedúnculo (último entrenó) + inflorescência mostrou, em geral, um padrão de resposta semelhante ao do peso seco da parte aérea sem estas estruturas. A cultivar BRS 195 apresentou crescimento linear e positivo conforme aumentaram as doses de N (Figura 14A). A cultivar UFRGS 19 e a linhagem 93605 mostraram aumentos de peso com respostas num modelo quadrático, observando-se que na cultivar UFRGS 19 ocorreu alta resposta do peso do pedúnculo + inflorescência ao nitrogênio aplicado (Figura 14B). Esta cultivar apresentou uma correlação positiva entre esta característica e o acamamento, para o ano agrícola de 2003 ($r = 0,42^{**}$) (Tabela 8).

O peso seco de raízes aumentou linearmente com o incremento das doses de N para a cultivar BRS 195 (Figura 15A). A cultivar UFRGS 19 também mostrou uma resposta linear com alta resposta ao N, explicando 66% do aumento no peso das raízes. Esta cultivar apresentou o maior peso seco das raízes quando comparadas aos outros genótipos (Figura 15B) (Tabela 11). Nesta última cultivar esta característica correlacionou-se positivamente com o acamamento ($r = 0,35^{**}$) (Tabela 8). A linhagem 93605 mostrou uma pequena diminuição do peso seco de raízes conforme se incrementaram as doses de N (Figura 15C).

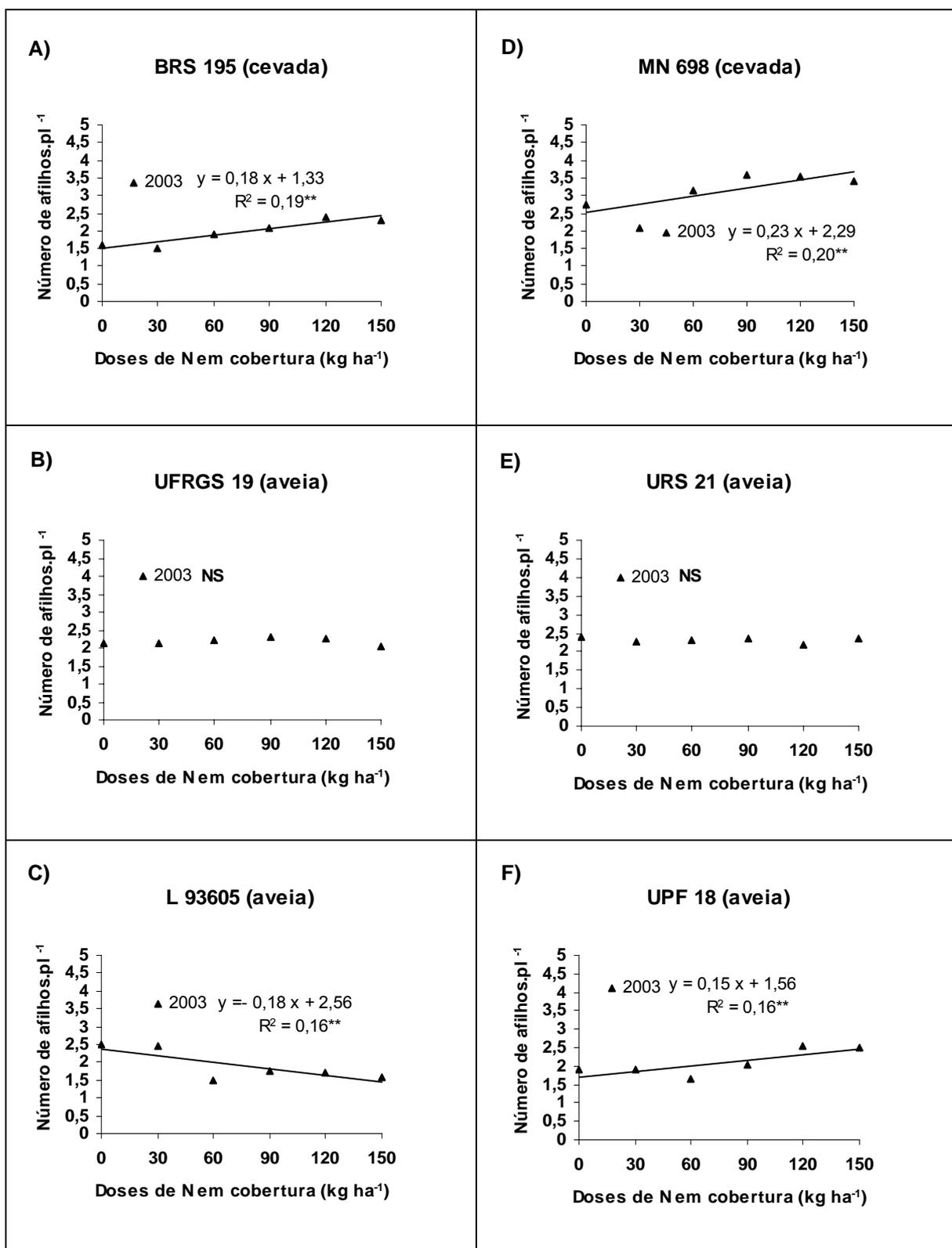


FIGURA 11. Número de afilhos por planta para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%. NS não significativo.

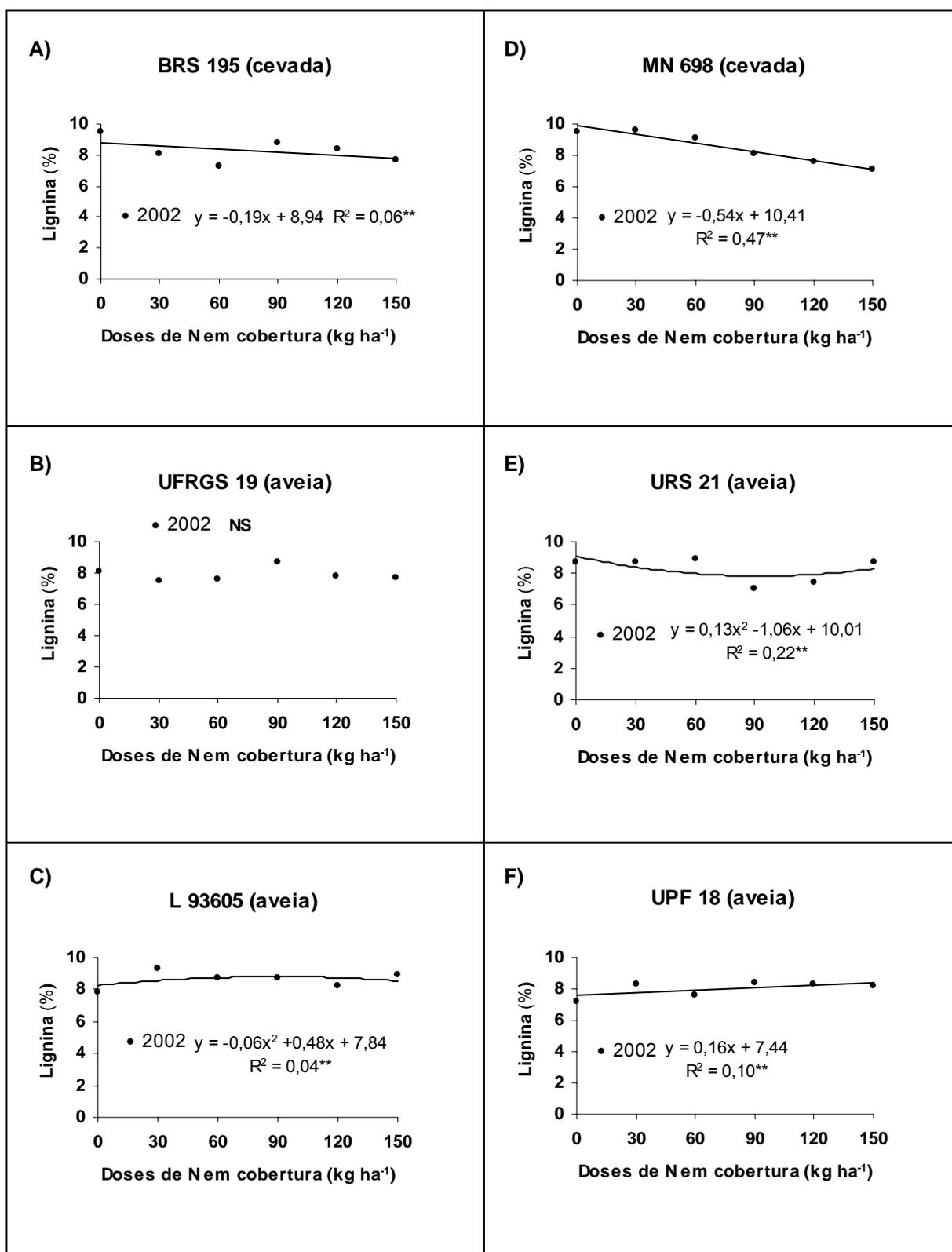


FIGURA 12. Teor de lignina do colmo principal para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002. ** significativo a 1%. NS não significativo.

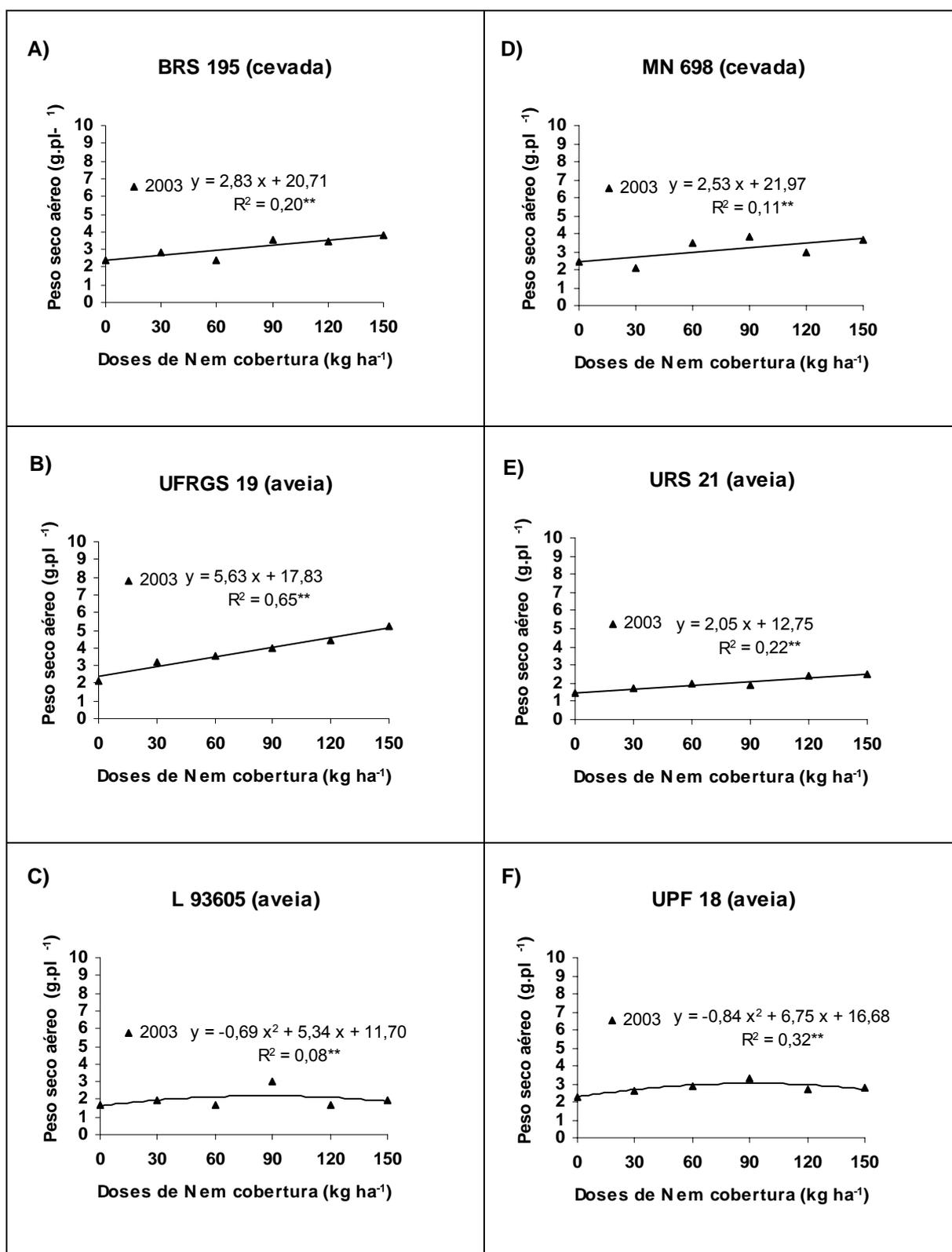


FIGURA 13. Peso seco da parte aérea (sem pedúnculo e inflorescência) para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ****** significativo a 1%.

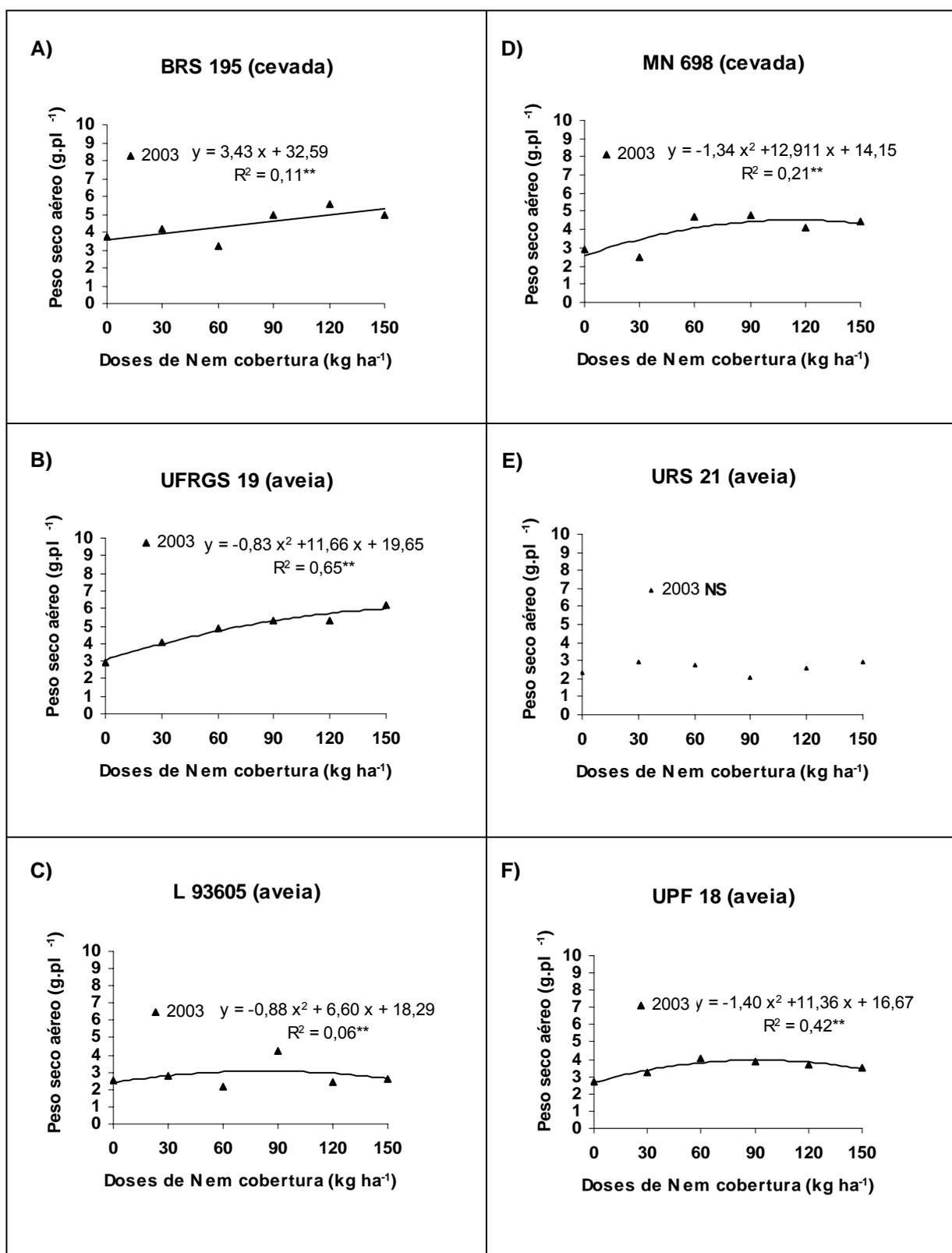


FIGURA 14. Peso seco de pedúnculo + inflorescência para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%.

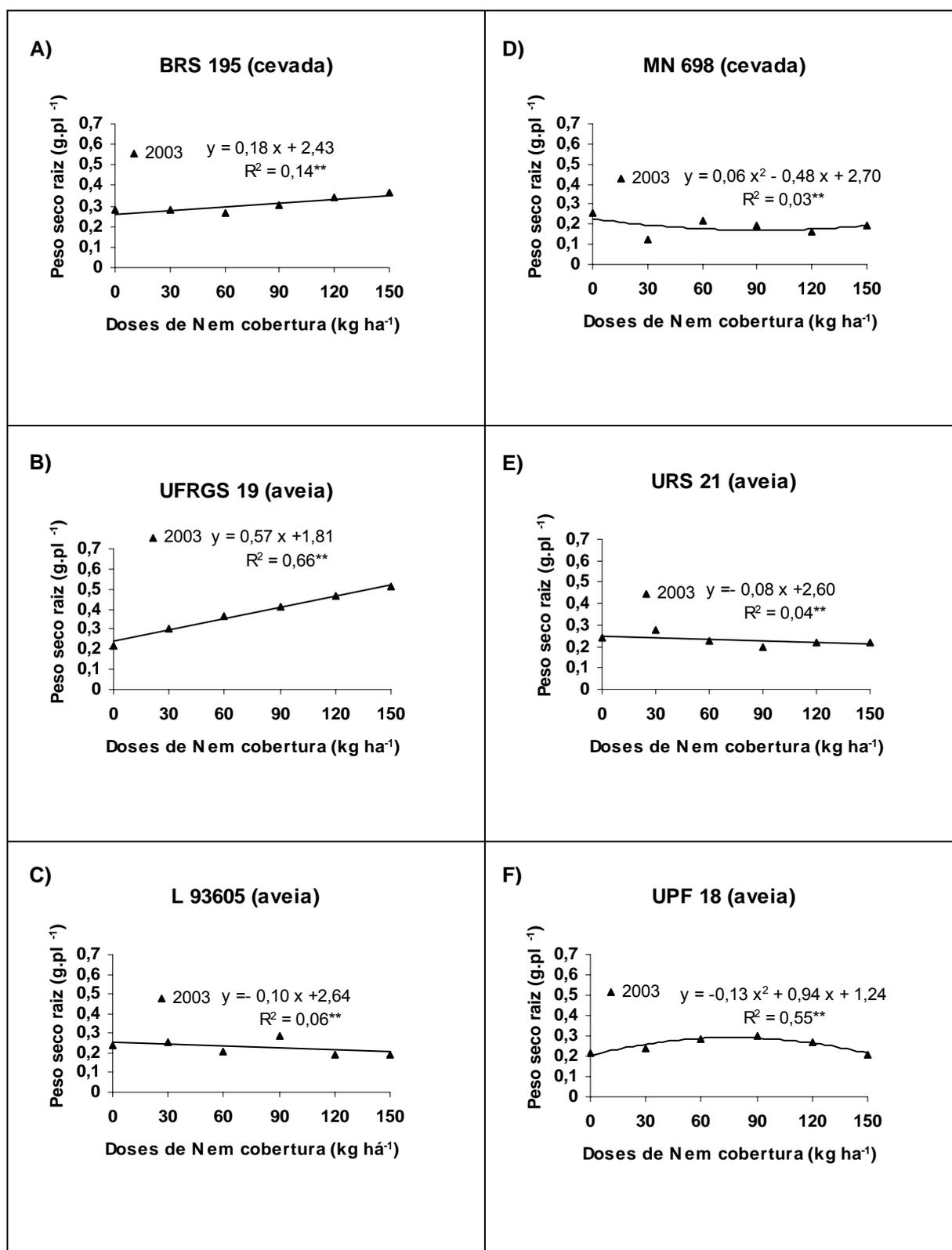


FIGURA 15. Peso seco de raiz para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%.

A análise individual das características da parte aérea e do sistema radical mostrou baixos valores ou ausência de correlação com o acamamento. Isso levou ao estudo integrado de características de planta como a relação entre a parte aérea e o sistema radical que tem sido mencionada como uma ferramenta eficaz para caracterizar o acamamento, principalmente quando este é de raiz.

A relação entre peso seco total da parte aérea e o peso seco do sistema radical (PA/PR) mostrou uma resposta diferencial para os genótipos. A cultivar BRS 195 mostrou pequeno incremento da relação (Figura 16A) e a cultivar UFRGS 19 pequenos decréscimos da relação PA/PR (Figura 16B) com o aumento na dose de N em cobertura, com pequenos valores de ajuste. Já a linhagem 93605 apresentou resposta linear e positiva, sendo que o aumento na relação PA/PR foi explicado em 43% pelas doses de N aplicadas em cobertura (Figura 16C). Os três genótipos em geral exibiram menores valores de relação (PA/PR) quando comparados aos outros genótipos (Tabela 11).

A ancoragem das raízes foi estimada indiretamente por meio do peso do volume de solo aderido às raízes que cada planta leva consigo quando é puxada verticalmente do solo. A cultivar BRS 195 apresentou uma resposta quadrática com diminuição da ancoragem nas doses intermediárias de N, evidenciando uma forte influência do nitrogênio na ancoragem (Figura 17A). Isto foi corroborado pela correlação negativa com o acamamento ($r = -0,42^{**}$) (Tabela 8). Na cultivar UFRGS 19 houve resposta inversa, ou seja, a ancoragem aumentou conforme se incrementaram as doses de N aplicadas em cobertura (Figura 17B). Esta última cultivar mostrou maior ancoragem quando comparada aos outros genótipos (Tabela 11) e apresentou correlação negativa com o

acamamento ($r = -0,54^{**}$) (Tabela 8). Já a linhagem 93605 mostrou pouca variação da ancoragem com o incremento do N (Figura 17C).

O índice de colheita (IC) mostrou um padrão de resposta linear e positivo ao nitrogênio similar para os três genótipos (Figura 18). A cultivar UFRGS 19 foi a que evidenciou as maiores variações do índice, sendo explicadas em 33% pelo incremento do nitrogênio (Figura 18B). A cultivar BRS 195 apresentou o maior índice de colheita quando comparada às demais cultivares (Tabela 11).

O rendimento de grãos foi marcadamente influenciado pelas doses de N aplicadas em cobertura para os três genótipos e para ambos anos agrícolas. O padrão de resposta do rendimento de grão foi variável entre genótipos e entre anos, observando-se comportamento semelhante na cultivar BRS 195 e a linhagem 93605, exibindo um modelo de resposta quadrática e positiva para o ano de 2002, e positivo e linear para o ano de 2003 (Figuras 19A e 19C). Por outro lado, a cultivar UFRGS 19 exibiu a resposta inversa com acréscimos lineares de rendimento de grão para o ano agrícola de 2002 e um modelo de resposta quadrático e positivo para o ano de 2003 (Figura 19B).

O rendimento de grãos da cultivar UFRGS 19 apresentou uma correlação negativa com o acamamento ($r = -0,22^{**}$) para o ano de 2002 (Tabela 8) e sem associação em 2003.

A cultivar BRS 195 de cevada, apresentou o maior rendimento no ano 2003, quando comparado ao ano de 2002, coincidindo com o menor acamamento (Tabela 9). No ano de 2002 foi o genótipo de maior rendimento quando comparado aos outros genótipos (Tabela 10) e mostrou uma correlação positiva entre o rendimento e o acamamento ($r = 0,46^{**}$) (Tabela 8).

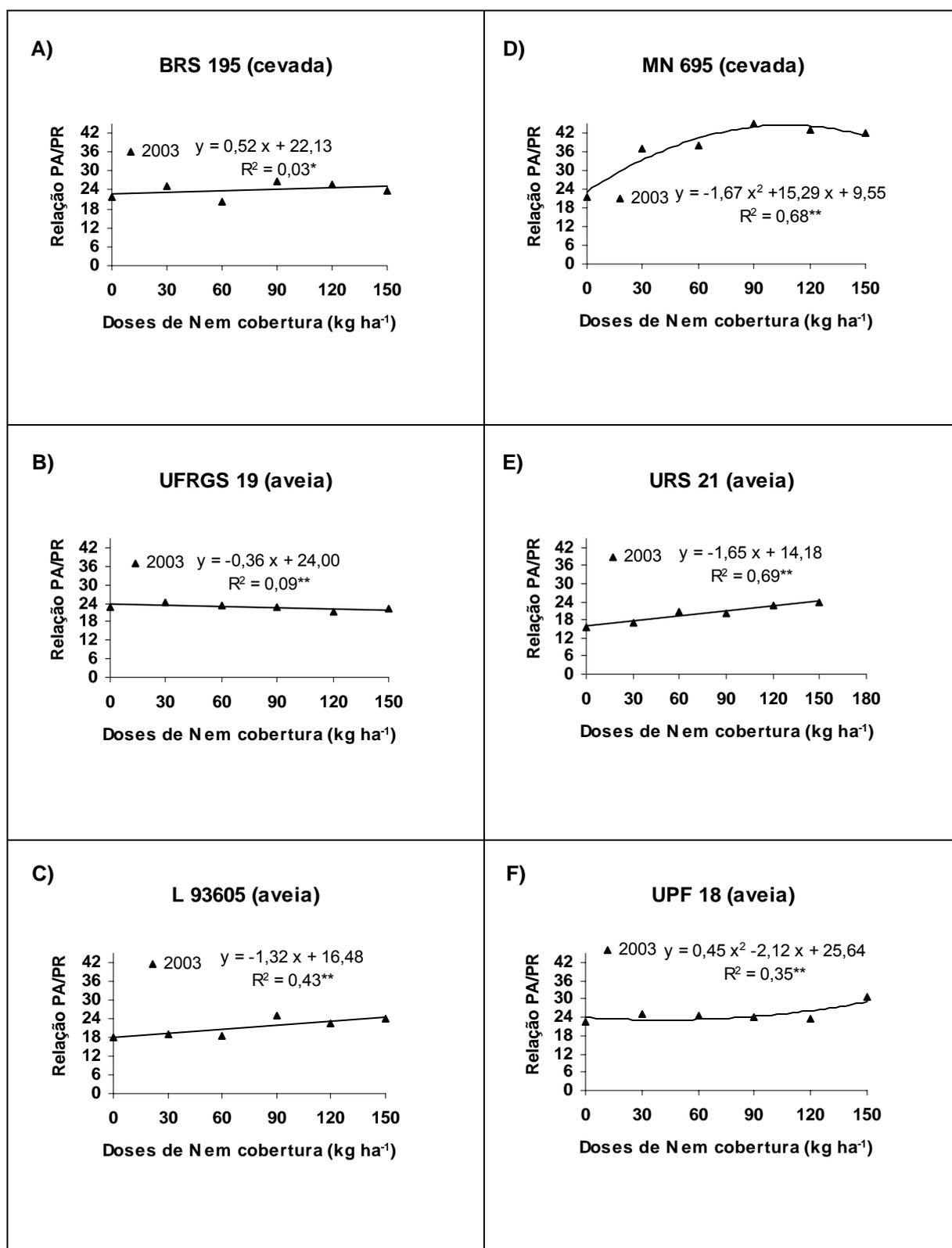


FIGURA 16. Relação peso seco aéreo/raiz (PA/PR) para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. * significativo a 5% ** significativo a 1%.

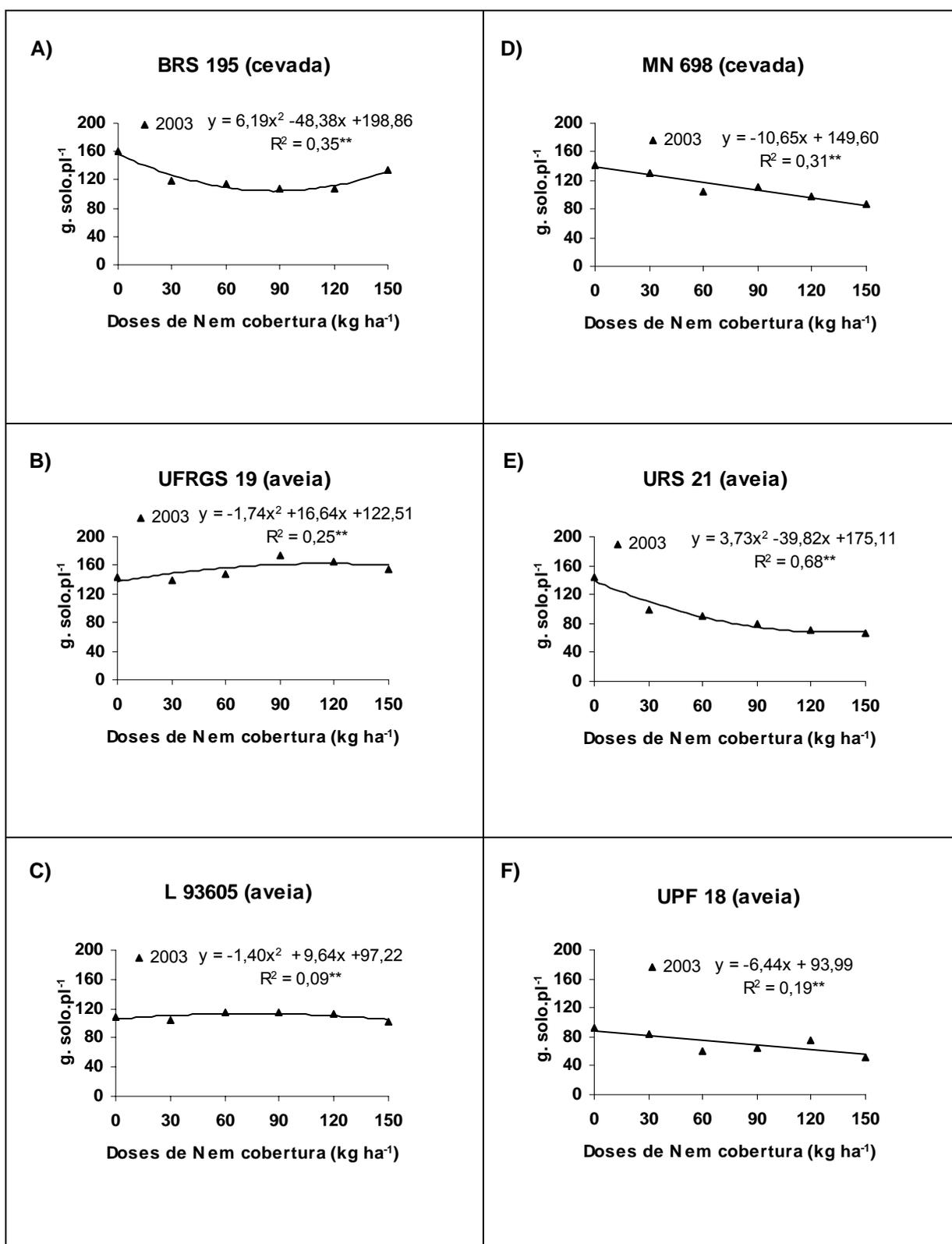


FIGURA 17. Ancoragem radical para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003.. significativo a 5% **.

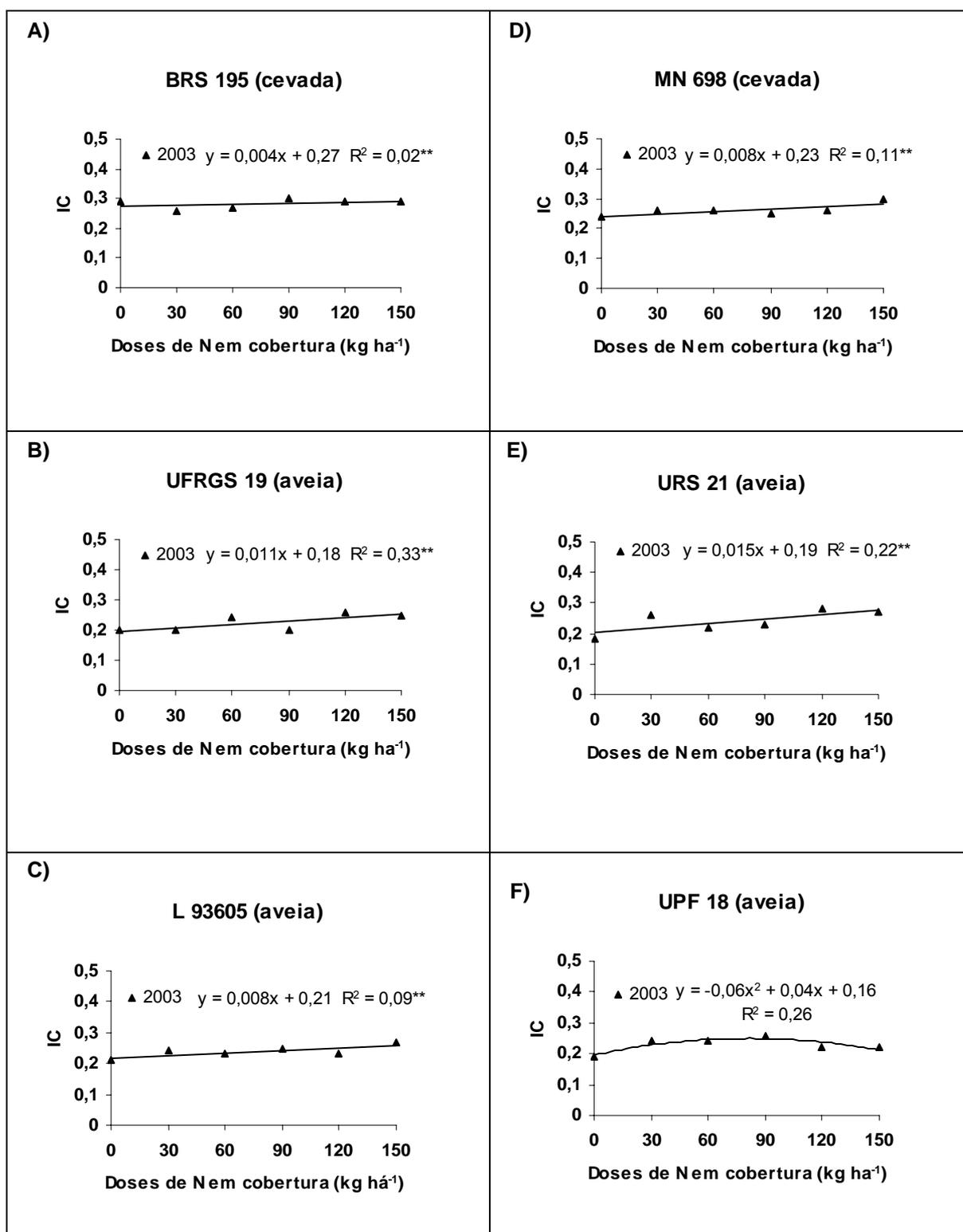


FIGURA 18. Índice de colheita para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2003. ** significativo a 1%.

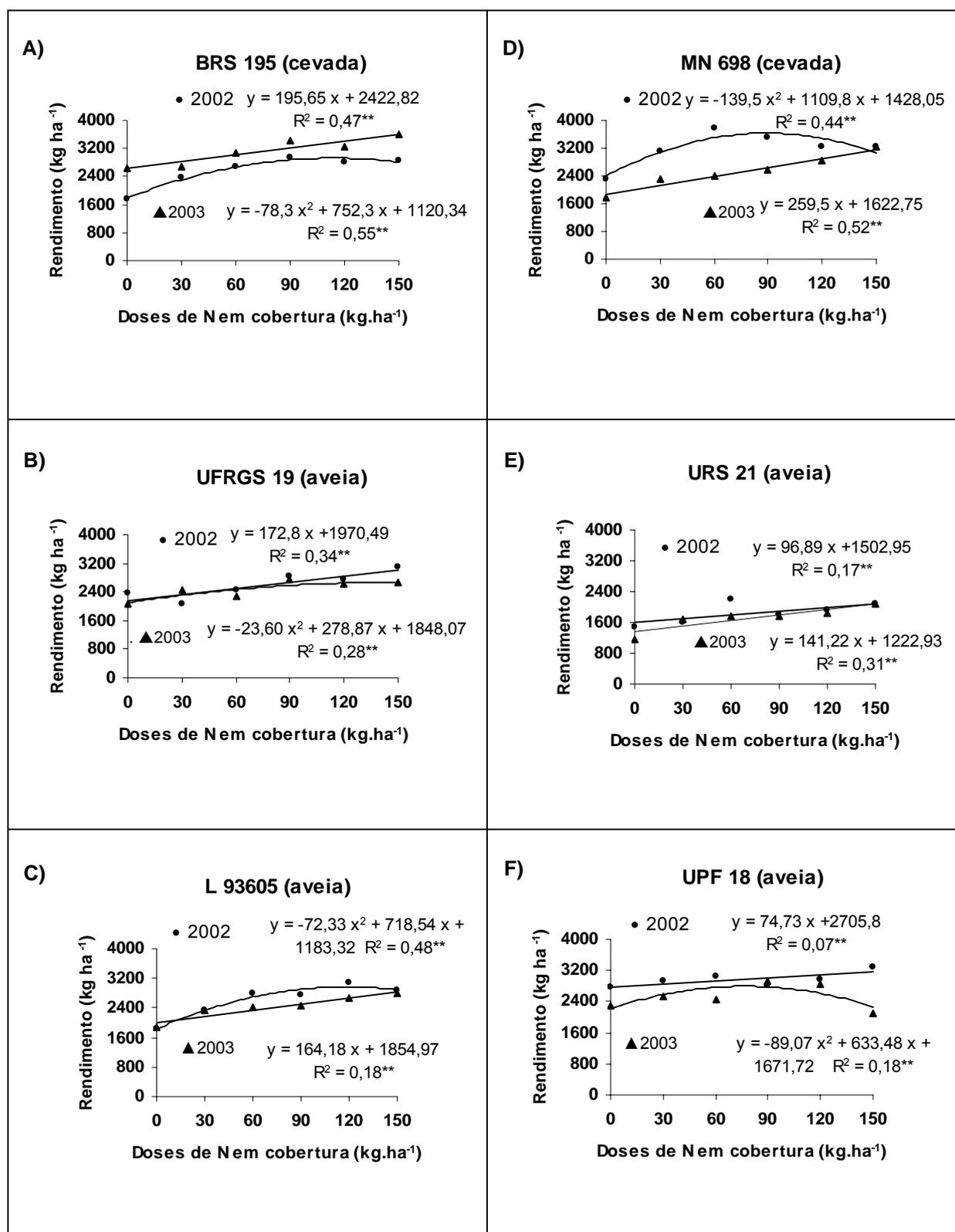


FIGURA 19. Rendimento de grão para cultivares de cevada e de aveia sob doses de N em cobertura. A, B e C: cultivares menos suscetíveis ao acamamento. D, E e F: cultivares mais suscetíveis ao acamamento. EEA/UFRGS, 2002-2003. ** significativo a 1%.

A linhagem 93605, contrariamente, apresentou os maiores rendimentos de grãos no ano agrícola de 2002, coincidindo com o maior acamamento (Tabela 9). Esta cultivar exibiu uma correlação positiva entre acamamento e rendimento de grãos no ano de 2002 ($r = 0,25^{**}$) (Tabela 8).

4.2 Genótipos de alta suscetibilidade ao acamamento

Neste grupo foram incluídas as cultivares URS 21, UPF 18 e MN 698 que apresentaram alta expressão de acamamento (maior do que 30%) na média dos tratamentos para os dois anos (Figura 1 e Tabela 9). Os três genótipos analisados mostraram diferenças entre anos, sendo que no ano de 2002 ocorreu a maior percentagem de acamamento (Tabela 9) (Apêndice 3).

A cultivar MN 698 mostrou, para os dois anos, uma resposta linear da percentagem de acamamento conforme se incrementaram as doses de N em cobertura. O nitrogênio explicou, na média dos dois anos, 80% do acamamento (Figura 2D).

As cultivares URS 21 e UPF 18 mostraram variações no tipo de resposta conforme o ano considerado. A resposta foi linear e positiva para a cultivar URS 21, no ano de 2002, e para cultivar UPF 18, em 2003 (Figuras 2E e 2F). Por outro lado, a cultivar URS 21, em 2003, exibiu uma resposta de tipo quadrática negativa, com baixas percentagens de acamamento até a dose de 60 kg ha^{-1} de N e aumento exponencial nas doses seguintes (Figura 2E). No ano de 2002, a cultivar UPF 18 também exibiu uma resposta de tipo quadrática, mas positiva evidenciando-se um alto acamamento a partir da dose de 30 kg ha^{-1} (Figura 2F) (Apêndice 3).

Para as duas cultivares, o nitrogênio explicou amplamente o aumento do acamamento, sendo, na média dos anos, 85,5% para a cultivar URS 21 e 79% para a cultivar UPF 18 (Figuras 2E e 2F).

O índice de acamamento (IA) exibido pelos três genótipos estudados foi maior no ano de 2003, contrariamente ao ocorrido com a percentagem de acamamento (Tabela 9). Este fato se relaciona com a maior intensidade e força das chuvas e ventos causadores diretos do acamamento para este ano (Tabela 6).

Os três genótipos analisados neste grupo mostraram uma resposta do índice de acamamento de tipo quadrática e positiva, alcançando, em média, maiores valores para todos os genótipos com doses mais altas de N (Figuras 3D, 3E e 3F). A cultivar de aveia UPF 18, que expressou em média o maior índice de acamamento (Tabelas 10 e 11), mostrou altos valores já com as menores doses de N aplicadas (Figura 3F). Esta cultivar no ano de 2002 mostrou correlação total e positiva do IA com o acamamento ($r = 1^{**}$) (Tabela 8).

As cultivares URS 21 e UPF 18 exibiram para ambos anos alto ajuste das equações, sendo que no ano de 2002 houve melhor explicação das variações do ângulo de inclinação das plantas em consequência do N adicionado (Figuras 3E e 3F). A cultivar URS 21 mostrou correlação total do IA com o acamamento para ambos anos ($r = 1^{**}$) (Tabela 8).

Por outro lado, a cultivar MN 698 de cevada mostrou pouco ajuste das equações nos dois anos, evidenciando que os altos índices de acamamento exibidos pelas plantas poderiam ter uma forte influência genotípica (Figura 3D). Esta última cultivar apresentou correlação positiva do IA com o acamamento para o ano de 2003 ($r = 0,24^{**}$) (Tabela 8).

4.2.1 Características de colmo

O comprimento do 1º entrenó na cultivar MN 698 não apresentou um padrão de resposta definido em relação ao N, para nenhum ano (Figura 4F). A cultivar URS 21 mostrou um padrão de resposta de tipo quadrático para o ano de 2002 e de tipo linear crescente para o ano de 2003, ambos com valores de R^2 marcadamente baixos (Figura 4F). Por outro lado a resposta da cultivar UPF 18 não se adequou a nenhum modelo matemático no ano de 2003 mas no ano de 2002, apresentou uma resposta de tipo quadrática onde os incrementos do comprimento do 1º entrenó foram explicados em 51% pelos aumentos nas doses de N (Figura 4F). O crescimento médio do 1º entrenó foi maior no ano de 2003 para a cultivar de cevada MN 698, mas as cultivares URS 21 e UPF 18 mostraram maior comprimento em 2002 (Tabela 9).

O comprimento do 2º entrenó não mostrou diferenças entre os anos para as cultivares URS 21 e UPF 18, mas a cultivar MN 698 exibiu maior comprimento do 2º entrenó no ano de 2003 (Tabela 9). O tipo de resposta para a cultivar MN 698 não foi significativa em 2002 e em 2003 foi de tipo quadrática, positiva e com baixo coeficiente de regressão (Figura 5D). Na cultivar URS 21 ocorreram respostas positivas e diferenciais, sendo do tipo quadrática para 2002 e linear no ano de 2003 (Figura 5E), destacando-se a alta variabilidade de resposta desta característica em função do ano. A cultivar UPF 18 mostrou diferenças de tratamentos para os dois anos com resposta linear e positiva, sendo que no ano de 2002 ocorreram maiores incrementos de comprimento, explicados em 52% pelo N adicionado (Figura 5F). Neste ano, esta característica foi correlacionada positivamente com o acamamento ($r = 0,21^{**}$) (Tabela 8).

O diâmetro do 1º entrenó, na cultivar MN 698, não mostrou resposta ao N adicionado no ano de 2002, mas, no ano de 2003, apresentou uma resposta de tipo quadrática, exibindo baixo coeficiente de regressão (Figura 6D). A cultivar URS 21 também mostrou resposta quadrática nos dois anos, exibindo uma considerável resposta ao N no ano de 2002 (Figura 6E). Esta cultivar, na média dos tratamentos, exibiu maior diâmetro do 1º entrenó no ano de 2002 (Tabela 9). A cultivar UPF 18 mostrou uma resposta linear, porém diferente nos dois anos estudados. Ocorreu diminuição do diâmetro com incremento de doses de N no ano de 2002, mas, em 2003, a resposta foi oposta (Figura 6F). Nos dois anos esta última cultivar apresentou o maior diâmetro do 1º entrenó quando comparada aos outros genótipos (Tabelas 10 e 11).

O diâmetro do 2º entrenó foi medido no ano de 2003 para complementar a avaliação de características de colmo avaliadas em 2002. A resposta ao nitrogênio foi semelhante àquela obtida quando se analisou o diâmetro medido no 1º entrenó. A análise de regressão mostrou incrementos conforme o aumento de doses, com resposta quadrática e linear respectivamente para as cultivares UPF 18 e URS 21. Nesta última cultivar, o aumento no diâmetro foi explicado em 26% pelo N adicionado, sendo as doses intermediárias as que provocaram os maiores diâmetros (Figuras 7E e 7F). A cultivar UPF 18 apresentou o maior diâmetro do 2º entrenó quando comparado aos outros genótipos (Tabela 11). Por outro lado na cultivar MN 698 não houve resposta definida a aplicação de nitrogênio (Figura 7D).

A espessura da parede do 1º entrenó não sofreu alterações com as doses de N aplicadas em cobertura na cultivar MN 698 (Figura 8D). A cultivar URS 21 mostrou uma resposta quadrática, com pequenos acréscimos de espessura

conforme se aumentaram as doses de N (Figura 8E). Por outro lado, a cultivar UPF 18 mostrou um leve decréscimo da espessura da parede nas doses intermediárias de N, sendo esta resposta pouco explicada pela variação do N (Figura 8F). Esta última cultivar foi a que apresentou a maior espessura da parede do 1º entrenó quando comparada aos outros genótipos (Tabela 11).

A espessura da parede do 2º entrenó teve pouca variação com a aplicação de doses crescentes de N, em concordância com as respostas verificadas pela espessura da parede do 1º entrenó, para as três cultivares analisadas. Neste sentido, destaca-se a cultivar UPF 18 de aveia por apresentar uma diminuição na espessura da parede do 2º entrenó nas doses intermediárias de N (Figura 9F). Esta cultivar apresentou maior espessura de parede de 2º entrenó quando comparada aos demais genótipos no ano de 2003 (Tabela 11).

A estatura final revelou diferenças entre anos sendo que em 2002 todas as cultivares analisadas foram mais altas que em 2003 (Tabela 9). A estatura na cultivar MN 698 foi superior em 10 % no ano de 2002 em relação ao ano de 2003 (Tabela 9). A resposta na adição de N foi diferencial para os dois anos, sendo do tipo quadrática em 2002 quando o nitrogênio explicou 60% do aumento na estatura. No entanto, no ano de 2003, o N explicou apenas 30% da variação da estatura a qual apresentou acréscimos lineares (Figura 10D). A cultivar URS 21 mostrou resposta quadrática às doses de N no ano de 2003, mas sem resposta definida em 2002 (Figura 10E). A estatura desta cultivar em 2003, foi positivamente correlacionada com o acamamento ($r = 0,18^{**}$) (Tabela 8). Para o ano de 2002, a estatura final foi 19% superior em comparação com 2003 (Tabela 9). A cultivar UPF 18 foi o genótipo de maior estatura nos dois anos (Tabelas 10 e 11), e apresentou acréscimos lineares com as doses dentro

de cada ano agrícola (Figura 10F). No ano de 2002, evidenciou superioridade de 15% na estatura quando comparado com o ano de 2003 (Tabela 9).

O número de afilhos por planta nas cultivares MN 698 e UPF 18 mostrou resposta com acréscimos lineares conforme foram aumentadas as doses de N (Figuras 11D e 11F). A cultivar MN 698 foi a que apresentou o maior número de afilhos no ano de 2003, e as doses de nitrogênio explicaram 20% no aumento do número de afilhos (Tabela 11 e Figura 11D). Por outro lado, a cultivar URS 21 não exibiu resposta quando se incrementaram as doses de N (Figura 11E).

O teor de lignina do colmo principal apresentou, na cultivar MN 698, diminuição linear com o aumento das doses de N (Figura 12D). Esta diminuição no teor de lignina foi explicada em 47% pela adição de N em cobertura (Figura 12D). Para esta cultivar verificou-se uma correlação negativa do teor de lignina com o acamamento ($r = -0,25^{**}$) (Tabela 8). A cultivar URS 21 expressou uma resposta similar embora com comportamento tipo quadrático, sendo encontrados os menores teores de lignina nas doses de 90 e 120 kg ha⁻¹ de N (Figura 12E). Resposta contrária foi observada na cultivar UPF 18 de aveia para a qual se destaca um acréscimo linear do teor de lignina quando as doses de N foram incrementadas (Figura 12F).

4.2.2 Características de raiz e de parte aérea

O peso seco da parte aérea (sem pedúnculo + inflorescência), analisado no ano de 2003, mostrou uma correlação positiva com o acamamento ($r = 0,17^{**}$) para a cultivar MN 698 (Tabela 8). Os tratamentos com N revelaram aumento linear com incremento das doses de N (Figura 13D). A cultivar URS 21 também mostrou incrementos lineares conforme se aumentaram as doses de N

(Figura 13E). A cultivar UPF 18 apresentou uma correlação positiva do peso seco com o acamamento no ano de 2003 ($r = 0,36^{**}$) (Tabela 8). Os tratamentos com N revelaram diferenças significativas com um modelo de resposta de tipo quadrático sendo que o N explicou 32% da variação no peso seco (Figura 13F). Em geral os três genótipos mostraram menor peso da parte aérea que os genótipos menos suscetíveis (Tabela 11).

O peso seco do pedúnculo + inflorescência mostrou para as cultivares MN 698 e a cultivar UPF 18 uma resposta de tipo quadrática, registrando-se incrementos de peso com doses até 60 kg ha^{-1} de N (Figuras 14D e 14F). Estas cultivares mostraram uma relevante explicação na variação do peso seco do pedúnculo + inflorescência em função do N. A cultivar URS 21 não evidenciou diferenças nem um padrão de resposta definida em relação ao N mas, apresentou uma correlação positiva com o acamamento ($r = 0,21^{**}$) (Tabela 8 e Figura 14E).

O peso seco de raízes evidenciou uma correlação negativa com o acamamento ($r = -0,20^{**}$) para as cultivares MN 698 e UPF 18 (Tabela 8), mostrando um aumento no acamamento com a redução do peso seco das raízes. Estas cultivares mostraram diferenças com relação os tratamentos de nitrogênio, com padrão de resposta similar, mas de sentido oposto, sendo negativo para a cultivar MN 698 e positivo para a cultivar UPF 18. Nesta última cultivar o incremento de N explicou 55% do aumento no peso seco de raízes (Figuras 15D e 15F). Por outro lado, na cultivar URS 21 o peso decresceu linearmente conforme se aumentaram as doses de N (Figura 15E). Os três genótipos apresentaram em geral menor peso das raízes quando comparados aos genótipos menos suscetíveis (Tabela 11).

A relação entre o peso seco da parte aérea e das raízes (PA/PR), mostrou resposta oposta àquela descrita para o peso seco de raízes nas cultivares MN 698 e UPF 18 (Figura 16E e 16F). Quando aumentou o peso seco de raízes a relação diminuiu, favorecendo o equilíbrio entre as estruturas aéreas e subterrâneas. A cultivar MN 698 apresentou a maior relação PA/PR (Tabela 11), e aumentou com o incremento do nitrogênio, sendo que 68% deste aumento foi explicado pelas variações do N (Figura 16F). Esta característica foi correlacionada positivamente com o acamamento ($r = 0,43^{**}$) (Tabela 8). A cultivar URS 21 mostrou um padrão de resposta linear com aumento das doses de N, mostrando a maior relação com dose de 150 kg ha^{-1} de N (Figura 16E). O N foi o causador de 69% do aumento na relação para esta cultivar.

A ancoragem radical confirma os resultados obtidos na relação PA/PR para as cultivares MN 698 e UPF 18. Ocorreu uma diminuição linear da ancoragem com aumento das doses de N (Figura 17D e 17F). A cultivar MN 698 apresentou uma correlação negativa da ancoragem com o acamamento ($r = -0,33^{**}$) (Tabela 8). A cultivar URS 21 mostrou uma resposta de tipo quadrática e negativa com decréscimos na ancoragem que foram explicados em 68% pelas variações do N (Figura 17E). Na média dos tratamentos, a cultivar UPF 18 foi a que apresentou a menor ancoragem (Tabela 11).

O índice de colheita, medido no ano de 2003, mostrou correlação positiva com o acamamento na cultivar URS 21 ($r = 0,25^{**}$) e na cultivar UPF 18 ($r = 0,28^{**}$) (Tabela 8). Os padrões de resposta para esta variável mostraram uma relação positiva de tipo linear para as cultivares MN 698 e URS 21 e de tipo quadrática e positiva para a cultivar UPF 18 (Figuras 18D, 18E e 18F).

Os rendimentos de grãos dos três genótipos, nos dois anos, evidenciaram uma clara resposta positiva com a adição de N, (Figuras 19D, 19E e 19F) (Apêndice 4). Na média dos tratamentos, o ano de 2002 mostrou superioridade para as cultivares MN 698 de cevada e UPF 18 de aveia, mas não na cultivar URS 21 (Tabela 9).

De modo geral, houve um padrão de resposta linear e positivo no rendimento de grãos para os três genótipos analisados com o acamamento das doses de N, exceção da cultivar MN 698 para o ano de 2002 e a cultivar UPF 18 no ano de 2003. Elas tiveram resposta de tipo quadrática com maiores rendimentos nas doses intermediárias (Figura 19D e 19F). Na cultivar MN 698, na média para os dois anos, os tratamentos com N explicaram 50% do aumento no rendimento de grãos. Esta cultivar apresentou uma correlação do rendimento de grãos com o acamamento de ($r = 0,26^{**}$) no ano de 2002 e de ($r = 0,21^*$) no ano de 2003 (Tabela 8). Por outro lado, a cultivar URS 21 mostrou correlação positiva do rendimento de grãos com o acamamento no ano de 2002 ($r = 0,21^{**}$) (Tabela 8). As duas cultivares de cevada foram os genótipos de maior rendimento, sendo a cultivar MN 698 no ano de 2002 e a cultivar BRS 195 no ano de 2003 (Tabelas 10 e 11).

5 DISCUSSÃO

O acamamento, definido como o deslocamento permanente da posição vertical dos colmos (Pinthus, 1973) é um fenômeno complexo, no qual intervêm fatores intrínsecos das plantas (características genéticas e morfofisiológicas) e fatores edafoclimáticos extrínsecos (vento, chuva e nitrogênio, entre outros). Estes são os elementos chaves para compreender e caracterizar o acamamento ocorrido nos dois anos de experimentação.

A maioria dos genótipos mostrou maior percentagem de acamamento no ano de 2002 (Tabela 9) quando ocorreram temperaturas moderadas e elevada umidade relativa do ar, em decorrência das precipitações registradas (35% a mais que 2003) (Tabela 6). Como consequência, observou-se maior número de dias com nebulosidade durante o período de alongamento, nos meses de julho e agosto (Tabela 6). Este ambiente pode ter liberado mais N às plantas em complementação àquele disponibilizado pela resteva de soja, modificando a estrutura das plantas. O nitrogênio liberado no solo encontra-se intimamente relacionado com as características do ano, assim como o N residual da resteva do cultivo antecessor. A resteva de soja, utilizada no experimento no ano de 2002, é uma das que disponibiliza maior N residual a curto e médio prazo, como consequência da baixa relação C/N. Ela pode predispor ao maior acamamento quando a cultura sucessora recebe fertilizante nitrogenado (Santi, 2001).

O nitrogênio está associado com o acamamento por provocar um excessivo crescimento vegetativo e é assim relacionado por provocar aumento da estatura e, conseqüentemente, por produzir uma alteração das propriedades biofísicas dos colmos, diminuindo a resistência mecânica (Berry, 2003). Isso foi detectado através da percentagem e ângulo de inclinação (IA) dos colmos que foram altamente responsivos à aplicação de nitrogênio nos dois anos e na maioria dos genótipos (Figuras 2 e 3), como também observado em cereais de inverno por outros autores (Pinthus, 1973; Conry, 1991; Foster & Taylor, 1993; AYOUB et al., 1994; Crook & Ennos, 1995; Froment & McDonald, 1997; Hobbs et al., 1998; Tripathi et al., 2003).

O acamamento, tanto dos genótipos resistentes como dos suscetíveis mostrou resposta diferencial nas maiores doses de N aplicadas em cobertura, sendo que o comportamento individual de cada genótipo foi influenciado pelas características edafoclimáticas de cada ano agrícola (Apêndice 3 e Figura 2).

As cultivares BRS 195, UFRGS 19 e UPF 18, no ano de 2002, sofreram acamamento no período de enchimento de grãos (mês de outubro), em decorrência de uma tormenta de chuva e vento. Na apreciação visual destes genótipos observaram-se algumas raízes deslocadas da sua posição original caracterizando o acamamento como de raiz (Tabela 7). Já algumas plantas da linhagem 93605 e das cultivares MN 698 e URS 21, apresentaram sinais de acamamento por ocasião da antese durante os meses de agosto e setembro (Tabela 3). As plantas destes últimos genótipos exibiam curvaturas, nas porções basais de seus colmos, relacionadas com acamamento de colmo (Tabela 7). Os tipos de acamamento (raiz ou colmo) são dependentes das características intrínsecas de cada genótipo. Os períodos de antese e maturação são

mencionados na literatura como os de maior incidência de acamamento, uma vez que as plantas já atingiram a sua estatura máxima e, portanto, possuem maior momento de torque (Rocha, 1996).

O ano de 2003 foi mais seco, com temperaturas moderadas e, comparado com 2002, com menor umidade relativa do ar, menor precipitação pluvial total e maior quantidade de dias ensolarados nos períodos de crescimento vegetativo (Tabela 6). Neste ano, os genótipos mais suscetíveis apresentaram maior índice de acamamento (Tabela 9), em decorrência de uma forte tormenta com ventos e chuva ocorrida 27/10/2003 no fim do período reprodutivo. Como consequência, houve a total inclinação dos colmos da maioria dos genótipos, alguns dos quais retornaram a sua posição vertical poucos dias após. Este fato acontece quando a inclinação ocorre principalmente antes de antese (Rocha, 1996; Hobbs et al., 1998). Esta condição de retorno à situação anterior de verticalidade está relacionada com as propriedades físico-mecânicas e, fundamentalmente, à elasticidade dos tecidos do colmo como consequência da composição química dos mesmos (menor teor de hemicelulose, lignina e maior teor de água) e os movimentos de geotropismo e fototropismo (Salisbury & Ross, 1992).

Em todos os genótipos acamados observaram-se sinais de deslocamento de raízes (Tabela 7). É importante ressaltar que nesse ano (2003) o experimento foi semeado sob resteva de milho, a qual apresenta maior relação C/N disponibilizando menor N residual. Este tipo de resteva pode relacionar-se com o acamamento de raiz em razão da maior quantidade de matéria orgânica em decomposição bem como os resíduos de plantas não decompostos que ficam na superfície do solo e que dificultam a ancoragem das raízes. A restrição no

desenvolvimento do sistema radical na camada superficial de solo pode ser decorrente da acumulação de matéria orgânica (Korndörfer, 1999).

A análise do acamamento dos genótipos deve ser considerada dentro da interação entre os efeitos das condições meteorológicas de cada ano, associadas ao tipo de resteva (soja ou milho) e, ainda, com a ação dos níveis de N. Aqueles genótipos mais resistentes mostraram, em média para os dois anos, 29% de acamamento em comparação com 81% naqueles mais suscetíveis (Figura 2). Esta situação poderia estar relacionada com algumas características anatômicas, estruturais e/ou bioquímicas dos colmos das plantas dos dois grupos de genótipos, que responderam diferencialmente ao N que age sobre o grau de acamamento.

A análise da associação entre as características anatômicas e estruturais do colmo de todos os genótipos com o acamamento mostrou pouca relação de interdependência com a maioria das variáveis e genótipos estudados. Isto sugere que algumas variáveis analisadas possam ter associação indireta sobre outras características. No entanto, algumas poucas correlações significativas encontradas entre as variáveis de colmo e raiz com o acamamento no presente trabalho, indicam associação direta dessas com este fenômeno (Tabela 8).

Uma característica freqüentemente associada com a resistência ao acamamento em cereais de inverno é o comprimento dos entrenós basais (Keller et al., 1999; Kelbert et al., 2004), que devem suportar os movimentos das forças externas que agem contra os colmos (Pinthus, 1973). Tanto o comprimento do 1º como do 2º entrenó apresentaram baixa resposta ao N e não mostraram relação direta com o acamamento para a maioria dos genótipos avaliados. Em trigo (Tripathi et al., 2003) tampouco foi encontrada correlação

dos entrenós basais em relação ao acamamento tanto em cultivares resistentes como suscetíveis. Apenas na cultivar resistente BRS 195 (cevada) e na cultivar suscetível UPF 18 (aveia) observou-se relação positiva do comprimento do 1º e 2º entrenó, respectivamente com acamamento (Tabela 8).

O comprimento do 1º e 2º entrenó não pode ser caracterizado como uma variável diferencial entre genótipos (maior ou menor suscetibilidade) nas condições deste experimento. A resposta positiva do comprimento exibida pela maioria dos genótipos frente ao incremento de N, confirma a influência deste na maior expressão de crescimento dos meristemas intercalares basais (Figuras 4 e 5). Por outro lado é importante destacar as diferenças dos comprimentos do 1º e 2º entrenó entre anos (Tabela 9). Em média, o maior comprimento foi obtido no ano de 2002, concomitantemente com a maior percentagem de acamamento apresentada neste ano, na maioria dos genótipos. Não se pode estabelecer a relação de causa e efeito mas, talvez, a explicação esteja relacionada ao maior efeito residual de N (resteva de soja e as condições meteorológicas) que poderiam ter favorecido a produção ou atividade de fitohormônios como as giberelinas e auxinas que incrementam a divisão e expansão celular dos entrenós basais em condições de menor luminosidade (Chen et al., 2001; Nishizawa et al., 2002; Alabadí et al., 2004). Isto sugere uma maior influência ambiental que genotípica para este caráter, pois Keller et al. (1999) mencionam que na expressão dos vários genes que conferem resistência ao acamamento há forte influência ambiental, com importante efeito na expressão das características morfológicas dos colmos.

O diâmetro do 1º e 2º entrenó também não mostrou importante variação em resposta ao incremento de N (em geral resposta positiva) e também não foi

associado diretamente com o acamamento na maioria dos genótipos. Em contraste, Zuber et al. (1999) mencionam que o diâmetro do colmo explica perto de 50% da variação fenotípica em relação a resistência ao acamamento, normalmente relacionada negativamente com o comprimento dos entrenós. Supõe-se que o maior diâmetro de entrenós confere resistência aos colmos permitindo suportar melhor as forças externas geradas por condições adversas como vento, chuvas ou granizo (Pinthus, 1973). A relação positiva do diâmetro do 1º entrenó com o acamamento na cultivar BRS 195 no ano de 2002 (Tabela 8) poderia estar mais relacionada com o incremento do diâmetro provocado pelo N do que com a tolerância ao próprio acamamento, que não foi significativo para esta cultivar (Tabela 9).

A espessura da parede do 1º e 2º entrenó não mostrou respostas relevantes ao incremento de N nem tampouco evidenciou uma relação direta com o acamamento para nenhum genótipo (Tabela 8). Em contraste, Tripathi et al. (2003) mencionam que o diâmetro e a espessura da parede dos entrenós basais foi o fator mais importante para conferir resistência em colmos de trigo. Em geral, a espessura da parede dos entrenós se encontra relacionada de forma negativa com o acamamento. Como decorrência da maior espessura das paredes dos entrenós, encontra-se maior número de feixes vasculares, principalmente de xilema, os quais estão reforçados com impregnações de lignina que proporcionam maior rigidez aos colmos (Gemmell, 1981).

As características de comprimento, espessura e diâmetro dos entrenós basais tem sido correlacionadas com acamamento por conferir resistência mecânica. Estas características estão intimamente relacionadas com a altura final das plantas e com o aumento do centro de gravidade, que se reflete no

maior ou menor momento de torque (Pinthus, 1973). No entanto, neste trabalho, estas características expressaram pouca relação direta com o acamamento, para os distintos genótipos avaliados. Especula-se que eles exercem influência indireta com a estatura.

A estatura tem sido e é na atualidade, para as culturas de inverno, a característica mais associada com o acamamento. Ela é a característica alvo de inumeráveis programas de melhoramento em todo o mundo por ser um caráter que permite a seleção indireta de plantas resistentes (Keller et al., 1999). A estatura está geralmente associada à aplicação de N em cobertura, e a resposta na maioria dos genótipos foi positiva, com aumentos da estatura conforme se incrementaram as doses de N (Figura 10).

Embora o acamamento possa atingir as plantas de maior altura, nem todos os genótipos mais altos são os mais suscetíveis ao acamamento (Hobbs et al., 1998; Tripathi et al., 2003). Isto foi observado na linhagem 93605 de aveia que, apesar de ter porte baixo, expressou um relevante acamamento no ano de 2002 quando a altura foi positivamente correlacionada com o acamamento (Tabelas 8 e 9). Neste ano, as plantas desta cultivar foram, em média, 18% mais altas em comparação com 2003 e responderam melhor ao N adicionado em cobertura (Figura 10C). Este fenômeno é comumente observado a campo em aveia. As alterações em estatura produzidas em genótipos de aveia são muito marcantes quando causadas por variações ambientais e menos por variações genotípicas (Federizzi Com. Pessoal). Isso é corroborado por Tamm (2003) quem mostrou que a estatura apresenta baixa a moderada variabilidade genética e é mais influenciada pelas variações edafoclimáticas. Este fato permite supor que, embora não exista uma relação positiva do porte dos

genótipos com o acamamento, a estatura final, para um mesmo genótipo, pode ser um coadjuvante do acamamento quando ela aumenta como consequência do N e das características edafoclimáticas. O incremento da estatura dos colmos eleva o centro gravitacional que se encontra localizado na região mediana do mesmo. Como consequência, aumenta o momento de torque e a ocorrência de ventos pode provocar maior acamamento (Rocha, 1996).

As condições meteorológicas durante a estação de crescimento em 2002 favoreceram o aumento na estatura final das plantas, em relação a 2003, de todos os genótipos estudados (Tabela 9). Este aumento pode estar relacionado com maior disponibilidade de N residual nos primeiros estádios de desenvolvimento das plantas e/ou pelas condições meteorológicas que favoreceram um maior alongamento dos entrenós. É interessante observar que este fato também foi relacionado positivamente com o alongamento dos entrenós, aumento final da estatura e o número de afilhos (Tripathi et al., 2003).

Apesar disso, o número de afilhos não foi relacionado diretamente com o acamamento para nenhum genótipo, diferente do encontrado por Tripathi et al. (2003) que relataram que 79% da variação no acamamento foi explicada pelo número de afilhos m^{-2} . O número de afilhos, avaliados no ano de 2003, mostrou uma relação positiva com o N adicionado, na maioria dos genótipos (Figura 11). Isto pode ser consequência da maior disponibilidade de N que diminuiu a competição entre afilhos e o colmo principal permitindo maior sobrevivência das estruturas reprodutivas (Satorre, 1999). O aumento no número de afilhos provoca maior auto-sombreamento no dossel, com aumento de competição por luz e, em decorrência, aumento da atividade de fitohormônios que estimulam o crescimento dos entrenós (Pinthus 1973). Em sentido contrário, o menor número

de afilhos permite a melhor distribuição da luz no dossel resultando em plantas mais vigorosas e resistentes (Hobbs et al., 1998). Não foi encontrada uma forte evidência de que tal fato tenha ocorrido no presente trabalho. Apenas a linhagem 93605 mostrou diminuição do número de afilhos férteis conforme se aumentou o N (Figura 11C), o que poderia ser um aspecto positivo para diminuir o acamamento.

O teor de lignina do colmo principal e sua associação com o acamamento é contraditória. Ela foi variável para a maioria dos genótipos e relacionada negativamente com o acamamento apenas na cultivar MN 698 no ano de 2002. Tripathi et al (2003) encontraram correlação negativa atribuindo à menor rigidez dos colmos o incremento do acamamento. Esta menor rigidez, nos colmos da cultivar MN 698, pode estar associada com a maior plasticidade em consequência do menor teor de lignina nas doses maiores de N. Também poderia relacionar-se com as curvaturas observadas nas porções basais dos colmos no ano de 2002. Zhu et al. (2004) mencionam que a maior quantidade de lignina melhora as propriedades biomecânicas dos colmos em plantas de trigo. A diminuição no teor de lignina com o incremento de N foi uma característica encontrada nas duas cultivares de cevada podendo ser esta uma característica varietal (Figuras 12A e 12B).

O aumento de lignina nos colmos é um processo gradativo, no qual ocorre aumento na concentração de lignina com o avanço da maturação fisiológica (Jung, 1989). Este aumento confere rigidez aos colmos e, junto com a perda de água e a remobilização de carboidratos para a região da inflorescência, é responsável pela redução da elasticidade do colmo no final do período de enchimento de grãos. Neste período as plantas ficam mais

suscetíveis ao acamamento quando condições meteorológicas adversas chegam a atingí-los.

Outra característica relacionada com a resistência dos colmos ao acamamento é a matéria seca dos mesmos, pois colmos mais resistentes e compactos apresentam maior quantidade de massa seca (Hobbs, 1998). No entanto, a distribuição da matéria seca no colmo pode apresentar um desequilíbrio da parte superior em relação a porção basal, o que aumenta os riscos de acamamento (Pinthus 1973). Isso foi demonstrado no ano de 2003 quando a matéria seca da parte aérea (sem considerar o pedúnculo nem a estrutura reprodutiva) mostrou associação negativa com o acamamento para a BRS 195 e UFRGS 19 genótipos menos suscetíveis) e positiva para a MN 698 e UPF 18 (genótipos mais suscetíveis) (Tabela 8). Esta associação positiva se relaciona com colmos mais frágeis, especialmente quando estes genótipos são altos, o que permite supor uma diluição da matéria seca distribuída em colmos mais compridos e colmos menos compactos. Por outro lado, também poderia estar relacionada com o desequilíbrio na partição da matéria seca entre a parte aérea e a parte radical, diminuindo as propriedades de resistência e ancoragem do colmo (Pinthus, 1973; Braim et al., 1992).

Além das diferenças entre genótipos, a matéria seca se encontra intimamente relacionada com o suprimento de N, já que este elemento é importante para sua acumulação (Tripathi et al., 2003). Isto pode ser observado na maioria dos genótipos e, particularmente, na cultivar UFRGS 19 onde os incrementos nas doses de N explicaram 65% do aumento no peso seco (Figura 13B). Isto sugere, considerando seu baixo porte e menor número de afilhos, que

as plantas deste genótipo possuem colmos mais robustos e resistentes, que poderiam conferir maior resistência ao acamamento.

Uma porção específica da parte aérea (o peso seco do pedúnculo mais a estrutura reprodutiva) foi relacionado positivamente com o acamamento nas cultivares UFRGS 19 e URS 21 (Tabela 8). Este fato, além de estar sendo influenciado pelo N (Figura 14), se relaciona diretamente com o desequilíbrio de peso exercido pela porção superior do colmo que diminui a resistência mecânica do mesmo na porção basal ou no sistema radical, quando o vento o a chuva exacerbam esta característica (Pinthus, 1973).

O efeito da adição de N sobre a distribuição da matéria seca também foi investigado sobre o peso seco de raízes e a resposta de cada genótipo foi diferencial, encontrando-se aumentos e decréscimos, conforme se incrementaram as doses de N. Os genótipos que apresentaram média ou alta suscetibilidade ao acamamento (a linhagem 93605 e cultivares MN 698 e URS 21, respectivamente) mostraram diminuição da matéria seca das raízes com o incremento do N (Figuras 15C, 15D e 15E). Esta característica sugere um menor volume de raízes, piorando a ancoragem. A bibliografia é contraditória a respeito da influência do nitrogênio e o crescimento radical de gramíneas de estação fria, mencionando estímulo ou inibição quando são incrementadas as doses de N (Shangguan et al., 2004).

Entre os genótipos menos suscetíveis, a cultivar UFRGS 19 foi a que mostrou o maior peso seco de raízes (Tabela 11), com aumentos conforme se incrementaram as doses de N, exibindo uma correlação positiva com o acamamento no ano de 2003 (Tabela 8 e Figura 15B). Este incremento do peso seco no sistema radical coincidiu com um baixo e isolado acamamento

apresentado na dose de 150 kg ha^{-1} de N no ano de 2003, o qual mascarou a relação do peso seco de raízes e o acamamento (Figura 1). Por outro lado, a cultivar UPF 18 mostrou uma resposta não linear do aumento do peso seco das raízes com as doses de N, sendo que as dosagens de N intermediárias propiciaram maior peso seco (Figura 15F). Este tipo de comportamento também foi observado em genótipos de trigo por Shangguan et al.(2004), mencionando que existem valores ótimos de N para o crescimento radical, mas que deficiências ou altas doses do nutriente comprometem o crescimento das raízes. Estas constatações sugerem que o N pode influenciar de forma particular o crescimento do sistema radical de genótipos, que exibem estratégias diferenciais as quais modificam suas propriedades de ancoragem. Segundo Pinthus (1973), o peso seco das raízes não é o melhor estimador da ancoragem já que não contempla a distribuição espacial da parte radical.

A íntima relação entre o sistema radical (PR) e a parte aérea (PA) foi estudada pela relação entre o peso seco aéreo e o peso seco do sistema radical (PA/PR). Esta relação é um índice que reflete o crescimento e a acumulação de matéria seca entre a parte aérea e as raízes (Lloert et al., 1999). Esta relação descreve melhor o equilíbrio da partição de matéria seca entre a parte aérea e a parte subterrânea, permitindo caracterizar melhor as propriedades físico-mecânicas dos colmos e raízes.

Todos os genótipos analisados, com exceção da cultivar UFRGS 19, exibiram aumentos da relação (PA/PR) com aumentos nas doses de N. Este fato concorda com o achado por Shangguan et al.(2004), que atribuem o aumento na relação aos decréscimos no peso seco das raízes encontrados em plantas cultivadas em baixas doses de N.

O peso radical, no entanto, não contempla a dispersão do sistema radical, que define melhor a ancoragem como foi mencionado por Pinthus (1973). Esta característica foi correlacionada negativamente com o acamamento na BRS 195, UFRGS 19 e MN 698 (Tabela 8) mostrando que a cevada, tem menor ancoragem quando comparada com aveia, como consequência do sistema radical menor e mais superficial. Por outro lado, todas as cultivares mais suscetíveis apresentaram diminuição da ancoragem quando se incrementaram as doses de N (Figuras 17D, 17E e 17F), o que está em concordância com a diminuição do peso radical e o aumento na relação PA/PR. Esta diminuição na ancoragem estaria relacionada com a menor dispersão das raízes principais e com o menor ângulo de inserção das raízes primárias na região da coroa (Crook & Ennos, 1993).

O índice de colheita no ano de 2003 em geral apresentou baixos valores para a maioria dos genótipos. Esta característica estaria mais relacionada com fatores edafoclimáticos e não em decorrência do acamamento devido a que este fenômeno ocorreu no fim do período reprodutivo (130 DAE), e não afetou o enchimento dos grãos. Por outro lado o IC foi incrementado com o N em todos os genótipos como reflexo da melhor participação dos grãos (rendimento econômico) em relação a parte aérea (rendimento biológico) (Figura 18). Os genótipos de cevada mostraram maior IC, quando comparados aos genótipos de aveia (Tabela 11) como consequência do maior peso dos grãos, evidenciando uma melhor partição que os genótipos de aveia. Em relação ao acamamento, o IC foi relacionado positivamente com ele nas cultivares URS 21 e UPF 18 (Tabela 8) sugerindo que o maior peso das estruturas reprodutivas pode alterar as propriedades biofísicas incrementando o acamamento. No

mesmo sentido, o rendimento de grãos foi correlacionado positivamente com o acamamento (Tabela 8) e este fato se encontra relacionado principalmente ao incremento do rendimento como consequência do N adicionado (Figura 19 Apêndice 4). Como o acamamento ocorreu no final do período reprodutivo para a maioria dos genótipos, dificilmente o seu efeito tenha afetado o rendimento de grãos e, além disso, o tipo de colheita realizado nos dois anos, não permitiu quantificar eficientemente a incidência do acamamento sobre o rendimento de grãos devido a que todas as estruturas reprodutivas foram colhidas independentemente de estarem ou não acamadas. A correlação positiva do IC com o acamamento poderia estar relacionada com o maior peso das estruturas reprodutivas que provocam um desequilíbrio nos colmos e, conseqüentemente, pioram as propriedades biomecânicas, incrementando a suscetibilidade ao acamamento das plantas. A cultivar UFRGS 19 que mostrou uma correlação negativa com acamamento evidencia um efeito negativo sobre o rendimento principalmente nas doses intermediárias de N (Figuras 2B e 19B).

A análise de cada genótipo mostrou que nem todas as características de planta anteriormente analisadas foram fundamentais, isoladamente, para conferir resistência ou suscetibilidade ao acamamento. Embora alguns genótipos exibissem características diretamente associadas ao acamamento, elas não explicaram totalmente a suscetibilidade ou tolerância a este fenômeno. Por esta razão, as mesmas não podem ser consideradas isoladamente e especula-se que os genótipos tenham diferentes estratégias, com a utilização de caracteres que, em conjunto, conferem resistência ou suscetibilidade ao acamamento aos colmos ou raízes. Possivelmente também existam outras

características de plantas que podem estar associadas ao acamamento mas que, por limitação deste trabalho, não foram contempladas no estudo.

Como foi mencionado no início da discussão, a variabilidade genética (espécies e cultivares) testada em diferentes ambientes (anos e dose de N) para permitir a expressão do acamamento, possibilitou o agrupamento dos genótipos de acordo com a magnitude de suscetibilidade apresentada a este fenômeno. Já as avaliações das diferentes variáveis de planta permitiram caracterizar o tipo de acamamento dos diferentes genótipos.

Os genótipos menos suscetíveis (BRS 195 de cevada e UFRGS 19 de aveia) exibiram baixo acamamento, inferior a 10% na média dos dois anos, e com menor ângulo de inclinação (IA). Para eles, os níveis de N, como preditores do acamamento, explicaram em baixa proporção a ocorrência do fenômeno (Figuras 2A e 2B), quando comparados aos efeitos do N em genótipos de maior suscetibilidade. Isto indica que estes genótipos exibiram características diferenciais dos outros, o que permite incrementar o N no solo com menor risco de acamamento. Estas características podem ser resumidas em plantas de menor porte, mais robustas e compactas, em decorrência do menor número de afilhos e melhor distribuição da matéria seca total, que conferiu maior resistência mecânica aos colmos. Por outro lado o sistema radical, quando evidenciado um aumento da massa seca com o incremento do nitrogênio (Figuras 15A e 15B), significou uma estratégia importante que permite melhorar a ancoragem nas maiores doses de N. Este fato pode ser observado na cultivar UFRGS 19 com a diminuição da relação PA/PR e aumento da ancoragem quando se incrementou o N (Figuras 16B e 17B). No entanto, na apreciação visual feita a campo foram encontradas plantas com deslocamento das raízes, que levaram a classificar

esta cultivar como suscetível ao acamamento de raiz (Tabela 7). Já a cultivar BRS 195 mostrou aumento da relação PA/PR e diminuição da ancoragem com os incrementos de N (Figuras 16A e 17A) o que sugere a existência de algum grau de debilidade no sistema radical em altas doses de N, concordante com a classificação do tipo de acamamento realizada a campo nos dois anos de estudo (Tabela 7). Esta cultivar possui gene de porte baixo, o que poderia apresentar redução do período de acumulação de matéria seca radical como foram mencionado por Siddique et al. (1990) para variedades modernas de trigo.

A linhagem 93605 de aveia apresentou um comportamento diferencial das demais cultivares menos suscetíveis ao acamamento pelo considerável grau de acamamento apresentado no ano de 2002, quando o incremento nas doses de N explicaram 65% do acamamento (Figura 2C). Curiosamente, este genótipo não apresentou acamamento no ano de 2003. As características gerais analisadas neste genótipo não diferiram marcadamente dos genótipos menos suscetíveis, apresentando plantas com porte baixo e poucos afilhos (Tabelas 10 e 11 e Figura 11C). Em contraste, ela apresentou menor matéria seca aérea que os outros genótipos suscetíveis, que poderia indicar a presença de colmos menos compactos. Se isto for associado ao aumento de 40% no comprimento do 1º entrenó e 15% no aumento na estatura final (no ano de 2002). é possível supor que houve menor resistência dos colmos diante das condições edafoclimáticas naquele ano. Estas últimas características relatadas associadas com a observação de presença de curvaturas no último entrenó das plantas, levaram a classificar esta linhagem como medianamente suscetível ao acamamento de colmo no ano de 2002 (Tabela 7). O enfraquecimento da

porção basal do colmo como consequência do maior comprimento do 1º entrenó, associado a maior estatura final e incremento de peso do pedúnculo, pode constituir uma desvantagem nos aspectos físicos de tolerância ao movimento de flexão, podendo provocar curvaturas. Ainda mais, as características de raízes, avaliadas no ano de 2003, evidenciaram um inadequado equilíbrio desde o ponto de vista da ancoragem. A partição de matéria seca mostrou menor peso seco de raízes e maior relação PA/PR, quando foi incrementado o N (Figuras 15C, 16C e 17C), permitindo predizer que esta linhagem teria maior risco de acamamento sob condições de alta fertilidade.

Os genótipos mais suscetíveis (MN 698 de cevada e URS 21 e UPF 18 de aveia) exibiram acamamento de 61% e 36% (na média dos genótipos) para os anos de 2002 e 2003, respectivamente (Tabela 9) e também maior ângulo de inclinação (IA) (Tabelas 10 e 11). Neste grupo de genótipos, os níveis de N foram melhores preditores do acamamento e explicaram em alta proporção a ocorrência do fenômeno (Figura 2), quando comparado com o grupo de genótipos de menor suscetibilidade, o que indica a forte influência do nitrogênio como causador de acamamento. As características predominantes neste grupo, em geral, foram plantas de maior porte com maior número de afilhos e menor peso aéreo. Isso caracterizou colmos mais fracos, com pior partição da matéria seca e, conseqüentemente, com maior momento de torque relacionado ao aumento do centro de gravidade. Por outro lado, o menor peso de raiz, o aumento da relação PA/PR e a diminuição da ancoragem, sugerem uma predisposição ao acamamento de raiz em condições de alta fertilidade nitrogenada.

A dificuldade de caracterizar ou generalizar uma simples variável associada com o acamamento neste grupo fica evidente quando se observa o comportamento da cultivar URS 21, que apresentou uma relação positiva do acamamento com a estatura no ano de 2003 por efeito do N, mas, neste ano, as plantas alcançaram um porte menor quando comparadas com as de 2002 (Tabelas 8 e 9). Isto sugere algum tipo de interferência que não pôde ser analisada e que poderia estar relacionada com a falta de uma resposta consistente da estatura ao incremento do N no ano de 2002 (Figura 10E). Isso mascarou sua relação com o acamamento, mesmo quando as plantas foram, em média, 20% mais altas no ano de 2002. Neste sentido, para este ano, as plantas mais altas apresentaram maiores comprimentos do 1º entrenó e, coincidentemente com isto, curvaturas na porção basal que permitiram definir o acamamento como de colmo.

A cultivar de cevada MN 698 foi o genótipo que apresentou maior número de características correlacionadas com o acamamento para os dois anos (Tabela 8). Estas características poderiam se resumir em plantas altas (para o padrão da cevada), com alto número de afilhos (Figura 11D), moderado peso seco da parte aérea e com alto conteúdo de lignina, que decresceu conforme se incrementaram as doses de N (Figura 12D). Esta redução pode promover debilidade nos colmos por ficarem com maior plasticidade e menor elasticidade, que poderia favorecer a formação de curvaturas permanentes nos entrenós basais quando forças laterais chegam a atingí-las. Em função disso se caracterizaram colmos fracos e de baixa resistência mecânica classificando o acamamento de colmo no ano de 2002.

Por outro lado, o sistema radical estudado em 2003, apresentou correlação com o acamamento, sendo negativa para peso seco e ancoragem e positiva para a relação PA/PR, como consequência do baixo peso de raízes. Estas características, em relação às condições edafoclimáticas, determinaram um desequilíbrio com a parte aérea o qual provavelmente conduziu as plantas ao acamamento de raiz, como foi observado a campo no ano de 2003 (Tabela 7).

A cultivar UPF 18 foi a cultivar de maior porte e, similarmente aos outros genótipos, exibiu incremento da estatura com aumento nas doses de N. A correlação positiva do comprimento do 2º entrenó e peso da parte aérea, junto com as correlações negativas do peso seco radicular, sugere a conformação de plantas pouco equilibradas da parte aérea em relação à parte subterrânea. Esta situação piorou quando foram incrementadas as dose de N, como foi observado na ancoragem, que foi reduzida nas maiores doses de N aplicadas (Figura 17F). Estas características mostram fraqueza do sistema radical e corroboram a classificação de acamamento de raiz realizada a campo (Tabela 7).

5.1 Considerações finais

O efeito do N foi muito importante na expressão do acamamento, influenciando características de parte aérea e/ou de raízes, as quais permitiram agrupar os diferentes genótipos em relação ao maior ou menor grau, de suscetibilidade para cada tipo particular de acamamento (raiz ou colmo).

Por outro lado, a grande influência que o ambiente (ano e solo) tiveram na expressão do acamamento foi mais relevante que o efeito isolado das doses de N. Estas últimas produziram menor efeito diferencial ou de resposta

inconsistente do ponto de vista biológico, para a maioria das variáveis analisadas.

O efeito genotípico mais importante a ser ressaltado foi a expressão de diferentes tipos de acamamento, num mesmo genótipo, segundo a influência do ambiente. Esta característica já tinha sido observada por Berry et al. (2000) mencionando que o grau de resistência ou suscetibilidade a um tipo ou outro de acamamento é independente para um mesmo genótipo.

Os resultados encontrados na análise das diferentes características, permitiu corroborar a classificações do tipo de acamamento feitas visualmente a campo. Neste sentido, é importante ressaltar que o acamamento de raiz, neste trabalho, foi mais relevante que o acamamento de colmo. Esta situação foi mencionada por Berry et al. (2000) sugerindo que as cultivares sofreram seleção por características da parte aérea, principalmente da estatura, o que gerou genótipos modernos de porte baixo, mas com diminuição do sistema radical e maior relação PA/PR, apresentando desequilíbrio com a parte aérea (Siddique, et al. 1990). O deslocamento apresentado tanto nas raízes de aveia como de cevada se encontra caracterizado pela inclinação das raízes primárias e não devido a quebras das mesmas como ocorre no acamamento de raízes em milho (Neenan & Spencer, 1975).

Os estudos recentes de acamamento geralmente o relacionam a um outro caráter de planta de forma isolada, atribuindo-lhe o papel de causador de suscetibilidade ou resistência. Neste sentido este trabalho encontrou uma grande dificuldade para poder atribuir o efeito no acamamento a uma ou outra característica isolada de planta. A grande variabilidade existente entre genótipos e a influência ambiental como relatada no trabalho de Pinthus (1973), mostra a

grande interação de fatores que contribuem para a expressão do acamamento. Os efeitos dos ambientes edafoclimáticos (propiciados pela variabilidade das condições meteorológicas e pela adubação) ocorridos nos dois anos de estudo, sobre as características biométricas avaliadas, mostraram que existe uma relação do acamamento com a modificação das propriedades biofísicas dos colmos. A modificação da relação de partição do colmo e o aumento do momento de torque ocorreu principalmente nos genótipos de maior porte. Por outro lado, o equilíbrio da parte aérea com o sistema radical é de vital importância para manter uma adequada ancoragem e sustento das plantas. O menor sistema radical e a maior relação PA/PR promovem o acamamento de raízes. Esta característica independe da suscetibilidade ao acamamento de colmo e se encontra intimamente relacionado com as características das raízes, em associação direta com a parte aérea e particularmente 'as condições do ambiente.

6 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos nos experimentos das características correlacionadas com o acamamento nos dois anos é possível concluir-se que:

O acamamento apresentou-se como um fenômeno difícil de explicar através de apenas uma ou outra característica intrínseca de planta de forma isolada.

O conjunto de características de planta conformaram estratégias diferenciais, cujos efeitos aditivos contribuíram com o maior ou menor grau de suscetibilidade.

A sensibilidade dos genótipos ao acamamento foi associada ao porte das plantas, debilidade do colmo como consequência da distribuição da matéria seca no dossel e ancoragem do sistema radical.

O ambiente edafoclimático teve uma marcante influência nas características de plantas de cada genótipo, as quais exacerbam ou atenuam a manifestação do acamamento.

Os colmos sofreram alterações particulares das características biomecânicas o que se traduziu em maior ou menor suscetibilidade ao acamamento, mas com maior incidência no acamamento de colmo.

O sistema radical apresentou um equilíbrio de partição da matéria seca com a parte aérea, que conferiu a particularidade da ancoragem, e seu desbalanço promoveu o acamamento com maior incidência no acamamento de raízes.

O nitrogênio incrementou o acamamento, independentemente do grau de suscetibilidade e do porte de cada genótipo. Este efeito foi potenciado pela maior disponibilidade de N em decorrência das características meteorológicas do ano e o N residual do solo.

7 BIBLIOGRAFIA

- ALABADÍ, D. et al. Gibberellins repress photomorphogenesis in darkness. **Plant Physiology**, Rockville, v.134, n. 3, p. 1050-1057, 2004.
- ALLAN, R. E. Harvest indexes of backcross-derived wheat lines differing in culm height. **Crop Science**, Madison, v.23, n. 6, p.1029-1032, 1983.
- AYOUB, M. et al. Timing and level of nitrogen fertility effects on spring wheat yield in eastern Canada. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 748-756, 1994.
- BERGAMASCHI, H; GUADAGNIN, M.R. **Agroclima da Estação Experimental Agrônômica UFRGS** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 60p.
- BERRY, P. M. et al. A comparison of root and stem lodging risks among winter wheat cultivars. **Journal of Agricultural Science**, New York, v. 141 n. 2, p. 191-202, 2003.
- BERRY, P. M. et al. Controlling plant form through husbandry to minimise lodging in wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 67, n. 1, p. 59-81, 2000.
- BRAIM, M. A.; CHANEY, K.; HODGSON, D.R. Effects of simplified cultivation on the growth and yield of spring barley on a sandy loam soil. 2. soil physical-properties and root-growth-root-shoot relationships, inflow rates of nitrogen – water-use. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 22, n. 1-2, p. 173-187, 1992.
- BROWN, P. D.; McKENZIE, R. I. H. ; MIKAELSEN, K. Agronomic, genetic, and cytological evaluation of a vigorous new semi-dwarf oat. **Crop Science**, Madison, v. 20, n. 3, p. 303-306, 1980.
- CAIERÃO, E. Efeito do acamamento induzido em cevada sobre características Quantitativas e Qualitativas – Victor Graeff, 2002. *in* REUNIAO ANUAL DE PESQUISA DE CEVADA, 23., 2003, Passo Fundo . **Resumos...**Passo Fundo : Embrapa trigo, 2003. p. 473-478.
- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R.A. **Ecofisiologia de Cultivos Anuais**. São Paulo: Editora Nobel, 1999. 126 p.

CHEN, L. et al. A variety of wheat tolerant to deep-seeding conditions: elongation of the first internode depends on the response to gibberellin and potassium. **Plant cell and environment**, Oxford, v. 24, n. 4, p. 469-476, 2001.

CONRY, M. J. et al. Response of winter barley to nitrogen levels with and without a growth-regulator. **Irish Journal of Agricultural Research**, Dublin, v. 30, n. 1, p. 27-40, 1991.

CROOK, M. J.; ENNOS, A. R. The effect of nitrogen and growth regulators on stem and root characteristics associated with lodging in two cultivars of winter wheat. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 46, n. 289, p. 931-938, 1995.

CROOK, M. J.; ENNOS, A. R. The mechanics of root lodging in winter wheat, *Triticum aestivum* L. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 44, n. 256, p. 1219-1224, 1993.

DURZAN, D. J. Nitrogen metabolism and vegetative propagation of forest trees. In: BONGA, J. M.; DURZAN, D. J. (Ed.) **Tissue culture in forestry**. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1985. cap.10, p. 256-324.

EASSON, D. L.; WHITE, E. M.; PICKLES, S. J. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.121, n. 2, p.145-156, 1993.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos** Brasília: Embrapa, 1999. 412 f.

FEDERIZZI, L. C. et al. Ensaio sulbrasileiro de linhagens de aveia. Eldorado do Sul, In: REUNIAO DA COMISSAO SULBRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 14, 1994, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: Palotti, 1994. p. 13-14.

FISCHER, R. A.; STAPPER, M. Lodging effects on high yielding crops of irrigated semi-dwarf wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.17, n. 3-4, p. 245-248, 1987.

FOSTER, K. R.; REID, D. M.; PHARIS, R. M. Ethylene biosynthesis and ethephon metabolism and transport in barley. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 6, p. 1345-1352, 1992.

FOSTER, K. R.; TAYLOR, J. S. Response of barley to ethephon-effects of rate, nitrogen, and irrigation. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 1, p. 123-131, 1993.

FROMENT, M. A.; McDONALD, H. G. Effect of a plant growth regulator regime on internode length and weight of tillers in conventional and hybrid rye and the impact of nitrogen on crop performance. **Journal of Agricultural Science**. Cambridge, v. 128, n. 2, p. 143-154, 1997.

GEMMELL, A. R. **Anatomia do vegetal em desenvolvimento**, São Paulo: EPU, 1981. 73p.

HAUN, J. R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 116-119, 1973.

HOBBS, P. R.; SAYRE, K. D.; ORTIZ-MONASTERIO J. I. Increasing wheat yields sustainably through agronomic means. **NRG** paper, Mexico, D. F, p. 98-01, 1998.

IPAGRO. **Observações Meteorológicas no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1979. 272p. (Boletim Técnico, 3).

JUNG, H. G. Forage lignins and their effects on fiber digestibility. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 1, p. 33-38, 1989.

KELBERT, A. J. et al. The association of culm anatomy with lodging susceptibility in modern spring wheat genotypes. **Euphytica**, Dordrecht, v. 136, n. 2, p. 211-221, 2004.

KELLER, M. et al. Quantitative trait loci for lodging resistance in a segregating wheat x spelt population. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 98, n.6-7, p. 1171-1182, 1999.

KEPCZYNSKI, K.; KACZMAREK, U. Effect of CCC on the stem anatomy of winter wheat cv. Lszczynska Wczesna at different rates of nitrogen application. **Field Crop Abstracts**, Oxon, v. 28, p. 159, 1975.

KIRBY, E. J. M.; FARIS, D. G. Plant population induced growth correlations in the barley plant main shoot and possible hormonal mechanisms. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 21, n. 68, p.787-798, 1984.

KORNDÖRFER, G. H. Existe alguma relação entre silício e PD. **Direto no Cerrado**, Uberlândia, v. 4, n. 12,1999. 3f.

LEITCH, M. H.; HAYES, J. D. Effects of chlormequat chloride application on stem characteristics, yield and panicle conformation of winter oats. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v.113, n. 1, p.17-26, 1989.

LLOERT, F.; CASANOVAS, C.; PENUELAS, J. Seedling survival of mediterranean shrub land species in relation to root : shoot ratio, seed size, water and nitrogen use. **Functional Ecology**, London, v. 13, n. 2, p. 210-216, 1999.

MASLE, J.; PASSIOURA, J. B. The effect of soil strength on the growth of young wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 14, n. 6, p. 643-656, 1987.

MILACH, S. C. K.; RINES, H.W.; PHILLIPS, R. L. Plant height components and gibberellic acid response of oat dwarf lines. **Crop Science**, Madison, v. 42, n.4, p. 1147-1154, 2002.

MOLDENHAVER, K. Die gefassbundezahl und ihre beudeutung fur die lagerung des getreides. **Pflanzenschutzdienst**, Stuttgart, v. 6, n. 2, p. 97-105, 1914.

MULDER, E. G. Effect of mineral nutrition on lodging in cereals. **Plant and Soil**, The Hague, v.5, n. 3, p. 246-306, 1954.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1999. 228 p.

NEENAN, M.; SPENCER, J. L. An analysis of the problem of lodging with particular reference to wheat and barley. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 85, n. 3, p. 495-507, 1975.

NISHIZAWA, T. et al. Responses of the first internodes of Hong Mang Mai wheat to ethylene, gibberellins and potassium. **Plant Production science**, Tokyo, v. 5, n. 2, p. 93-100, 2002.

PEDÓ, F. **Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo**. 1986. 92f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em ciência do solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

PINTHUS, M. J. Lodging in wheat, barley, and oats: the phenomenon, its causes, and preventive measures. **Advances in Agronomy**, New York, v.25, p. 209-263, 1973.

ROCHA, A. **Estudo de características de genótipos de aveia e de trigo e suas relações com a quebra de colmos**. 1996. 124f Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4 ed. Belmont : Wadsworth, 1992. 682 p. Cap.19: The power of movement in plants.

SANTI, A. **Adubação nitrogenada na aveia preta (Avena strigosa): decomposição da fitomassa, liberação de nitrogênio e rendimento do milho em sucessão**. Santa Maria:UFSM, 2001. 78f Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Biodinâmica de Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

SANVICENTE, P. et al. Morphological and anatomical modifications in winter barley culm after late plant growth regulator treatment. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.11, n. 1, p. 45-51, 1999.

SAS Institute. **System for Information**, versão 8.1. Cary, NC, 1999-2000. 2 CD-ROM.

SATORRE, E.H. Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. *In*: SATORRE, E.H.; SLAFER, G.A. (Eds) **Wheat Ecology and Physiology of Yield Determination** . New York : Food Products Press, 1999.

SHANGGUAN, Z. P. et al. Effect of nitrogen on root and shoot relations and gas exchange in winter wheat. **Botanical Bulletin of Academia Sinica**, Taipei, v. 45, n. 1, p. 49-54, 2004.

SIDDIQUE, K. H. M.; BELFORD, R. K.; TENNANT, D. Root:shoot ratios of old and modern, tall and semi-dwarf wheat in a Mediterranean environment. **Plant Soil**, The Hague, v.121, n. 1, p. 89-98, 1990.

TAMM, U. The variation of agronomic characteristics of european malting barley varieties. **Agronomy Research**, Tartu, v.1, n. 1, p. 93-103, 2003.

TANDON, J. P.; JAIN, K. B. L.; SINGH, J. B. Relationship between lodging resistance and some morphological characters in barley. **Indian Journal Genetic**, New Delhi, v.33, n. 3, p. 347-354, 1973.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre : Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TRIPATHI, S. C. et al. Growth and morphology of spring wheat (*Triticum aestivum* L) culms and their association with lodging: effects of genotypes, N levels and ethephon. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 84, n. 3, p. 271-290, 2003.

VAN SOEST, P. J.; MOORE, L. A. New chemical methods for analysis of forages for the purpose of predicting nutritive value. *In*: INTERNACIONAL GRASS CONGRESS, 9. SãoPaulo, 1966. **Proceedings**. São Paulo, 1966. p. 783-789.

WHITE, E. M. Effect of management and development on stem characteristics related to lodging in winter barley. **European Journal Agronomic**, Amsterdam, v. 4, n. 3, p. 327-334, 1995.

ZHU, L. et al. Anatomical and chemical features of high-yield wheat cultivar with reference to its parents. **Acta Botanica Sinica**, Beijing, v. 46, n. 5, p. 565-572, 2004.

ZUBER, U. et al. Morphological traits associated with lodging resistance of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal Agronomic Crop Science**, Madison, v.182, n. 1, p.17-24, 1999.

8 APÊNDICES

APÊNDICE 1. Quadrados médios da análise de variância conjunta para as distintas variáveis analisadas, EEA/UFRGS, 2002/2003.

Causas de variação	GL	Quadrados médios						
		C1ºenó	C2ºenó	D1ºenó	Est.	Rend.	Acam.	IA
Repetição	3	1,27	2,41	1,97	681,51	14389236,10	338,29	1,46
Genótipo	5	63,38**	178,72**	31,27**	102883,68**	39198932,10**	141301,29**	559,28**
Erro (a)	15	1,07	3,55	0,38	247,95	1576753,40	442,86	0,59
Doses	5	11,63**	84,09**	0,99**	5639,23**	2132066,80**	55206,04**	64,85**
Gen x Doses	25	3,81**	11,30**	1,09**	481,33**	1102016,60**	6394,53**	4,72**
Erro (b)	89	12,29	28,71	2,97	7194,60	5465573,5	16016,35	40,48
Ano	1	219,77**	37,12**	35,41**	59955,98**	9394488,3**	125066,94**	5,26**
Gen x Ano	5	49,30**	102,22**	2,53**	2019,83**	9911780,40**	13382,82**	43,15**
Doses x Ano	5	9,41**	12,79**	0,32**	561,46**	919164,4**	5324,65**	12,79**
Gen x Doses x Ano	25	3,63**	11,43**	0,59**	281,81**	1036777,20**	2271,73**	2,64**
Erro (b)	89	12,29	28,71	2,97	7194,60	5465573,5	16016,35	40,48
CV		45,16	32,05	13,84	10,50	13,31	24,27	14,08

** Significativo a 1% ; * Significativo a 5%

Descrição das variáveis.

(Acam) = Acamamento (%).

(IA) = Índice de acamamento (grau de inclinação das plantas).

(C1enó) = Comprimento 1º entrenó do colmo principal .

(C2enó) = Comprimento 2º entrenó do colmo principal

(D1enó) = Diâmetro do 1º entrenó do colmo principal.

(Est) = Estatura do colmo principal.

(Rend) = Rendimento de grãos.

APÊNDICE 2 Quadrados médios da análise de variância para as distintas variáveis analisadas individualmente EEA/UFRGS, 2002- 2003.

fontes de variação	GL	2002	2003									
		Lig.	E1ºenó	E2ºenó	D2ºenó	Afilh.	PA1	PA2	PR	PA/PR	IC	Anc.
Repetição	3	7,05	0,02	0,03	0,96	0,09	177,52	1097,66	1,12	117,53	0,01	7746,40
Genótipo	5	8,94	0,25**	0,38**	26,91**	22,37**	5677,12**	9347,48**	55,89**	5010,46**	0,06**	94902,15**
Erro (a)	15	4,16	0,01	0,01	0,73	0,44	548,90	917,71	5,09	55,31**	0,01**	3342,01**
Doses	5	6,79	0,03**	0,05**	0,84**	2,81**	2856,85**	3308,87**	3,77**	862,50**	0,03**	15394,85**
Gen x Doses	25	10,98	0,04**	0,03**	1,04**	2,66**	426,53**	917,71**	6,83**	250,70**	0,01**	5147,31**
Erro (b)	53	8,24	0,05	0,06	3,37	3,76	1171,68	2107,40	10,35	694,61	0,01	14217,70
CV		8,34	20,39	26,66	16,57	28,03	23,93	21,05	20,16	10,89	12,88	15,02

** Significativo a 1% ; * Significativo a 5%

Descrição das variáveis.

(Lig) = Conteúdo de lignina do colmo principal.

(E1enó) = Espessura da parede do 1º entrenó do colmo principal.

(E2enó) = Espessura da parede do 2º entrenó do colmo principal.

(D2enó) = Diâmetro do 2º entrenó do colmo principal.

(PA1) = Peso seco da parte aérea (sem o pedúnculo e inflorescência).

(PA2) = Peso seco pedúnculo (ultimo entrenó) + inflorescência.

(PR) = Peso seco raiz por planta.

(PA/PR) = Relação entre o peso da parte aérea e o das raízes.

(IC) = Índice de colheita.

(Anc) = Ancoragem das plantas.

APÊNDICE 3. Acamamento (%), médias na interação genótipo x dose de N x ano de dois genótipos de cevada e quatro de aveia em dois anos agrícolas com doses crescentes de N em cobertura .EEA/UFRGS, 2002/2003.

Doses de N	Genótipos menos suscetíveis						Genótipos mais suscetíveis					
	BRS 195		UFRGS 19		L 93605		MN 695		URS 21		UPF 18	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
0	0,00 ns NS	0,00	0,00 b A	0,00 ns A	0,00 c A	0,00 ns A	10,00 d A	7,50 e A	6,25 c A	8,75 d A	25,00 c A	13,75 d B
30	0,00	0,00	0,00 b A	0,00 A	25,00 b A	0,00 B	45,00 c A	6,25 e B	50,00 b A	4,50 d B	81,25 b A	22,50 cd B
60	0,00	2,00	6,25 ab A	0,00 A	25,00 b A	0,00 B	40,00 c A	26,25 d B	50,00 b A	7,50 d B	93,75 a A	23,75 c B
90	3,75	2,50	12,50 a A	0,00 B	31,25 b A	0,00 B	45,00 c A	41,25 c A	50,00 b A	31,25 c B	87,50 b A	47,00 b B
120	2,50	3,00	6,25 ab A	0,00 A	31,25 b A	0,00 B	60,00 b A	52,50 b A	87,50 a A	62,50 b B	93,75 a A	68,75 a B
150	7,50	3,75	6,25 ab A	3,75 A	75,00 a A	0,00 B	85,00 a A	65,00 a B	87,50 a A	80,00 a A	100 a A	75,00 a B
Media	2,30 NS	1,87	5,20 A	0,62 B	31,25 A	0,00 B	47,50 A	33,12 B	55,20 A	32,42 B	80,21 A	41,79 B
CV	24,27											

* Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

** Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

ns Não houve diferença significativa entre os níveis de N em cobertura.

NS Não houve diferença significativa entre anos.

APÊNDICE 4. Rendimento de grãos (kg ha⁻¹), (médias) na interação genótipo x dose x ano de dois genótipos de cevada e quatro de aveia em dois anos agrícolas com doses crescentes de N em cobertura .EEA/UFRGS, 2002/2003.

Doses de N	Genótipos menos susceptíveis						Genótipos mais susceptíveis					
	BRS 195		UFRGS 19		L 93605		MN 695		URS 21		UPF 18	
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003
0	1750 c B	2620 d A	2360 bc NS	2080 c NS	1820 c A	1870 c A	2310 c A	1780 c B	1500 b NS	1170 b NS	2750 b A	2310 bc B
30	2380 b A	2680 cd A	2060 c	2430 abc	2320 b A	2340 b A	3130 b A	2310 b B	1610 b	1700 a	2930 ab A	2550 ab A
60	2660 ab A	3090 bc A	2440 bc	2260 bc	2780 a A	2420 ab B	3770 a A	2400 b B	2180 a	1770 a	3030 ab A	2470 bc B
90	2920 a B	3430 ab A	2820 ab	2740 a	2760 ab A	2470 ab B	3510 ab A	2590 b B	1780 ab	1750 a	2820 b A	2930 a A
120	2800 ab A	3240 ab A	2740 ab	2610 ab	3070 a A	2680 ab B	3250 b A	2860 ab A	1900 ab	1840 a	2990 ab A	2860 ab A
150	2880 a B	3580 a A	3080 a	2670 ab	2870 a A	2810 a A	3220 b A	3230 a A	2080 a	2080 a	3280 a A	2100 c B
Media	2570 B	3110 A	2580 NS	2470 NS	2600 A	2430 B	3200 A	2530 B	1840 NS	1720 NS	2970 A	2540 B
CV	13,31											

* Médias seguidas da mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

** Médias seguidas da mesma letra maiúscula, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

ns Não houve diferença significativa entre os níveis de N em cobertura; NS Não houve diferença significativa entre anos.



FIGURA 20. Acamamento de raiz a campo (A), Acamamento de colmo a campo (curvatura na porção basal) (B) Corte longitudinal de colmos de aveia mostrando a curvatura típica de acamamento de colmo (C). EEA/UFRGS, 2002-2003.

9 VITA

Carlos Walter Alfonso, filho de Luisa Juana Casas e Carlos Alberto Alfonso, nasceu em 18 de janeiro de 1968 em Buenos Aires, Argentina.

Estudou na Escola Nº 86 Alas Argentinas onde completou o primeiro grau. O segundo grau cursou na Escola de educação media Nº 5 (AUPI) em Ituzaingo província de Buenos Aires. Em 1988 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Nacional de Lujan (UNLu), graduando-se Engenheiro Agrônomo em dezembro de 1998. Em agosto de 2002 ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia do Programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Manejo e Fisiologia de Plantas de Lavoura, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).