

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

PROGRESSO GENÉTICO DO RENDIMENTO DE GRÃOS E CARACTERES
AGRONÔMICOS ASSOCIADOS EM AVEIA, NO PROGRAMA DE
MELHORAMENTO DA UFRGS

DANIEL ARTHUR GAKLIK WALDOW
ENGENHEIRO AGRÔNOMO/UFSM

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Mestre em Fitotecnia
Ênfase Melhoramento e Biotecnologia Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Julho de 2012

CIP - Catalogação na Publicação

Waldow, Daniel Arthur Gaklik

Progresso genético do rendimento de grãos e caracteres agronômicos associados em aveia, no Programa de Melhoramento da UFRGS / Daniel Arthur Gaklik Waldow. -- 2012.

212 f.

Orientador: Marcelo Teixeira Pacheco.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2012.

1. Progresso genético. 2. Rendimento de grãos. 3. Aveia. 4. Melhoramento genético. I. Pacheco, Marcelo Teixeira, orient. II. Título.

DANIEL ARTHUR GAKLIK WALDOW
Engenheiro Agrônomo - UFSM

DISSERTAÇÃO

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM FITOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovado em: 19.07.2012
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 27.05.2014
Por

MARCELO TEIXEIRA PACHECO
Orientador - PPG Fitotecnia

GILMAR ARDUINO BETTIO MARODIN
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

LUIZ CARLOS FEDERIZZI
PPG Fitotecnia

CARLA ANDRÉA DELATORRE
PPG Fitotecnia

ITAMAR CRISTIANO NAVA
Dep. Plantas de Lavoura
Faculdade de Agronomia/UFRGS

PEDRO ALBERTO SELBACH
Diretor da Faculdade de
Agronomia

AGRADECIMENTOS

Ao professor Marcelo Teixeira Pacheco pela orientação, críticas, amizade, dedicação e ensinamentos.

Ao professor Luiz Carlos Federizzi pelos conselhos, sugestões, ensinamentos e experiências.

Aos professores João Riboldi, José Antônio Martinelli, Maria Teresa Schifino Wittmann, Marcelo Teixeira Pacheco e Luiz Carlos Federizzi, pelo conhecimento transmitido.

Aos orientadores Lia Reiniger, Pedro Scheeren, Luiz Hermes Svoboda, Vanderlei Tonon, Ana Lídia Bonato, Alfredo Nascimento Junior e Aroldo Linhares pelo conhecimento adquirido durante o convívio, experiência e a orientação nos estágios realizados.

Aos meus pais, pela compreensão dos momentos de ausência. Meu pai, Milton Valmir Waldow, por me apresentar esta linda profissão, pelo conhecimento e experiência de vida. Minha mãe, Marly Ledy Gaklik Waldow, pelo eterno amor, carinho e dedicação. A minha irmã, Johanna Gaklik Waldow, pelos momentos de descontração, conversas e apoio.

A toda minha família pelos momentos de lazer e convívio e principalmente aos meus avós, oma Hildegarth Gaklik (*in memorian*), opa Arthur Waldow (*in memorian*) e oma Kaete Waldow pelo exemplo de vida.

Aos companheiros de apartamento, Márcio Navroski, Inêz Bacin e prima Talime Waldow pela companhia, amizade e conselhos.

Aos funcionários do Departamento de Plantas de Lavoura, Adriano, Miguel e Paulo, pela ajuda na Estação Experimental Agronômica.

Aos meus amigos do Departamento de Plantas de Lavoura, Felipe Matzenbacker, Thanise Fuller, Carolina Tessele, Cássio Herve, Juliano Wagner, Danielle Almeida, LetíciaTonello e Cibele da Costa. Em especial aos colegas da turma da aveia, Martim Severo, Adriano Schneider, Ana Paula Valentini, Kelly Pellizzaro, Diovane Antonow, Sibila Nunes, Norberto Bonardi, Felipe Zambonato, Márcio Arruda e Ismael Duarte.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

Ao Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA) pela oportunidade de trabalho, principalmente, aos colegas Antônio Rosso, Oneides Avozani, Mara Lopes, Sérgio Lopes pela compreensão e apoio.

“Sem transgressão não há evolução”

Baseada em Charles Darwin

PROGRESSO GENÉTICO DO RENDIMENTO DE GRÃOS E CARACTERES AGRONÔMICOS ASSOCIADOS EM AVEIA, NO MELHORAMENTO DA UFRGS¹

Autor: Daniel Arthur Gaklik Waldow
Orientador: Marcelo Teixeira Pacheco

RESUMO

O Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS, iniciada em 1974, tem como objetivo principal desenvolver cultivares de aveia adaptadas a ambientes do Sul do Brasil, com alta potencial produtividade e qualidade. O progresso genético de um caráter é uma contínua mudança fenotípica, observada em diferentes genótipos desenvolvidos ao longo do período de seleção considerada, causada por mudanças nas frequências alélicas do germoplasma. O estudo teve como objetivo estimar o progresso genético de diferentes características agronômicas importantes no germoplasma de aveia UFRGS e associar os ganhos de rendimento de grãos com mudanças em outras características. O estudo foi conduzido em Eldorado do Sul-RS, Sul do Brasil, nos anos de 2010 e 2011. Foram utilizados 92 genótipos de aveia desenvolvidos pela UFRGS entre 1978 e 2008, e seis testemunhas: duas cultivares de aveia antigas, desenvolvidos nos EUA e adaptada às condições do Sul do Brasil, três cultivares modernas de trigo brasileiras e uma cultivar de cevada brasileira. Em 2010, os genótipos foram avaliados com e sem fungicida, enquanto que em 2011 apenas com fungicida. A análise do progresso genético foi baseado na regressão linear entre períodos de três anos de desenvolvimento do genótipo e cada característica avaliada, em que o coeficiente de regressão (*b*) proporciona uma estimativa do ganho genético. O progresso genético do rendimento de grãos com fungicida foi estimado em 38,7 kg.ha⁻¹ ao ano em 2010 e 25,3 kg.ha⁻¹ ao ano em 2011, entre 1978 e 2008. A produtividade sem fungicida apresentou uma redução de 63,8 kg.ha⁻¹ ao ano de 1978 a 1990, seguido de um aumento de 167 kg.ha⁻¹ ao ano de 1990 a 2008, esta redução no início do programa ocorreu pela superação dos genes de resistência à ferrugem da folha em genótipos mais antigas. Além disso, ocorreu redução do número de dias da emergência ao florescimento, estatura de plantas e acamamento durante os 30 anos de melhoramento. Redução da estatura, sem mudança na biomassa, resultou em índice de colheita maior. Número de panículas por metro quadrado e peso de mil grãos também aumentou, sem modificação do peso de grãos da panícula, resultando em maior potencial produtivo. O aumento da massa de mil grãos e peso do hectolitro permitiu melhoria na qualidade dos grãos. Muitas variáveis foram associados com o rendimento de grãos, mas de forma fraca, indicando que o aumento do potencial produtivo foi resultado da modificação de diferentes características, genótipos e combinações.

¹ Dissertação de Mestrado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (212p.) Julho, 2012.

GENETIC PROGRESS OF YIELD AND RELATED AGRONOMIC CHARACTERS IN OAT, IN IMPROVING UFRGS¹

Author: Daniel Arthur Gaklik Waldow

Adviser: Marcelo Teixeira Pacheco

ABSTRACT

The UFRGS Oat Breeding Program, started in 1974, has as its major objective to develop oat cultivars adapted to Southern Brazil environments, with high grain yield and quality potential. The genetic progress of a given trait is a sustained phenotypic change, observed in different genotypes developed along the selection period considered, caused by changes in allele frequencies in the germplasm. This study aimed to estimate the genetic progress of different important agronomic traits in the UFRGS oat germplasm and associate the gains in grain yield with changes in other characteristics. The study was conducted in Eldorado do Sul-RS, Southern Brazil, in the years 2010 and 2011. We tested 92 UFRGS oat genotypes, developed between 1978 and 2008, and six checks: two old oat cultivars, developed in the U.S.A. and adapted to Southern Brazil conditions, three modern Brazilian wheat cultivars and one modern barley cultivar, also from Brazil. In 2010, the genotypes were evaluated with and without fungicide, while in 2011 only with fungicide. The analysis of genetic progress was based on linear regression between the period of three years which the genotype was obtained and the trait evaluated, where the regression coefficient (b) provides an estimate of the genetic gain. The genetic progress of grain yield with fungicide was estimated as 38.7 kg.ha⁻¹.year in 2010 and 25.3 kg.ha⁻¹.year in 2011, from 1978 to 2008. Grain yield without fungicide showed a reduction of 63.8 kg.ha⁻¹.year between 1978 and 1990, followed by an increase of 167 kg.ha⁻¹.year from 1990 to 2008, this reduction in the early breeding period resulted from the overcome of the resistance genes to leaf rust in the older genotypes of the program. Also, reduction in the number of days from emergence to flowering, plant height and lodging were observed along the 30 years of breeding. Decrease in height, with no change in biomass, resulted in increased harvest index. Number of panicles per square meter and thousand grain weight also increased, without modification of the grain weight of the panicle, resulting in increased grain yield potential. The increase in thousand grain weight and test weight allowed improvement on grain quality. Several variables were associated with grain yield, but weakly, indicating that the increase in grain yield potential was the result of modification of different traits, under different combinations, at different genotypes.

¹ Master of Science dissertation in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (212p.) July, 2012.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Hipóteses científicas.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo Geral.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 A cultura da aveia.....	4
2.2 Características botânicas.....	6
2.3 Melhoramento genético de aveia da UFRGS.....	7
2.4 Estimativas do progresso genético.....	9
2.5 Progresso genético e bases genéticas das características agronômicas.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Material genético.....	32
3.2 Instalação e condução dos experimentos.....	38
3.3 Caracteres avaliados.....	39
3.3.1 Caracteres avaliados com fungicida.....	39
3.3.1.1 Dias de emergência ao florescimento (DEF).....	39
3.3.1.2 Estatura de plantas.....	39
3.3.1.3 Acamamento.....	40
3.3.1.4 Biomassa aparente.....	40
3.3.1.5 Número de panículas por metro quadrado.....	40
3.3.1.6 Número de sementes por panícula.....	41
3.3.1.7 Peso de grãos da panícula.....	41
3.3.1.8 Índice de colheita.....	41
3.3.1.9 Rendimento de grãos.....	41
3.3.1.10 Peso do hectolitro.....	42
3.3.1.11 Massa de mil grãos.....	42
3.3.2 Caracteres avaliados sem fungicida.....	42
3.3.2.1 Área sob a curva de progresso da ferrugem da folha (ASCPFF).....	42
3.3.2.2 Severidade máxima da ferrugem da folha.....	43
3.3.2.3 Severidade de manchas foliares.....	43
3.3.2.4 Rendimento de grãos, peso do hectolitro e massa de mil grãos.....	43
3.4 Análise de interação genótipo x ano.....	44
3.5 Análise do progresso genético.....	44
3.6 Procedimentos realizados para análise da regressão linear múltipla.....	49
3.7 Análise individual da associação entre características.....	50

	Página
4 RESULTADOS.....	51
4.1 Progresso genético com fungicida.....	51
4.1.1 Progresso genético do rendimento de grãos.....	56
4.1.2 Progresso genético do número de dias da emergência ao florescimento....	59
4.1.3 Progresso genético da estatura de plantas.....	62
4.1.4 Progresso genético da produção de biomassa aparente.....	64
4.1.5 Progresso genético do acamamento.....	67
4.1.6 Progresso genético do número de panículas por metro quadrado.....	70
4.1.7 Progresso genético do número de grãos por panícula.....	73
4.1.8 Progresso genético do peso de grãos por panícula.....	77
4.1.9 Progresso genético da massa de mil grãos.....	81
4.1.10 Progresso genético do peso do hectolitro.....	84
4.1.11 Progresso genético do índice de colheita.....	89
4.2 Progresso genético sem fungicida.....	92
4.2.1 Progresso genético da resistência à ferrugem da folha.....	93
4.2.2 Progresso genético da resistência às manchas foliares.....	97
4.2.3 Progresso genético do rendimento de grãos sem fungicida.....	99
4.2.4 Progresso genético da massa de mil grãos sem fungicida.....	103
4.2.5 Progresso genético do peso do hectolitro sem fungicida.....	104
4.3 Associação entre caracteres agronômicos avaliados.....	106
4.3.1 Associação entre caracteres agronômicos com aplicação de fungicida no ano de 2010.....	107
4.3.1.1 Associação do rendimento de grãos e os demais caracteres avaliados, com aplicação de fungicida.....	107
4.3.1.2 Associação entre os caracteres agronômicos com aplicação de fungicida, exceto rendimento de grãos.....	113
4.3.2 Associação entre caracteres agronômicos sem aplicação de fungicida no ano de 2010.....	119
4.3.2.1 Associação do rendimento de grãos e os demais caracteres avaliados, sem aplicação de fungicida.....	119
4.3.2.2 Associação entre os caracteres agronômicos sem aplicação de fungicida, exceto rendimento de grãos.....	124
4.3.3 Associação entre caracteres agronômicos com aplicação de fungicida no ano de 2011.....	127
4.3.3.1 Associação do rendimento de grãos e os demais caracteres avaliados, com aplicação de fungica.....	128
4.3.3.2 Associação entre os caracteres agronômicos com aplicação de fungicida, exceto rendimento de grãos.....	134
5 DISCUSSÃO.....	141
6 CONCLUSÕES.....	196
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	198
8 APÊNDICES.....	207
9 VITA.....	212

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Genealogia, ano de obtenção da linhagem e agrupamento por triênio (período de três anos) dos genótipos avaliados no atual experimento.....	33
2. Modelo da análise de variância (ANOVA) para identificação da interação genótipo x ano.....	44
3. Agrupamento em diferentes períodos para análise de regressão e estimativa do progresso genético.....	45
4. Análise de variância para identificar interação genótipo x ano. Eldorado do Sul, RS.....	52
5. ANOVA e teste <i>T</i> de Student para a regressão linear múltipla do rendimento de grãos com fungicida através dos valores estimados e padronizados. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	111
6. ANOVA e teste <i>T</i> de Student para a regressão linear múltipla do rendimento de grãos sem fungicida através dos valores estimados e padronizados. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	123
7. ANOVA e teste <i>T</i> de Student para a regressão linear múltipla do rendimento de grãos com fungicida através dos valores estimados e padronizados. Eldorado do Sul, RS, 2011.....	132

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Exemplo de regressões analisadas pelo Software SegReg (Adaptado de Oosterbaan, 2010).....	48
2. Progresso genético do rendimento de grãos com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	57
3. Progresso genético do caráter número de dias da emergência ao florescimento com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	60
4. Progresso genético do caráter estatura de plantas com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	63
5. Progresso genético da produção de biomassa aparente com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	65
6. Progresso genético do acamamento com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	68
7. Progresso genético do número de panículas por área com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	71
8. Progresso genético do número de grãos por panícula com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	74
9. Associação entre: A) ano de obtenção das linhagens e o número de panículas por metro quadrado – NPanM2; B) ano de obtenção das linhagens e número de grãos por panícula – NGPPan; C) número de panículas por metro quadrado – NPanM2 e número de grãos por panícula – NGPPan. Eldorado do Sul, 2010.....	76

	Página
10. Progresso genético do peso de grãos por panícula com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	78
11. Associação entre: A) ano de desenvolvimento da linhagem e número de panículas por metro quadrado – NPanM2; B) ano de desenvolvimento da linhagem e número de grãos por panícula – NGPPan; C) número de panículas por metro quadrado – NPanM2 e número de grãos por panícula – NGPPan. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	80
12. Progresso genético da massa de mil grãos com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	82
13. Progresso genético do peso do hectolitro com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	85
14. Associação entre: A) anos de desenvolvimento das linhagens e peso do hectolitro – PH; B) massa de mil grãos – MMG e peso do hectolitro – PH; C) massa de mil grãos – MMG e peso do hectolitro – PH; D) massa de mil grãos – MMG e peso do hectolitro – PH. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	88
15. Progresso genético do índice de colheita com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.....	90
16. Progresso genético da: A) severidade máxima da ferrugem da folha; B) área sob a curva do progresso da ferrugem da folha – ASPFF; C) severidade da mancha foliar. Em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	94
17. Progresso genético: A) rendimento de grãos sem fungicida – RendSF; B) massa de mil grãos sem fungicida – MMGSF; C) peso do hectolitro sem fungicida – PHSF. Em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	100
18. Associação entre: A) ano de desenvolvimento das linhagens e rendimento de grãos sem fungicida – Rend SF; B; C; D) rendimento de grãos com fungicida – Rend CF e rendimento de grãos sem fungicida – Rend SF. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	101
19. Associações do rendimento de grãos com fungicida (variável dependente) com: A) dias da emergência ao florescimento – DEF; B) estatura de plantas; C) biomassa aparente; D) acamamento; E) número de panículas por metro quadrado - NPanM2; F) número de grãos por panícula – NGPPan; G) peso de grãos da panícula – PGPan; H) massa de mil grãos – MMG; I) peso do hectolitro – PH; J) índice de colheita – IC. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	109

	Página
20. Associação entre valores preditos pelo modelo linear múltiplo e o rendimento de grãos com fungicida observado. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	112
21. Associação entre diferentes características agronômicas com fungicida (dias de emergência ao florescimento – DEF, número de panículas por metro quadrado – NPanM2, número de grãos por panícula – NGPPan, peso de grãos da panícula – PGPan, massa de mil grãos – MMG, peso do hectolitro – PH e índice de colheita – IC). Eldorado do Sul, RS, 2010.....	114
22. Frequência da associação entre biomassa aparente e índice de colheita em: A) todos genótipos; B) genótipos desenvolvidos durante os anos de 1978 a 1987; C) genótipos desenvolvidos durante os anos de 1990 a 1999; D) genótipos desenvolvidos durante os anos de 2002 a 2008. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	117
23. Associação do rendimento de grãos sem fungicida (variável dependente) com: A) área sob a curva de progresso da ferrugem da folha – ASCPFF; B) severidade máxima da ferrugem da folha – SevMaxFF; C) severidade de manchas foliares – SevMF; D) massa de mil grãos sem fungicida – MMGSF; E) peso do hectolitro sem fungicida – PHSF. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	121
24. Associação entre valores preditos pelo modelo linear múltiplo e o rendimento de grãos sem fungicida observado. Eldorado do Sul, RS, 2010.....	123
25. Associação entre diferentes características agronômicas sem fungicida (área sob a curva de progresso da ferrugem da folha – ASCPFF, severidade máxima da ferrugem da folha – SevMaxFF, severidade de manchas foliares – SevMF, rendimento de grãos com fungicida – Rend CF, massa de mil grãos com fungicida – MMG CF, massa de mil grãos sem fungicida – MMG SF, peso do hectolitro com fungicida – PH CF e peso do hectolitro sem fungicida – PH SF). Eldorado do Sul, RS, 2010.....	125
26. Associação do rendimento de grãos com fungicida (variável dependente) com: A) dias da emergência ao florescimento – DEF; B) estatura de plantas; C) biomassa aparente; D) acamamento; E) número de panículas por metro quadrado – NPanM2; F) número de grãos por panícula – NGPPan; G) peso de grãos da panícula – PGPan; H) massa de mil grãos – MMG; I) peso do hectolitro – PH; J) índice de colheita – IC. Eldorado do Sul, RS, 2011.....	129
27. Associação entre: A) número de panículas por metro quadrado – NPanM2 e rendimento de grãos; B) estatura e número de panículas por metro quadrado – NPanM2; C) estatura e peso de grãos da panícula – PGPan. Eldorado do Sul, RS, 2011.....	131
28. Associação entre valores preditos pelo modelo linear múltiplo e o rendimento de grãos com fungicida observado. Eldorado do Sul, RS, 2011.....	133

	Página
29. Associação entre diferentes características agronômicas com fungicida (dias da emergência ao florescimento – DEF, número de panículas por metro quadrado – NPanM2, número de grãos por panícula – NGPPan, peso de grãos da panícula – PGPan, massa de mil grãos – MMG, peso do hectolitro – PH e índice de colheita – IC). Eldorado do Sul, RS, 2011.....	136
30. Frequência da associação entre biomassa aparente e índice de colheita em: A) todos genótipos; B) genótipos desenvolvidos durante os anos de 1978 a 1987; C) genótipos desenvolvidos durante os anos de 1990 a 1999; D) genótipos desenvolvidos durante os anos de 2002 a 2008. Eldorado do Sul, RS, 2011.....	139

1 INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal cultivado em muitos países podendo ser utilizada na alimentação humana pelo elevado valor nutritivo, devido ao conteúdo de fibras solúveis, e na alimentação animal na forma de grãos, forragem, feno e silagem. No Sul do Brasil, com as baixas temperaturas do inverno, esta cultura é uma excelente alternativa econômica aos agricultores na estação fria, com boa rentabilidade na produção de grãos de alta qualidade, e também se adequa ao sistema plantio direto como cobertura do solo pela elevada biomassa aparente.

Até os anos 70, as variedades de aveia cultivadas no Brasil eram provenientes dos Estados Unidos e Argentina. Todavia, esses genótipos eram pouco adaptados às condições climáticas brasileiras, apresentando baixo rendimento de grãos com qualidade insatisfatória. Por este motivo a aveia utilizada para consumo humano no Brasil era importada da Argentina, tendo um alto custo para o país. No ano de 1974 teve início no Rio Grande do Sul o Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS, o qual utilizou primeiramente germoplasma Norte-Americano. Com o passar das gerações de seleção pelo melhoramento foi sendo desenvolvido um germoplasma melhor adaptado às condições Sul-Brasileiras apresentando: plantas com menor estatura, portanto, menos suscetíveis ao acamamento; ciclo mais curto, possibilitando a colheita em tempo adequado para a semeadura de soja em sucessão; aumento na qualidade do grão e no rendimento de grãos.

Os ganhos genéticos para os diferentes caracteres de importância agrônômica não ocorrem necessariamente ao mesmo tempo, tampouco no mesmo ritmo. Sendo que

modificações desses caracteres podem ocorrer ao longo dos ciclos de melhoramento. Também, algumas características agronômicas apresentam baixa herdabilidade, o que dificulta o processo de seleção. O tipo ideal de planta, ou seja, que reúne somente características que levam a maior adaptação e desempenho agronômico, dificilmente é alcançado. Porém, a variabilidade genética necessária para desenvolver o tipo ideal de planta pode, eventualmente, estar presente no germoplasma de um programa de melhoramento genético.

O estudo do progresso genético dentro de um programa de melhoramento de plantas permite identificar as principais limitações que ocorreram ao longo do processo de melhoramento genético. Assim como, determinar se, para as limitações do tempo presente, há variabilidade genética adequada dentro do próprio programa de melhoramento, portanto melhor adaptado às condições locais de cultivo. Também, é possível determinar quais as modificações, nas diferentes características agronômicas e adaptativas, que proporcionaram desenvolvimento de variedades adequadas ao cultivo.

Até o momento, o Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS lançou 32 cultivares no mercado brasileiro, disponibilizando sementes de alta qualidade aos produtores rurais. Além disso, desenvolveu muitas linhagens, que fazem parte do germoplasma da instituição, durante 30 anos de melhoramento genético. Alguns destes genótipos, representativos de todas as épocas do programa de melhoramento da UFRGS, foram avaliados para estimar o progresso genético de diferentes características agronômicas, buscando observar o ganho genético e correlacionar com o método de seleção empregado e da importância de cada caráter agronômico ao longo dos anos dentro do programa.

1.1 Hipóteses científicas

- Existe progresso genético em caracteres agronômicos nas linhagens e cultivares desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS;
- As cultivares e linhagens apresentam um ganho genético contínuo ao longo dos anos;
- Existe um grau de associação entre diferentes características agronômicas;
- As variáveis que mais contribuíram para o progresso genético do rendimento de grãos foram as características de qualidade de grãos como peso do hectolitro e massa de mil grãos;

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Quantificar o progresso genético de diferentes características agronômicas em linhagens e cultivares de aveia branca desenvolvidas pelo Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS.

1.2.2 Objetivos específicos

- Mensurar o ganho genético de diferentes caracteres agronômicos no Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS;
- Identificar a existência de limites máximos e mínimos das características agronômicas dentro do germoplasma da instituição;
- Verificar o grau de associação entre diferentes caracteres agronômicos;
- Determinar quais variáveis mais influenciaram no progresso genético do rendimento de grãos, com e sem a aplicação de fungicida.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da aveia

A aveia branca é uma das principais culturas utilizadas no Sul do Brasil, tem a finalidade de produção de grãos, forragem verde, feno, silagem e cobertura verde/morta de solo no inverno. A maior parte dos grãos se destina a ração animal, especialmente para cavalos. É caracterizada como um cereal de clima ameno, podendo ser cultivado no inverno/primavera, o que ocorre no Sul do Brasil, e na primavera/verão, no Norte dos Estados Unidos, Canadá e Europa (Federizzi & Mundstock, 2004).

A aveia possui características importantes como forrageira para o gado em produção extensiva, devido a sua alta produção de matéria seca e palatabilidade, resistência ao pisoteio e baixo custo de produção (Macari *et al.*, 2006). Possibilita ainda a produção de grãos, utilizados na nutrição humana e animal, a formação de pastagens anuais de inverno, a elaboração de feno e silagem e a utilização como cobertura verde e morta do solo (Floss, 2001).

Na alimentação humana, a aveia é consumida, principalmente, na forma de flocos e de farinha, bastante utilizados para o consumo infantil (Mundstock, 1983). Pequenas quantidades deste cereal, quando inseridas na alimentação diária, têm a propriedade de reduzir o nível de colesterol no sangue devido a alta concentração de fibras solúveis (beta-glicana), bem como melhorar a digestão (Ali *et al.*, 1986), diminuir a pressão sanguínea, reduzir a probabilidade de doenças do coração (Liu *et al.*, 1982) e a de câncer do colo do útero (Reddy, 1986).

A aveia é um cereal rico em fibras solúveis (5-7%) e possui maior concentração de proteínas (15-20%), quando comparada com outros cereais como trigo e milho (variando entre 6 a 18%), além de um balanço favorável em seus aminoácidos essenciais, tendo maiores concentrações de ácido glutâmico, ácido aspártico, leucina e arginina. Possui em sua composição as sete vitaminas do complexo B, é muito rica em vitamina E, assim como contém nove minerais: Fe, Ca, Mg, Na, K, P, Cu, Mn e Zn (Welch, 1995).

A aveia ocupa na sexta posição da produção de cereais em todo o mundo, ficando atrás do trigo, arroz, milho, cevada e sorgo. A produção mundial na safra 2010 foi de 19,6 milhões de toneladas, sendo que a Rússia é o maior produtor com 3,22 milhões de toneladas, seguida do Canadá (2,3), Austrália (1,37), Polônia (1,33) e Estados Unidos (1,18) (FAOSTAT, 2012).

A área plantada com aveia no mundo foi reduzida de forma acentuada ao longo do século passado. Parte disso pode ser atribuído à substituição da tração animal nos sistemas agrícolas por maquinário propelido por motores a combustão, pois a alimentação de animais de tração era basicamente aveia branca. A área sob cultivo em 2000 foi apenas um terço do que em 1961, esta redução se deve a competição deste cereal com as demais culturas como soja e milho, principalmente, nos Estados Unidos (FAOSTAT, 2012).

Contrariamente à tendência mundial, o Brasil até meados da década de 2010 aumentou sua produção, recebendo novo impulso em virtude de diversos fatores, tais como: (i) ampla aceitação e consolidação do sistema de plantio direto, principalmente na região Sul do Brasil; (ii) disponibilidade de cultivares adaptadas e de elevados rendimentos de grãos; (iii) industrialização dos grãos a partir do estabelecimento de agroindústrias no Rio Grande do Sul e Paraná; (iv) popularização dos benefícios à saúde humana associados ao consumo de aveia; (v) uso de aveia branca para alimentação de cavalos de corrida (CONAB, 2012).

Segundo os últimos dados publicados pela FAO em 2010, o Brasil ocupa a décima sétima posição no ranking mundial com uma produção de 368.000 toneladas (FAOSTAT, 2012). No Brasil a área cultivada cresceu ao longo das últimas décadas, sendo que em 1976/77 o país cultivava 39,8 mil hectares, passando a 204 em 1998/99, chegando a 356,8 em 2005/06. A produção da safra 2010 foi de 379 mil toneladas e com a média de rendimento de grãos por hectare. No Brasil a maior produção de aveia está situada na Região Sul, basicamente nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, sendo que no ano de 2010 foram produzidos 225,2 e 143,8 mil toneladas, respectivamente, nestes estados (CONAB, 2012).

2.2 Características botânicas

As aveias formam uma série poliplóide onde ocorrem espécies diplóides, tetraplóides e hexaplóides, com número básico de cromossomos igual a sete. Pertence a família *Poaceae*, subfamília *Poideae*, tribo *Aveneae* e gênero *Avena*. A aveia branca (*Avena sativa* L.) é uma espécie alohexaplóide com $2n = 6x = 42$ cromossomos, combinando os genomas AACDD de três espécies ancestrais diplóides (Thomas, 1992). É uma espécie anual que se reproduz por autofecundação e é dentre as gramíneas cultivadas, a que possui o maior genoma.

Os subgenomas A e D são altamente relacionados. Acredita-se que o genoma D nunca tenha existido como uma espécie, porém, é sugerido que tenha derivado diretamente do genoma A. Dados citogenéticos indicam que a *Avena sativa* L. surgiu primeiro através da alopoliploidia por possuir genomas correlacionados como *A. insularis* (provável doador do genoma C) e *A. barbata* (provável doador do genoma B) e *A. sterilis* (provável ancestral direto) (Leggett e Markhand, 1995).

O centro de origem da aveia branca encontra-se na Ásia e no Oriente Médio, como outros cereais de inverno. No início da agricultura, a aveia era uma espécie invasora dos

campos de trigo e cevada. Foi introduzida na Europa juntamente com sementes de trigo e cevada. Ao longo do tempo em que as culturas foram migrando para o Centro e Norte da Europa, em ambientes mais frios, a aveia encontrou espaço, devido sua adaptação a estas condições. Assim, a aveia ganhou em competitividade, sendo domesticada como uma cultura alternativa, destinada ao consumo dos animais (Thomas, 1995).

Estudos mais recentes comprovam que as espécies do gênero *Avena* se originaram na Ásia Menor, sendo que aveia com casca originou-se na região do atual Irã, Geórgia e Rússia, enquanto que a aveia nuda (*Avena sativa* subsp. *nuda*) teve origem na região da Mongólia e China (Loskutov, 2004).

2.3 Melhoramento genético de aveia na UFRGS

Nas décadas de 60 e 70, a área cultivada com a aveia no Brasil para produção de grãos era insignificante. Naquela época, as variedades mais cultivadas pelos agricultores eram provenientes dos Estados Unidos e Argentina e apresentavam características típicas de plantas forrageiras. Apresentavam ciclo longo (maior que 150 dias), estatura de plantas elevada (aproximadamente 150 cm) e conseqüente acamamento, baixa adaptação, reduzida produtividade e qualidade de grãos. O Brasil era um grande importador de grãos de aveia da Argentina e Uruguai (Federizzi & Pacheco, 2009). A substituição de variedades antigas por variedades consideradas modernas, que apresentavam melhor tipo agrônômico, melhor adaptação aos ambientes Sul-Brasileiros, maior rendimento e qualidade de grãos, permitiu que o país se tornasse auto-suficiente na produção de grãos de aveia de alta qualidade (Carvalho *et al.*, 1987).

O melhoramento genético de aveia teve início no Brasil no ano de 1974, quando o Prof. Fernando I. Felix de Carvalho voltou de seu doutorado dos Estados Unidos para a Faculdade de Agronomia da UFRGS, o qual recebeu uma coleção de linhagens puras e populações segregantes na geração F₂ do Prof. Hazel Lee Shands, da Universidade de

Wisconsin (Federizzi *et al.* 1999). Portanto, foi neste ano que a Universidade Federal do Rio Grande do Sul deu início ao Programa de Melhoramento Genético de Aveia, cujo objetivo principal era transformar a aveia branca de uma planta produtora de forragem em uma planta produtora de grãos com alta qualidade. Uma das primeiras características a ser mudada, e que merece destaque, foi a estatura de plantas, que uma vez reduzida, possibilitou a seleção para maior resistência ao acamamento, permitindo que as variedades expressassem todo o seu potencial genético, sem perdas na qualidade dos grãos colhidos. O ciclo da cultura foi outra característica que teve mudança impactante no início do programa de melhoramento, onde foi reduzido de cerca de 190 para 130 dias, possibilitando aos agricultores uma boa alternativa econômica para o cultivo invernal no Sul do Brasil, permitindo a semeadura da soja na época adequada (Federizzi & Pacheco, 2009).

Ao longo de aproximadamente 30 anos de melhoramento de plantas de aveia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a instituição disponibilizou aos produtores brasileiros 32 variedades de aveia. Além do objetivo geral do programa de melhoramento da UFRGS, que é de transformar a aveia de uma planta produtora de forragem em produtora de grãos com alta qualidade, o programa busca desenvolver novas cultivares com ampla adaptação aos ambientes do sul do Brasil, incorporando bom tipo agrônômico, com ciclo e estatura adequados, alto rendimento e qualidade de grãos. A resistência durável às principais doenças da cultura é um dos objetivos específicos do programa, como também, o treinamento de profissionais em programas de melhoramento genético, estudos básicos de genética da aveia, que auxiliem os melhoristas na melhor escolha dos métodos de seleção, bem como na utilização dos melhores genótipos em cruzamentos (Federizzi & Pacheco, 2009).

Para uma cultivar ser lançada comercialmente é necessita testa-la em um ensaio chamado Valor de Cultivo e Uso, onde a Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (CBPA) é responsável pela condução destes experimentos. Estes ensaios são divididos em

Ensaio Preliminar (realizado por um ano, em um ou dois locais), Ensaio Regional (realizado por um ano, em oito a nove locais) e Ensaio Brasileiro (realizado por dois anos, em nove a dez locais). Ao final destes testes, a linhagem poderá ser lançada se apresentar rendimento de grãos 5% acima da melhor testemunha, na média de todos os locais nos três anos de teste (Ensaio Regional e Brasileiro). Outra possibilidade de lançamento de uma cultivar pode ser realizada de forma regionalizada, onde a linhagem é testada por mais de um ano (Ensaio Brasileiro) e deve apresentar rendimento de grãos acima de 5% da melhor testemunha, durante os últimos quatro anos de teste. E esta cultivar deverá ser recomendada apenas para os locais em que foram testados (Federizzi & Pacheco, 2009).

2.4 Estimativas do progresso genético

O progresso genético é referido como as mudanças observadas nas características de interesse agrônomo (fenótipo) durante um ciclo de seleção de uma determinada cultura. Estas modificações poderão ocorrer em magnitude e sentido variados, dependem das estratégias e dos critérios de seleção adotados. Desta forma, o melhorista de plantas precisa identificar critérios de seleção que sejam capazes de promover alterações, afim de alcançar os objetivos desejados, para as diversas características de interesse dentro de um programa de melhoramento (Reis *et al.*, 2004).

A estimativa de progresso genético em um programa de melhoramento fornece a oportunidade de associar ganhos alcançados com os métodos de melhoramento empregados, propiciando a adequação dos objetivos propostos inicialmente (Russel, 1977). Assim, esses estudos podem auxiliar na identificação de caracteres com maior contribuição para o incremento da produtividade e da qualidade.

Várias metodologias que visam quantificar o progresso genético obtido pelos programas de melhoramento foram desenvolvidas. Um dos procedimentos baseia-se em verificar em que proporção da área cultivada é adotada uma determinada cultivar

(Moresco, 2003). No entanto, o emprego desse procedimento pode não representar apenas o progresso genético, por que desta forma a avaliação não é unicamente do potencial genético, mas também da habilidade da empresa no processo de difusão das cultivares (Arias e Ramalho, 1998).

O método direto constitui uma metodologia que utiliza a avaliação de experimentos com repetições em um mesmo ano agrícola, das cultivares atuais, ou consideradas novas, com as cultivares recomendadas no passado, em relação ao período histórico desejado. Neste sentido, o ano agrícola de lançamento da cultivar é considerado a variável independente e as diferentes características avaliadas e até mesmo o rendimento de grãos representam as variáveis dependentes, podendo ser estimada uma regressão, e assim estimar o progresso genético (Duvick, 1992).

Esse último método é muito eficaz, porém necessita manter as cultivares obsoletas para a realização dos experimentos para a comparação dos genótipos. Nesse método, existe uma limitação que seria a aceitação da hipótese de que o ambiente, as exigências de mercado e os objetivos dos programas não mudam ao longo do tempo (Faria *et al.*, 2007). Porém, este problema pode ser contornado com a utilização de diversos manejos culturais, sendo considerados como tratamentos. Assim, possibilitando uma melhor verossimilhança com dados reais do progresso genético da cultura. Diferenças no manejo, como a aplicação ou não de fungicida foram utilizadas por Barbosa Neto *et al.* (2000) objetivando estimar o progresso genético de aveia no Sul do Brasil.

Existem outros métodos, também chamados métodos indiretos, os quais utilizam os ensaios da rede de teste de genótipos, cujos resultados embasam a indicação de novas cultivares, para estabelecer estimativas de ganho genético. Vencovsky *et al.* (1988) utilizando os dados de produtividade de grãos de milho dos ensaios nacionais, propuseram um método, cuja estimativa do progresso genético é obtida pelo contraste entre a média de todos os tratamentos de um dado ano e a do ano anterior. Deste contraste, subtrai-se o

efeito de ano, estimado pela diferença entre a média do grupo de genótipos comuns nesses dois anos consecutivos.

Fernandes (1988) propôs uma modificação no modelo anterior, chamado de Método Original com Ponderação para estimar o desvio ambiental médio anual por local, utilizando o método dos quadrados mínimos ponderados. Esta modificação visava evitar a perda de informações, pois no método original, ao se efetuar a estimativa do desvio genético médio, as médias dos tratamentos dos anos intermediários se cancelavam, restando apenas o primeiro e o último ano para o cálculo, não permitindo as observações entre diferentes épocas, apenas entre as extremidades. Também visava levar em consideração o número de observações de cada genótipo e eliminar a correlação dos erros experimentais entre anos consecutivos (Fernandes, 1988).

Outro método conhecido é o método que utiliza um genótipo referência, onde um determinado genótipo permanece como testemunha ao longo de todos os anos testados e pode ser usado como referencial para estimativa de ganho genético, como utilizado por Abreu *et al.* (1994). Basicamente estes autores utilizaram regressão linear ou análise de covariância em seu trabalho, contendo uma testemunha comum. Abreu *et al.* (1994) propuseram um método chamado de método da regressão com dados originais, onde era estabelecida duas equações de regressão linear, uma para o genótipo referência e a segunda para os demais genótipos. A variável dependente representa as médias originais da produtividade de grãos e a variável independente corresponde aos anos de experimentação. Ao serem comparados os coeficientes angulares das duas regressões pode-se obter o ganho genético anual através da subtração dos dois coeficientes angulares.

Os métodos indiretos possuem uma limitação de número de caracteres avaliados, pois necessitam que em todos os anos agrícolas sejam realizadas as mesmas avaliações. No método indireto normalmente são utilizados os ensaios preliminares ou ensaios de valor de cultivo e uso (VCU), onde são realizadas apenas as avaliações de rendimento de grãos, não

permitindo correlacionar diferentes características agronômicas. Diferentemente, no método direto é possível correlacionar as características agronômicas, já que são realizadas avaliações em um ou dois anos agrícolas, alguns autores como Lynch & Frey (1993) e Barbosa Neto *et al.* (2000) estimaram o progresso genético de diferentes características agronômicas, o que permitiu a estes relacionar o progresso genético de diferentes características, não somente do rendimento de grãos. Estas diferentes características permitem que o melhorista selecione uma característica indiretamente, quando a correlação entre a característica alvo (selecionada indiretamente) e a característica diretamente selecionada são elevadas; além de ser considerado se há vantagem em selecionar o caráter alvo indiretamente, baseado nas diferenças entre as herdabilidades dos dois caracteres e na correlação entre os mesmos (Bernardo, 2002).

A dificuldade que todos os métodos enfrentam é de separar o ganho puramente genético (que é o objetivo do estudo do progresso genético) da interação com o ambiente, proporcionado por uma melhoria do manejo cultural em um determinado período, o qual pode mascarar o real incremento genético para maiores produtividades (Cruz e Carneiro, 2003). Desta forma, é visível que, dependendo do método utilizado, diferentes resultados em ganho genético podem ser obtidos. Exemplos divergentes de ganhos genéticos podem ser vistos nos trabalhos com a cultura do arroz de Santos *et al.* (1999) e Soares (2005) na qual obtiveram progresso genético em porcentagem por ano de 6,06 e 0,70, respectivamente.

Através do método direto foi possível obter uma estimativa de progresso genético médio anual de 0,5% a 0,6% em trigo (Johnson *et al.*, 1968; Austin *et al.*, 1980), de 0,9% para a cevada (Wych & Rasmusson, 1983), 0,5% a 0,9% em soja (Specht & Williams, 1984; Salado-Navarro *et al.*; 1993; Ulstun *et al.* 2001). Em algodão, Meredith Jr. & Bridge (1984) obtiveram estimativas de 0,7% ao ano nos EUA e Constable *et al.* (2001) estimaram em 1,8% ao ano o progresso genético na Austrália. O progresso genético para

produtividade de aveia foi de 0,8% para nove cultivares lançadas entre 1923 e 1978 em Minnesota, nos Estados Unidos (Wych & Stuthman, 1983).

Barbosa Neto *et al.* (2000) estudando o progresso genético de aveia na região sul do Brasil, obtiveram uma redução de 1,5 dias ao ano no ciclo vegetativo, aproximadamente 21% do ciclo total para um período de 40 anos. Para esta característica Lynch & Frey (1993) não detectaram progresso em cultivares de aveia cultivadas no estado de Iowa (EUA), em nove cultivares e uma linhagem de aveia lançadas durante oito décadas, desde 1914, no Meio-Oeste Norte-Americano. Neste experimento, Lynch & Frey (1993) estimaram um progresso genético da estatura de plantas de -0,3 cm ao ano e do índice de colheita de 0,2% ao ano, em condições favoráveis de cultivo. Enquanto que em condições desfavoráveis o progresso genético do rendimento de grãos foi de 0,02 mg.ha⁻¹ ao ano, peso do hectolitro foi de 1 mg.m⁻³ ao ano e do índice de colheita foi de 0,3% ao ano. Concluindo que o melhoramento genético em Yowa foi alcançado para as cultivares de aveia em ambientes de estress.

Em um estudo para estimar o progresso genético do rendimento de grãos em genótipos desenvolvidos na Itália entre os anos de 1969 a 2004, foi observado um aumento desta variável em 36 kg.ha⁻¹ a cada ano de seleção, e quando determinados sob irrigação e não irrigado o progresso genético do rendimento de grãos foi estimado em 34 kg.ha⁻¹ e 31 kg.ha⁻¹ ao ano, respectivamente (Redaelli *et al.*, 2008).

Para cultivares de trigo lançadas entre os anos de 1940 a 1992 no sul do Brasil, o progresso genético para rendimento de grãos foi de 17,27 kg.ha⁻¹ para cada ano de melhoramento (Nedel, 1994). Enquanto que, para cultivares de soja lançadas entre os anos de 1980 a 1999 no Sul do Brasil a estimativa do progresso genético do rendimento de grãos variou de 18,1 a 26,8 kg.ha⁻¹ ao ano, para genótipos com ciclo tardio, e de 18,5 a 71,5 kg.ha⁻¹ ao ano para genótipos de ciclo médio (Lange & Federizzi, 2009).

2.5 Progresso genético e bases genéticas das características agronômicas

Caracteres com baixa herdabilidade tendem a dificultar o processo de seleção em um programa de melhoramento, devido à grande influência do ambiente. Nesse sentido, se um caráter auxiliar apresenta alta herdabilidade e estiver correlacionado com o caráter de interesse com baixa herdabilidade, é muito mais vantajoso realizar seleção de modo indireto através do caráter auxiliar. Assim, a seleção de modo indireto para caracteres menos complexos, com maior herdabilidade e de fácil mensuração, poderá resultar em maior progresso genético em relação ao uso de seleção direta. Desta forma é importante conhecer diferentes características agronômicas e fisiológicas, suas correlações e características genéticas, para melhor eficiência na seleção e também obter maior progresso genético (Carvalho *et al.*, 2001).

Os componentes básicos do rendimento de grãos são classificados em primários, como massa de mil grãos, número de panículas por planta, número de grãos por planta, número de grãos por panícula, massa da panícula e número de espiguetas por panícula, ou secundários, como estatura de plantas, número de dias da emergência ao florescimento, número de dias da emergência a maturação, entre outros.

Dentre as principais características que foram modificadas na cultura da aveia na região Sul do Brasil destaca-se o ciclo e estatura de plantas. O número de dias da emergência à ao florescimento foi reduzido de 190 dias para 130 dias (Federizzi & Pacheco, 2009). Barbosa *et al.* (2000) em seus trabalhos observaram uma redução de 21% do ciclo vegetativo de cultivares atuais para as dos anos 70, reduzindo 1,5 dias anuais. A precocidade de ciclo permitiu uma melhor utilização da aveia como cultura rentável da estação de inverno no sul do Brasil, onde são utilizadas duas culturas anuais, em sucessão com a soja (Federizzi & Pacheco, 2009).

Esta redução também foi vista em genótipos de aveia desenvolvidos na Itália entre os anos de 1969 a 2004 (Redaelli *et al.*, 2008), observando diminuição de 46 para 42 dias,

que corresponde a uma redução de 9,5%. Por outro lado, Nedel (1994) verificou um incremento do número de dias de emergência ao florescimento de 4,4% em genótipos de trigo desenvolvidos no Sul do Brasil entre os anos de 1940 a 1992.

O caráter número de dias da emergência ao florescimento (DEF), possui herdabilidade média a alta, como obtidos por Bertan *et al.* (2002), que encontrou valores de 0,6. Já Amaral *et al.* (1995) encontrou valores entre 0,19 a 0,59. Alta herdabilidade pode indicar que o caráter é governado por poucos genes, esta observação foi vista em genótipos de aveia da UFRGS, onde foi possível encontrar dois diferentes sistemas genéticos causando dominância para precocidade, sendo o primeiro visto em UFRGS 8 com um gene de grande efeito e o segundo em UFRGS 7, com dois genes e de menor efeito (Federizzi *et al.*, 1996a). O gene de UFRGS 8 é de insensibilidade ao fotoperíodo (Locatelli *et al.*, 2008).

Outro caráter que merece destaque pelos programas de melhoramento de aveia é a estatura de plantas. Plantas com estatura elevada proporcionam maior suscetibilidade ao acamamento, ocasionando redução na produtividade e na qualidade do grão. A associação entre rendimento de grãos e estatura foi linear e negativa em genótipos de aveia desenvolvidos na Itália, devido ao acamamento em cultivares com maior estatura (Redaelli *et al.*, 2008). Esta mesma relação foi observada por Dumlupinar *et al.* (2012), em genótipos de aveia desenvolvidos na Turquia.

No entanto, os resultados obtidos por Hartwig *et al.* (2006) mostram que uma seleção no sentido de reduzir estatura de plantas pode, de forma indireta, reduzir a massa de panícula, massa de grãos por panícula e limitar ganhos no rendimento de grãos. As variedades modernas de aveia brasileiras apresentam estatura entre 90 a 120 cm (Federizzi & Pacheco, 2009). Barbosa Neto *et al.* (2000) mostraram uma redução da estatura de plantas em cultivares brasileiras de aveia lançadas entre os anos de 1982 a 1996, na ordem

de 0,6 a 1,7 cm ao ano, correspondendo a uma redução entre 10 e 19 %, respectivamente, dependendo do local de teste.

Em muitos programas de melhoramento a redução na estatura é necessária para permitir elevado peso de panícula sem comprometer o rendimento e a qualidade dos grãos por acamamento. Em cultivares de aveia desenvolvidas na Itália, entre os anos de 1969 a 2004, foi verificado uma redução na estatura de 13% durante os anos de melhoramento (Redaelli *et al.*, 2008). Da mesma forma, cultivares de trigo desenvolvidas no Sul do Brasil tiveram um decréscimo de 12% na estatura dos genótipos lançados entre os anos de 1940 a 1992 (Nedel, 1994).

Federizzi *et al.* (1996b) e Milach & Federizzi (2001) encontraram a existência de dois sistemas distintos controlando o caráter estatura de plantas em genótipos de aveia da UFRGS. O primeiro sistema era baseado em genes dominantes para baixa estatura, observados nas linhagens UFRGS 884095 e UFRGS 884077, sugerindo que estes genes deveriam ser os mesmos genes conhecidos como *Dw6* e *Dw7*. Já o segundo caso foi observado nas cultivares UFRGS 7 e UFRGS 15, tendo genes de menor efeito e recessivos. Amaral *et al.* (1996) encontraram que a herdabilidade para o caráter estatura de plantas em aveia variou de zero a 0,92, através do método de regressão pai-progênie (gerações F₃ e F₄), em 18 populações de aveia, envolvendo sete genótipos do Programa de Melhoramento da UFRGS, sendo que sete das estimativas estava acima de 0,50. Em uma população de 162 linhagens recombinantes endogâmicas (RIL's) derivada do cruzamento entre os genótipos UFRGS 17 e UFRGS 930598-6, ambos os genitores desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento da UFRGS, foi encontrada herdabilidade de 0,79 para o caráter estatura de plantas (Nava *et al.*, 2010).

O acamamento é uma das características mais indesejadas em culturas produtoras de grãos, pois o aumento do acamamento provoca redução na qualidade de grãos, como

massa de mil grãos e peso do hectolitro, além de reduzir o rendimento de grãos, devido a associação da qualidade de grãos com esta última variável (Peterson *et al.*, 2005).

Em cultivares de trigo de inverno lançadas na Sérvia entre os anos de 1955 a 2006, foi verificada uma redução no acamamento na ordem de 1,56% a cada ano de seleção. Como esta característica mostrou associação forte com a estatura ($R^2=0,873$), a redução no acamamento de 1,56% a cada ano de melhoramento genético foi auxiliada por uma redução da estatura, a qual teve uma queda de 0,48 cm ao ano (Mladevon *et al.*, 2011). De Vita *et al.* (2007) indicam que a redução na estatura de plantas e no ciclo vegetativo da cultura propiciaram decréscimos no acamamento de plantas, além de ajudar no incremento do índice de colheita.

O acamamento pode ser influenciado por fatores ambientais, tal como a intensidade dos ventos e a quantidade de precipitação pluviométrica. De modo geral, uma maior velocidade dos ventos e precipitações muito intensas tende a aumentar o acamamento das culturas, especialmente quando ocorrem na fase final de enchimento de grãos. Outro fator que aumenta o acamamento é a densidade de semeadura e a competição entre plantas. O aumento de 200 para 700 sementes por metro quadrado aumentou o acamamento de 3 para 68% em cultivares modernas de aveia (Peltonen-Sainio & Jäirvinen, 1995). A competição com plantas daninhas pode aumentar o acamamento, como também, reduzir o rendimento de grãos. Em estudos com as cultivares brasileiras de aveia ALBASUL, CFT 1, UPFA 22 e URS 22, Fleck *et al.* (2009) observaram que o rendimento de grãos sem competição teve média de 4423 kg.ha^{-1} , porém, com a competição de linho o rendimento de grãos da aveia caiu para 4197 kg.ha^{-1} e com a competição de trigo o rendimento de grãos da aveia reduziu para 3128 kg.ha^{-1} .

Através da adoção do sistema plantio direto no Sul do Brasil foi necessário que o Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS voltasse seus esforços para selecionar plantas com maior vigor inicial, pois necessitava-se de genótipos capazes de crescer

rapidamente, e com maior biomassa inicial, em um ambiente com presença de palha na superfície, onde a microflora do solo compete por nitrogênio com a cultura de aveia (Luiz Carlos Federizzi & Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal). O crescimento inicial pode aumentar a capacidade produtiva dos cereais, através da fixação e distribuição de fotoassimilados na planta, sendo, portanto, um importante aspecto a ser utilizado no processo de seleção (Causse *et al.*, 1995). A produção de fitomassa também pode potencializar a formação de grãos, através da maior área fotossintética para produção de carboidratos, resultando em grãos maiores e mais pesados. Almeida *et al.* (1998) sugere que não se deve selecionar plantas mais vigorosas mas sim, em densidade adequada, as que manifestam o máximo crescimento.

Investigando genótipos de trigo lançados na Irlanda do Norte entre os anos de 1977 a 1991, foi observado que a biomassa aparente teve um incremento de $3,4 \text{ g.m}^{-2}$ a cada ano de melhoramento genético. Sendo que, esta variável foi a que mais contribuiu para o progresso genético do rendimento de grãos, o qual foi estimado em 37 kg.ha^{-1} ao ano (White & Wilson, 2006). Em cultivares de trigo lançadas do Sul do Brasil, entre os anos de 1940 a 1992, foi estimada uma mudança da biomassa aparente de $122,4$ para $127,4 \text{ g.m}^{-2}$, correspondendo a um incremento de 4% (Nedel, 1994). Por outro lado, em genótipos de aveia lançados no Sul do Brasil entre 1982 e 1997, Barbosa Neto *et al.* (2000) não encontram diferenças na biomassa aparente, formada pela palha mais os grãos.

O índice de colheita é a relação entre o rendimento de grãos e a biomassa aparente produzida, ou seja, a biomassa produzida pela planta acima do solo. Cultivares que possuem índices de colheita maiores possuem uma eficiência biológica maior, pois convertem mais biomassa em grãos. O ambiente pode afetar este caráter, uma vez que índices de colheita baixos podem ser obtidos em ambientes favoráveis no período anterior a antese, o que favorece o crescimento vegetativo, combinado com condições desfavoráveis durante o enchimento de grãos (Peltonen-Sainio *et al.*, 2008). Barbosa Neto

et al. (2000) observaram que o índice de colheita não teve incremento durante os anos de 1982 a 1997 em cultivares de aveia desenvolvidas no Sul do Brasil, apresentando valores entre 27 e 48%, dependendo do local de teste. No local onde o índice de colheita mostrou as menores médias, a maioria dos genótipos aprestou índice de colheita entre 33 e 35%, enquanto que no local com maiores médias do caráter, a maioria das cultivares de aveia mostraram índice de colheita próximo a 40%. Por outro lado, esses autores verificaram que o índice de colheita era positivamente correlacionado com o número de panículas por metro quadrado (0,24), com o peso de grãos (0,36) e com o rendimento de grãos (0,25), ao passo que foi negativamente correlacionado com número de dias da emergência ao florescimento (-0,47), estatura de plantas (-0,28), biomassa aparente (-0,29) e peso do hectolitro (-0,49) (Barbosa Neto *et al.*, 2000).

A introdução de genes de porte baixo nas cultivares modernas de aveia possibilita um aumento do índice de colheita. Em genótipos de trigo lançados na Sérvia, a redução na estatura possibilitou incrementos no índice de colheita, tendo uma correlação de -0,787 entre as duas variáveis (Mladenov *et al.*, 2011). O índice de colheita apresentou baixa herdabilidade em cultivares de trigo, porém alguns autores como Ender *et al.* (1994) sugerem que a redução na estatura, de forma indireta, pode ajudar a aumentar o índice de colheita.

Além disso, um incremento no número de panículas por metro quadrado em genótipos de aveia da Finlândia possibilitou incrementar o índice de colheita, já que apresentaram correlação de 0,36 (Peltonen-Sainio *et al.*, 2008). Em trigos desenvolvidos no Sul do Brasil a relação entre índice de colheita e espigas por metro quadrado foi linear e positiva, enquanto que não foi verificada associação entre número de afilhos por metro quadrado e o índice de colheita (Nedel, 1994).

O índice de colheita apresentou um incremento de 0,0014% a cada ano de seleção em genótipos de trigo no Reino Unido entre os anos de 1930 a 1983, juntamente com a

manutenção da mesma biomassa aparente, estas duas variáveis permitiram um aumento do rendimento de grãos de 23,5 kg.ha⁻¹ ao ano (Austin *et al.*, 1989).

White & Wilson (2006) relataram que o aumento do índice de colheita foi a variável que mais ajudou a incrementar o rendimento de grãos ($R^2=0,36$) em genótipos de trigo desenvolvidos na Irlanda entre os anos de 1977 a 1984. O índice de colheita atingiu um valor de aproximadamente 50%, sendo que consideraram esta variável como tendo um limite biológico máximo, não permitindo maiores acréscimos. Desta forma, verificaram que para continuar aumentando o rendimento de grãos durante os anos era necessário um incremento na biomassa aparente. Esta variável teve um incremento de 3,4 g.m⁻² ao ano, permitindo um aumento de 37 kg.ha⁻¹ a cada ano de melhoramento genético.

Dentre os diferentes componentes do rendimento de grãos em cereais encontra-se o número de colmos férteis por metro quadrado, o que identifica o potencial de afilhamento das plantas e afeta o número de panículas por área (Davidson & Chevalier, 1990). O afilhamento é uma característica desejável para os cereais cultivados no Sul do Brasil, onde estes proporcionam maior plasticidade às culturas frente às condições adversas do clima (Alves *et al.*, 2005).

O maior número de panículas por área pode estar associado a maior estabilidade dos genótipos de aveia as diferentes condições climáticas ou distribuição irregular de sementes na semeadura. Em estudos, procurando identificar genótipos mais adaptados as condições do Sul do Brasil, Federizzi *et al.* (1993) observaram que UFRGS 7 foi a cultivar com melhor adaptação entre as cultivares desenvolvidas pela UFRGS até aquela época, uma vez que essa cultivar apresentava um alto número de panículas por metro quadrado.

O aumento no número de panículas por área possibilita maiores incrementos no rendimento de grãos, como observado por Mladenov *et al.* (2011), estudando genótipos de trigo de inverno, desenvolvidos entre os anos de 1955 a 2006 na Sérvia. Os autores observaram um aumento de 0,8 espigas por metro quadrado a cada ano de seleção, o que

ajudou a aumentar o rendimento de grãos em 41 kg.ha^{-1} a cada ano de melhoramento genético.

Outros componentes do rendimento de grãos são o número de grãos por panícula, o peso de grãos da panícula e massa de mil de grãos. Estes apresentam desenvolvimento cronológico e cada um tem um efeito compensatório sobre o outro, ou seja, o aumento do número de panículas por área reduz o número de grãos por panícula, enquanto que um aumento do número de grãos por panícula reduz a massa de mil grãos (Barbosa Neto *et al.*, 2000).

Desta forma, quando há progresso genético para o rendimento de grãos, principal objetivo de um programa de melhoramento, esses efeitos compensatórios podem promover tanto um progresso genético positivo ou negativo nos componentes do rendimento de grãos, dependendo da sua associação com o rendimento de grãos. Em genótipos de aveia desenvolvidos na República Tcheca foi verificado um incremento no número de grãos por panícula de 71,9 para 76,9 ajudando a aumentar o rendimento de grãos, já que o número de panículas por metro quadrado não foi alterado durante os 83 anos de melhoramento genético (Nedomova, 2008).

Da mesma forma, foi observado um incremento de 28,6 grãos para 38 grãos por espiga em genótipos de trigo desenvolvidos durante 65 anos de melhoramento genético no Irã, o que ajudou a incrementar o rendimento de grãos (Khodarahmi *et al.*, 2010). Enquanto que, trigos de inverno, desenvolvidos na Sérvia entre os anos de 1955 a 2006 tiveram um aumento no número de grãos por espiga e também incremento no número de espigas por metro quadrado, sendo que estas duas variáveis colaboraram no incremento do rendimento de grãos durante os 61 anos de melhoramento genético (Mladenov *et al.*, 2011).

O número de grãos por panícula é um dos principais componentes do rendimento de grãos em aveia, porém o seu incremento pode estar associado com a redução na massa

de mil grãos (Peltonen-Sainio *et al.*, 2008). O número de grãos por panícula normalmente apresenta baixa herdabilidade, sendo que valores entre 0,14 e 0,47 foram observados por Federizzi *et al.* (1995) e Bertan *et al.* (2002), em genótipos brasileiros de aveia. Refletindo a dificuldade de serem obtidos maiores ganhos genéticos deste caráter durante o processo de seleção.

O peso da panícula, de acordo com Chapko & Brinkman (1991), apresenta duas características que confere vantagens ao seu emprego como critério de seleção indireta em aveia, em relação a outros caracteres, para seleção de genótipos com maior rendimento de grãos. A primeira vantagem é por compreender dois dos principais componentes do rendimento de grãos: massa e número de grãos; demonstrando, portanto, alta correlação com a produtividade. A segunda característica diz respeito à grande contribuição dos grãos na determinação da massa da panícula, fazendo com que a seleção baseada neste caráter confira precisão no incremento da produtividade. Em cultivares de aveia, Dumlupinar *et al.* (2012) observaram uma correlação alta entre o peso de grãos da panícula e o número de grãos por panícula ($R^2=0,7$) e correlação moderada entre peso de grãos da panícula e massa de mil grãos ($R^2=0,42$).

Em 57 linhagens fixas de aveia, introduzidos no Brasil através do programa de intercâmbio de germoplasma de aveia, a correlação entre peso da panícula e o rendimento de grãos foi de 0,72, sendo o componente do rendimento de grãos que apresentou maior efeito direto de sobre o mesmo (0,48). A seleção indireta para aumento do rendimento de grãos, através da seleção de genótipos com maior peso da panícula foi considerada uma estratégia adequada para o germoplasma analisado (Caierão *et al.*, 2001). Por outro lado, quando a seleção para panículas de maior peso foi realizada sobre plantas F_2 de aveia, pertencentes a germoplasma introduzido no Brasil, Caierão *et al.* (2006), praticamente não tiveram êxito em selecionar indiretamente para maior rendimento de grãos, medido em

famílias F_3 , embora plantas F_2 com maior peso de panícula tenham gerado famílias F_3 com maior peso de panícula.

Por estas observações, deve-se ter cuidado quando realizar a seleção para o aumento do peso de panícula, já que é um dos componentes do rendimento de grãos, tendo efeitos compensatórios. Em genótipos de aveia desenvolvidos na República Tcheca, foi observado um incremento no peso de grãos da panícula de 0,3 gramas a cada ano de seleção durante os anos de 1920 a 2003. Sendo que, o número de panículas por metro quadrado não foi modificado durante os 83 anos de melhoramento genético, com média próxima a 370 panículas/m², resultando em baixo progresso genético no rendimento de grãos, de apenas 6,9 kg.ha⁻¹ ao ano (Nedomova, 2008). Por outro lado, o peso da espiga teve um incremento de 1,12 gramas para 1,81 gramas em cultivares de trigo lançadas entre os anos de 1942 a 2007 no Irã, sem alterar os ganhos genéticos do rendimento de grãos (Khodarahmi *et al.*, 2010).

Em aveia, cada espiguetas, que compõem a panícula, pode apresentar de um a três grãos, sendo que cada panícula possui de 20 a 120 espiguetas (Bonnett, 1961). O número de flores férteis por panícula depende de fatores como potencial genético da cultura e condições climáticas na antese e fecundação (Petr *et al.*, 1988). O número de espiguetas por panícula apresenta herdabilidade baixa a média, variando entre 0,21 e (Caierão, 2000) e 0,46 (Federizzi *et al.*, 1995).

A massa de mil grãos tem uma alta associação com o rendimento de grãos. Em genótipos de aveia desenvolvidos na Itália a correlação destas duas variáveis foi de 0,68 (Redaelli *et al.*, 2008). Além desta grande importância para o rendimento de grãos, a massa de mil grãos possui grande papel na qualidade de grãos, sendo associada com o enchimento dos grãos (Forsberg & Reeves, 1992).

Para as cultivares lançadas no Sul do Brasil entre os anos de 1982 a 1997 a massa de mil grãos foi um caráter que apresentou um ganho genético entre 10 e 26%,

correspondendo a um acréscimo de 0,26 e 0,57 g ao ano, respectivamente, dependendo do local onde foi realizado o experimento (Barbosa Neto *et al.*; 2000). Em genótipos de aveia desenvolvidos na Itália o aumento desta variável foi de 31 para 33 gramas, correspondendo a 6,5% de incremento em 35 anos de melhoramento genético (Redaelli *et al.*, 2008). De forma diferente, genótipos de trigo desenvolvidos no Sul do Brasil apresentaram um incremento na massa de mil grãos de 37,8 para 38,4 gramas entre os anos de 1940 a 1977 e uma redução de 38,4 para 37,6 gramas entre os anos de 1977 a 1992 (Nedel, 1994).

A qualidade de grãos de genótipos de aveia é afetada de forma acentuada pelas mudanças ambientais (Doehlert *et al.*, 2001), fazendo com que a herdabilidade destas variáveis sejam baixas. Em estudos de herança genética do peso de grãos primários e secundários, Cabral *et al.* (2002) estimaram a herdabilidade no sentido amplo do peso de grãos primários variando de 28 a 80%, enquanto no sentido restrito variando de 14 e 30%. Para o peso de grãos secundários, os autores estimaram herdabilidade no sentido amplo variando de 24 e 76%, enquanto no sentido restrito variando de 17 e 42%. Cabral *et al.* (2002) demonstraram que herdabilidades no sentido restrito relativamente baixas são resultados da presença de desvios de dominância com valores similares aos encontrados para a aditividade, na maioria das populações avaliadas.

Além da massa de mil grãos, o peso do hectolitro tem grande importância na qualidade de grãos. A massa de mil grãos e o peso do hectolitro apresentaram correlação de 0,432 em genótipos de aveia cultivados no Canadá, Estados Unidos e Holanda (Peterson *et al.*, 2005). O peso do hectolitro é um importante parâmetro na comercialização dos grãos de aveia e está intimamente relacionado com a proporção de cariopse e casca em aveia. Apesar da indústria somente adquirir grãos com peso do hectolitro acima de 50 kg.hl⁻¹ (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal), Peterson *et al.* (2005) encontraram uma correlação de apenas 0,052 entre peso do hectolitro e o rendimento industrial. Forsberg & Reeves (1992) advertem que elevado peso do hectolitro e rendimento industrial estão

associados com um bom enchimento de grãos, mas nem sempre associados com altos valores da massa de mil grãos.

Segundo dados observados por Barbosa *et al.* (2000), o progresso genético do peso do hectolitro foi estimado em 0,17 e 0,28 kg.hl⁻¹, dependendo do local de teste, a cada ano de seleção durante os anos de 1982 a 1997 em cultivares de aveia lançadas na região Sul do Brasil. Em estudos de herança desta característica agrônômica, Nava *et al.* (2010) observaram que a herdabilidade foi de 0,5, sendo considerada uma herdabilidade moderada para o caráter.

O rendimento de grãos em cereais é o produto da biomassa aparente pelo índice de colheita, sendo a biomassa aparente o total de matéria seca produzida acima do solo por unidade de área (Jalani *et al.*; 1979). No trabalho realizado por Barbosa Neto *et al.* (2000), o rendimento de grãos em genótipos do Sul do Brasil, lançados entre 1982 e 1996 mostrou incremento de 28 kg.ha⁻¹ ao ano, em um dos locais de realização do experimento, enquanto que no segundo local o rendimento praticamente não foi alterado, apesar de ser verificada leve redução no rendimento de grãos nos genótipos mais modernos. A maior contribuição para o aumento do rendimento de grãos foi dada pelo aumento da biomassa aparente (Barbosa Neto *et al.*; 2000). No ano de 2008, o rendimento médio das cultivares de aveia recomendadas pela Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia foi de 4116 kg.ha⁻¹ (Pacheco *et al.*, 2009).

A biologia molecular tem auxiliado na identificação de QTL's (*Quantitative Trait Loci*) associados a caracteres agrônômicos de interesse, sendo que marcadores moleculares associados a esses QTL's podem, eventualmente, serem utilizados na seleção assistida. Em uma população de linhagens recombinantes, derivada do cruzamento entre a cultivar UFRGS 8 e a linhagem UFRGS 930605, foram encontrados dois QTL associados ao peso de panícula, um QTL para o aumento do número de espiguetas por panícula e um QTL para aumento do número de grãos por panícula (Cover *et al.*, 2011).

Ainda no sentido de observar diferentes características agronômicas na cultura da aveia no Sul do Brasil, Mattioni *et al.* (2009) observaram diferenças em caracteres agronômicos através de dois tratamentos, com e sem fungicida. A seleção em ambientes onde o tratamento com fungicida é aplicado permite expressar a variância genética, facilitando a seleção. Por outro lado, não permite a identificação de genes que conferem resistência a fatores bióticos como a ferrugem da folha. Portanto, o autor comenta que os dois tratamentos, com e sem fungicida, são importantes no sentido de agregar a seleção em caracteres de rendimento de grãos e resistência a moléstias. Correlações entre rendimento de grãos com caracteres de panículas e de grãos foram estimadas por Battisti *et al.* (2009), os quais observaram que o caráter mais fortemente correlacionado com o rendimento de grãos foi o peso do hectolitro (0,79), seguido do peso de grãos (0,53) e do peso de panícula (0,64) em um ambiente sem fungicida. Já em ambiente com fungicida o rendimento de grãos foi mais fortemente correlacionado com o peso do hectolitro (0,35) e com a massa de mil grãos (0,32).

A ferrugem da folha da aveia, causada pelo patógeno *Puccinia coronata* f.sp. *avenae*, é a principal doença da cultura, sendo responsável pela redução no rendimento de grãos, em genótipos suscetíveis, quando não realizado seu controle, comparativamente a outras doenças da aveia. O Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS tem trabalhado tanto com a resistência vertical à ferrugem da folha, quanto com a resistência parcial. Praticamente todas as linhagens de aveia desenvolvidas pela UFRGS apresentaram níveis relativamente elevados de resistência à ferrugem da folha quando foram desenvolvidas. Como o principal tipo de resistência utilizado foi a resistência vertical, controlada por genes de grande efeito sobre o fenótipo, porém pouco duráveis, atualmente a maioria das linhagens apresenta algum grau de suscetibilidade à moléstia, embora em muitos ainda sejam encontrados níveis aceitáveis de resistência à ferrugem da folha (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal). Em um estudo para identificação dos

componentes da resistência à ferrugem da folha em linhagens recombinantes dos progenitores UFRGS 7 (considerado suscetível) e UFRGS 910906 (considerado resistente), Wesp (2005) encontrou maior área sob a curva de progresso da doença na linhagem 910906, com aproximadamente 450 unidades de área, enquanto que a cultivar UFRGS 7 (considerada suscetível) teve média de 200 unidades de área, aparentemente com maior resistência. A autora justificou a menor quantidade de doença encontrada em UFRGS 7 pela menor frequência das raças que atacam este genótipo os anos deste experimento, já que a cultivar deixou de ser cultivada em grande escala há muitos anos.

Parte da durabilidade da resistência deve-se a busca pela incorporação de resistência parcial à ferrugem da folha no germoplasma de aveia da UFRGS, considerada mais durável que a resistência vertical (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal). Na década de 1990 foram identificados dois sistemas genéticos da resistência vertical a ferrugem da folha no germoplasma de aveia da UFRGS, quando foram realizados cruzamentos entre genótipos resistentes à ferrugem da folha (UFRGS 15, UFRGS 881920 e UFRGS 86A1194-2) com genótipos suscetíveis (UFRGS 7, UFRGS 8 e UFRGS 14). Desta forma, foi verificado que a linhagem UFRGS 881920 apresentava um gene dominante de resistência, enquanto que a cultivar UFRGS 15 apresentava dois genes complementares que dão resistência a esta doença (Cruz *et al.*, 2001).

A partir de 1995 foi realizado grande esforço para incorporação do gene *Pc68* de resistência à ferrugem da folha, derivado de *Avena sterilis*, através do cruzamento de genótipos adaptados do programa da UFRGS com o genótipo Pc68/5*Starter, o qual se encontra na genealogia da maioria das linhagens UFRGS desenvolvidas a partir de 1998 (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal). O genótipo Pc68/5*Starter apresenta uma resistência específica a raça, com resposta de hipersensibilidade e alto acúmulo de compostos fenólicos, causando morte celular programada de células atacadas pelo patógeno, dificultando a colonização destes (Grainchen *et al.*, 2011).

Apenas a utilização de resistência vertical, geralmente, causa a superação da resistência pela população de *P. coronata* em poucos anos de cultivo. Aliado a esta resistência, a resistência parcial pode auxiliar na proteção dos genótipos frente às diversas populações do patógeno. Este tipo de resistência, por não ser específica a raça do patógeno, não impõe altas pressões de seleção sobre o patógeno, reduzindo a probabilidade de superação da resistência parcial, pelo menos em períodos curtos de tempo. Além disso, a resistência parcial tem características de redução no progresso da doença ao longo do ciclo da cultura, com menor número de pústulas por área foliar (Martinelli *et al.*, 2009). A resistência parcial à ferrugem da folha vem sendo estudada pelo Programa de Melhoramento da UFRGS desde 1995. Do trabalho inicial foi verificado que o genótipo UFRGS 910906 era o mais promissor quanto à resistência parcial à ferrugem da folha (Thomé *et al.*, 2001). A partir do cruzamento deste genótipo parcialmente resistente (UFRGS 910906) com o genótipo UFRGS 7, suscetível à ferrugem da folha, foi possível identificar cinco QTL's associados à resistência à ferrugem da folha na geração F₂ e três QTL's na geração F₆ (Barbosa *et al.*, 2006). A herdabilidade no sentido amplo para a resistência à ferrugem da folha revelou-se baixa nas gerações iniciais desse cruzamento (F₂ a F₄, variando de 23 a 27%, enquanto foi elevada nas gerações mais avançadas de autofecundação (F₅ e F₆), cerca de 95% (Barbosa-Prestes *et al.*, 2008). Outro estudo sobre a resistência parcial no germoplasma de aveia da UFRGS revelou que a linhagem UFRGS 960845-2 também era promissora quanto a sua resistência parcial (Chaves *et al.*, 2004a). Procurando entender como a resistência parcial à ferrugem da folha era produzida, Chaves *et al.* (2004b) encontraram que diferentes componentes da resistência eram responsáveis por reduzir a quantidade de ferrugem da folha nos genótipos parcialmente resistentes, como a eficiência de infecção, o período de latência, o comprimento de pústulas e o número de esporos por pústula.

Mais recentemente, Santos (2009) estimou que o caráter resistência parcial à ferrugem da folha em populações segregantes, derivadas de germoplasma da UFRGS, pode ser controlado por vários genes de ação gênica aditiva, cujo número poderia variar entre três a nove, mais provavelmente entre seis e oito genes, havendo genes de maior efeito e genes modificadores, de menor efeito sobre o fenótipo. As linhagens parcialmente resistentes estudadas eram todas descendentes do cruzamento entre os genótipos UFRGS 952681 e UFRGS 17. Entre os parentais resistentes, no estudo de Santos (2009) os de maior resistência parcial foram as linhagens UFRGS 04B7117-2 e UFRGS 04B7119-2. Graichen *et al.* (2011) demonstraram que a linhagem UFRGS 04B7119-2 e a cultivar URS 21 apresentaram mecanismo de resistência à ferrugem da folha associado à morte celular e a acumulação de compostos fenólicos após as colônias do patógeno já estarem estabelecidas, diferentemente de genótipo controle, com resistência específica à raça (Pc68/5*Starter), o qual mostrou morte celular rápida, impedindo a formação de colônias do patógeno.

A cultivar URS 21 foi lançada comercialmente no ano 2000 e encontra-se resistente à ferrugem da folha até o momento atual. Zambonato (2011) demonstrou que a resistência parcial apresentada por URS 21 deve-se, provavelmente, a um sistema controlado por cinco locos, onde há dois locos principais controlando o caráter. Em um desses locos principais, a resistência é conferida por alelos dominantes e no outro loco por alelos recessivos, o qual deve representar um gene de suscetibilidade, ou seja, um gene cujo produto é essencial para que o patógeno consiga colonizar o hospedeiro eficientemente. Esse loco com alelos recessivos para a resistência revelou-se essencial para a expressão da resistência parcial, uma vez que basta que apresente um alelo dominante, para que a planta apresente níveis relativamente elevados de suscetibilidade, independente dos alelos presentes nos demais locos. Os outros três locos apresentaram alelos dominantes para a

resistência, sendo que a sua presença aumenta os níveis de resistência à ferrugem da folha (Zambonato 2011).

A ferrugem da folha causa reduções elevadas no rendimento de grãos como também na qualidade dos mesmos. A Área Sob Curva de Progresso da Ferrugem da Folha (ASCPFF) tem uma grande associação, linear e negativa com rendimento de grãos, massa de mil grãos e peso do hectolitro, todos estes sem o controle de fungicidas. Porém a seleção de genótipos mais resistentes e a seleção para o aumento do rendimento de grãos pode modificar estas associações. Em um estudo realizado por Holland e Munkvold (2001), que avaliaram uma população segregante de aveia na geração F_3 , derivadas do cruzamento biparental, envolvendo 10 genótipos com alto rendimento e qualidade de grãos e 10 genótipos com alta resistência a ferrugem da folha, foi encontrado uma correlação de 0,61 entre rendimento de grãos medido em plantas tratadas com fungicida e o rendimento de grãos observado em plantas não tratadas com fungicida. Em outra subpopulação, na geração $F_{3;5}$, originada de plantas escolhidas ao acaso de uma cruzamento mais complexo, a correlação entre estas variáveis foi menor, igual a 0,35.

Além disso, Holland e Munkvold (2001) observaram que a massa de mil grãos, sem aplicação de fungicida, teve associação positiva fraca (0,26) com o rendimento de grãos com fungicida, na população de famílias F_3 . Por outro lado, a massa de mil grãos medida com aplicação de fungicida teve maior correlação (0,56) com o rendimento de grãos observado em parcelas não tratadas com fungicida e inoculadas com ferrugem da folha. Já o peso do hectolitro medido na presença e na ausência de fungicida não foi correlacionado com o rendimento de grãos medido na situação oposta de tratamento fúngico, nas mesmas famílias F_3 (Holland e Munkvold, 2001).

Outra doença que merece destaque na cultura da aveia são as manchas foliares, causadas por um complexo de fungos que acabam produzindo sintomas parecidos na folha da aveia, sendo que o principal patógeno é *Pyrenophora chaetomioides*. Procurando

identificar genótipos mais resistentes a esta doença, Silva *et al.* (2012) classificaram alguns genótipos desenvolvidos no programa de melhoramento genético da UFRGS. Onde observaram que as linhagens UFRGS 9912002-1 e UFRGS 047062-2 foram consideradas suscetíveis, com uma severidade final variando de 11,33% a 20%. Por outro lado, as cultivares UFRGS 15, UFRGS 16 e UFRGS 17, UFRGS 19 e URS 21 apresentaram resistência moderada, com severidade final variando entre 0,66% a 5,3%.

Em trigo as manchas foliares são causadas principalmente pelos patógenos *Drechslera tritici-repentis*, *Bipolaris sorokiniana* e *Stagonospora nodorum*. Estes agentes causais promovem reduções de produtividade e danos aos grãos na cultura tritícola brasileira. Algumas práticas culturais podem aumentar o inóculo desta doença, Prestes *et al.* (2002) estudando diferentes manejos observaram que a incidência de mancha foliar em cultivares de trigo BR-23 e EMBRAPA 16 foi de 13% em plantio direto e de 7% em plantio convencional durante o estágio de afilhamento. Enquanto que no estágio de alongamento a incidência foi de 18% no plantio direto e de 12 a 13% no plantio convencional. Além disso, observaram que a sucessão de cultivo trigo/soja apresentou maior incidência da moléstia que a rotação de diferentes culturais tanto de inverno como de verão. Os autores argumentaram que as principais fontes primárias para esta doença são sementes infectadas e restos culturais, já que os patógenos são emibiotróficos. O plantio direto pode ter permitido um aumento na incidência desta doença, e deve ser viabilizada com a rotação de culturas. Apesar do aumento da doença, Prestes *et al.* (2002) mostram que o plantio direto contribui para incremento no rendimento de grãos se comparado ao cultivo convencional, pelas menores perdas de nutrientes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material genético

Os genótipos avaliados neste trabalho foram escolhidos com base na sua importância dentro programa de melhoramento da UFRGS. Essa importância está relacionada ao emprego destes genótipos em blocos de cruzamentos, significância pelo elevado desempenho dentro da época desenvolvida, pela sua genealogia *per se* ou por ter sido lançada como cultivar comercial ao longo da história do programa de melhoramento. Foram incluídas 28 cultivares de aveia do programa, 64 linhagens desenvolvidas pela UFRGS durante 30 anos de melhoramento (1978 a 2008). Além destes materiais, duas cultivares de aveia Norte-Americanas adaptadas a região Sul-Brasileira, três cultivares de trigo modernas e uma cultivar de cevada moderna, totalizando 98 genótipos avaliados. A genealogia e ano de desenvolvimento das linhagens e cultivares são apresentados na Tabela 1. Os genótipos exóticos de aveia e de outras espécies de cereais de inverno serviram como testemunhas do desempenho dos genótipos de aveia da UFRGS.

As cultivares de aveia Norte-Americanas Suregrain e Coronado, foram escolhidas como testemunha por constituírem cultivares adaptadas as condições climáticas do Sul do Brasil e por terem sido cultivadas pelos agricultores brasileiros na década de 1970. Além disso, Coronado faz parte da genealogia das principais cultivares de aveia, assim como em muitas linhagens de destaque, desenvolvidas pela UFRGS.

Cultivares de trigo e cevada (Tabela 1) foram incluídas no experimento para compreender como o cultivo de aveia está em comparação aos cereais de inverno/primavera cultivados no Sul do Brasil, ocupando nichos agrícolas similares. Além

TABELA 1. Genealogia, ano de obtenção da linhagem e agrupamento por triênio (período de três anos) dos genótipos avaliados no atual experimento.

Genótipo	Espécie	Empresa	Cultivar/ Linhagem	Genealogia	Ano de obtenção da linhagem	Período
Coronado	Aveia	-	Cultivar	Santa Fe / 2*Clinton /3/ Sac // Hajira / Joannette /4/ New Nortex / Landhafer /5/ Black Mesdag / Ab 101 = CI 6671 // New Nortex / Landhafer /3/ CI 7650	1967*	-
Suregrain	Aveia	-	Cultivar	Arlington / Delair // Trispermia	1957*	-
UFRGS 1	Aveia	UFRGS	Cultivar	Dal / CDA 292	1978	1978
UFRGS 2	Aveia	UFRGS	Cultivar	Dal / CDA 292	1978	1978
UFRGS 4	Aveia	UFRGS	Cultivar	Dal / CDA 292	1979	1978
UFRGS 7	Aveia	UFRGS	Cultivar	X1205 / FLA 1093	1981	1981
UFRGS 8	Aveia	UFRGS	Cultivar	OA338 / X2682-1	1982	1981
UFRGS 9	Aveia	UFRGS	Cultivar	Double / S (4 parents)	1982	1981
UFRGS 10	Aveia	UFRGS	Cultivar	C1217 / Coronado-BCRA	1982	1981
UFRGS 11	Aveia	UFRGS	Cultivar	Quadcross (16 parents)	1982	1981
UFRGS 12	Aveia	UFRGS	Cultivar	734470-2 / Coker 234-74C17	1982	1981
UFRGS 15	Aveia	UFRGS	Cultivar	Cocker 81C42 // Coronado ² / Cortez ³ / Pendek / Me1563	1987	1987
UFRGS 14	Aveia	UFRGS	Cultivar	80SA65 // Coronado ² / Cortez ³ / Pendek / Me 1563	1988	1987
UFRGS 18	Aveia	UFRGS	Cultivar	Cocker 81C42 // Coronado ² / Cortez ³ / Pendek / Me1563	1988	1987
UFRGS 881920	Aveia	UFRGS	Linhagem	Sel UFRGS 16/Guaiba sel. 1	1988	1987
UFRGS 881971	Aveia	UFRGS	Linhagem	Cocker 81C72 // Coronado ² / Cortez ³ / Pendek / Me 1563	1988	1987
UFRGS 884070-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	DON/ x 4020-15	1988	1987
UFRGS 884110	Aveia	UFRGS	Linhagem	C5-2 1563 CRcpx/SRcpx//79Bonow sel	1988	1987
UFRGS 16	Aveia	UFRGS	Cultivar	CP16CRcpx / C7512 // SRcpx / 74C8014	1989	1990
UFRGS 17	Aveia	UFRGS	Cultivar	Coronado ² / Cortez ³ / Pendek / ME1563 // 76-29 / 76-23 / 75-28 / CI833	1990	1990
UFRGS 901707	Aveia	UFRGS	Linhagem	Q88 / 193	1990	1990
UFRGS 910905-1-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 871547 / UFRGS 881920	1991	1990
UFRGS 910906-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 871547 / UFRGS 881920	1991	1990
UFRGS 911715	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 86A1194-2 / UFRGS 8	1991	1990
UFRGS 930551-6	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 881920 / UFRGS 7	1993	1993

continuação TABELA 1. Genealogia, ano de obtenção da linhagem e agrupamento por triênio (período de três anos) dos genótipos avaliados no atual experimento.

Genótipo	Espécie	Empresa	Cultivar/ Linhagem	Genealogia	Ano de obtenção da linhagem	Período
UFRGS 930587	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 871547 / UFRGS 10	1993	1993
UFRGS 930597-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 871547 / UFRGS 881920	1993	1993
UFRGS 930661-5	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 884087 / UFRGS 871547	1993	1993
UFRGS 19	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 841110 / UFRGS 884021-1	1994	1993
UFRGS 20	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 86A1196 / UFRGS 8	1994	1993
URS 22	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 841110 / UFRGS 884021-1	1994	1993
UFRGS 940814-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 871547 / UFRGS 8	1994	1993
UFRGS 941698-6	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 881920 / UFRGS 17	1994	1993
UFRGS 941700-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 10 / UFRGS 8	1994	1993
UFRGS 942097-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 881920 / UFRGS 871547	1994	1993
URS 21	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 10 / CTC 84B993	1995	1996
UFRGS 953146	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 86A1194-2 / UFRGS 8	1995	1996
UFRGS 953195	Aveia	UFRGS	Linhagem	CTC 84B 993/3/79 Brd./Kenia SR/2/ TAMO 386	1995	1996
UFRGS 970216-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 881971 // PC68 / 5* STARTER F4	1997	1996
UFRGS 970654-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 10 / UFRGS 8	1997	1996
UFRGS 987015-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UPF 17 Resel. // Guaiba Sel./CTC 84B993	1998	1996
URS Guapa	Aveia	UFRGS	Cultivar	UPF 17 Resel. // Guaiba Sel./CTC 84B993	1999	1999
UFRGS 995088-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 881971 // PC68 / 5* STARTER F4	1999	1999
UFRGS 996007-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UPF16 / 946H12 (TX 83AB2923 / 92SAT24-4)	1999	1999
UFRGS 006110-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	Amagalon / 4*Ogle // UFRGS8	2000	1999
UFRGS 01B6200-5	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 881971 // PC68 / 5* STARTER F4	2001	2002
UFRGS 017061-5	Aveia	UFRGS	Linhagem	PC68 / 5*Starter (F ₄) // UFRGS 8	2001	2002
UFRGS 017116-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	PC68 / 5*Starter (F ₄)// UFRGS 10	2001	2002
UFRGS 01B7121-2-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	PC68 / 5*Starter (F ₄)// UFRGS 10	2001	2002
UFRGS 01B7150-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 881971//PC68/5* Starter (F ₄)	2001	2002

continuação TABELA 1. Genealogia, ano de obtenção da linhagem e agrupamento por triênio (período de três anos) dos genótipos avaliados no atual experimento.

Genótipo	Espécie	Empresa	Cultivar/ Linhagem	Genealogia	Ano de obtenção da linhagem	Período
UFRGS 017150-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 881971 // PC68 / 5*Starter (F ₄)	2001	2002
UFRGS 01B10026-1-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 7 / CTC 84B993	2001	2002
UFRGS 026017-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 17 / UFRGS 910120	2002	2002
UFRGS 02B6173-4-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	AMAGALON / 4*OGLE 1543 // UFRGS 881971	2002	2002
UFRGS 036107-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 952681 / UFRGS 17	2003	2002
UFRGS 036111-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 952681 / UFRGS 17	2003	2002
UFRGS 036119-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 952681 / UFRGS 911715	2003	2002
UFRGS 037025-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 950120 / UFRGS 950155	2003	2002
UFRGS 037034-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UPF 16 / UFRGS 950155	2003	2002
UFRGS 038028-6	Aveia	UFRGS	Linhagem	UPF 85380-A -Sel 2 / TROY	2003	2002
URS Taura	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 970216-2 (F _{3:4})/ UFRGS 970461 (F _{7:8})	2004	2005
URS Tarimba	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 987016-1 / UFRGS 19	2004	2005
UFRGS 04B6050-4-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 970216-2 / UFRGS 970461	2004	2005
UFRGS 046101-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 987016-1 / UFRGS 940263-3	2004	2005
UFRGS 047004-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 920931 / OA 966-1	2004	2005
UFRGS 04B7063-2-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 91905-17 / UFRGS 8	2004	2005
UFRGS 04B8017-1-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	CTC-89B210-Sel 3 / Gem	2004	2005
UFRGS 049002-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 11-Sel 1 / Belle	2004	2005
URS Guria	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 987015-2 / UFRGS 960195-2	2005	2005
URS Charrua	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 984126-1 / UFRGS 984109-7	2005	2005
URS Torena	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 984111-4 / UFRGS 988109-1	2005	2005
URS Corona	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 987016-1 / UFRGS 970497-1	2005	2005
UFRGS 055114-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 995088-3 / UFRGS 006049	2005	2005
UFRGS 057006-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 984111-4 / UFRGS 988109-1	2005	2005
URS Penca	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 995078-2 / UFRGS 006054-4	2006	2005

continuação TABELA 1. Genealogia, ano de obtenção da linhagem e agrupamento por triênio (período de três anos) dos genótipos avaliados no atual experimento.

Genótipo	Espécie	Empresa	Cultivar/ Linhagem	Genealogia	Ano de obtenção da linhagem	Período
URS Estampa	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 995088-3 / UFRGS 006049	2006	2005
URS Guará	Aveia	UFRGS	Cultivar	UFRGS 987016-1 / UFRGS 970497-1	2006	2005
UFRGS 076052-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 995078-2 / URS 21	2007	2008
UFRGS 077014-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 995085-4 / URS 21	2007	2008
UFRGS 077026-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 007020-2 / UFRGS 984060-1	2007	2008
UFRGS 077041-6	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 995078-2 / UFRGS 006054-4	2007	2008
UFRGS 078007-4	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 984077-2 / UFRGS 984082-2	2007	2008
UFRGS 086004-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 14 / UFRGS 984129-1	2008	2008
UFRGS 086024-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 970488-1 / UFRGS 017149-2	2008	2008
UFRGS 086092-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 006049 / URS Guapa	2008	2008
UFRGS 086136-5	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 015061-3 / UFRGS 984129-1	2008	2008
UFRGS 086183-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 017170-1 / UFRGS 995088-3	2008	2008
UFRGS 086190-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 017170-2 / UFRGS 984129-1	2008	2008
UFRGS 086208-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	OA 966-1 / UFRGS 006049	2008	2008
UFRGS 086073-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 006037-3 / UFRGS 995088-3	2008	2008
UFRGS 087276-3	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 995088-3 / UFRGS 006053-2	2008	2008
UFRGS 087389-1	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 995088-3 / UFRGS 960257-5	2008	2008
UFRGS 089008	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 984077-2 / UFRGS 984082-2	2008	2008
UFRGS 089023-2	Aveia	UFRGS	Linhagem	UFRGS 984077-2 / UFRGS 984082-2	2008	2008
Guamirim	Trigo	Embrapa	Cultivar		2005*	-
Safira	Trigo	ORSementes	Cultivar		2005*	-
Quartzo	Trigo	Embrapa	Cultivar		2008*	-
BRS Cauê	Cevada	Embrapa	Cultivar		2008*	-

*Ano de lançamento da cultivar, - Dados faltantes.

disso, os programas de melhoramento genético destas culturas (trigo e cevada) são mais antigos no Sul do Brasil do que os programas de melhoramento genético de aveia. Algumas características agronômicas como índice de colheita em trigo e cevada tiveram aumento durante os anos de melhoramento genético, ficando em torno de 50% nos dias atuais. Desta forma, a utilização de cevada e trigo auxilia na comparação desta característica com a aveia.

Análises de progresso genético, geralmente, utilizam o ano de lançamento da cultivar para realizar a estimativa deste valor. Porém, no trabalho também foram incluídas linhagens experimentais, que, não foram lançadas comercialmente. Desta forma, para poder analisar conjuntamente os dados, foi necessário utilizar o ano em que o genótipo foi considerado uniforme fenotipicamente, colhido e denominado como uma linhagem experimental, ou seja, a primeira vez em as sementes da linhagem foram colhidas e trilhadas em conjunto (*bulk*). No entanto, para as cultivares de aveia Norte-Americanas, cultivares modernas de trigo e cevada foram representadas pelo ano de lançamento comercial da cultivar, pois a literatura indica somente o ano de lançamento comercial destes genótipos e não o ano em que foram consideradas linhagens puras.

O Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS utiliza unicamente o método genealógico modificado para o desenvolvimento de suas linhagens, onde de cada planta selecionada é colhida apenas uma panícula, cujas sementes, na geração seguinte, são semeadas em duas linhas de 2 metros de comprimento no campo. Desta forma, cada linha dupla de semeadura sempre é derivada de uma única panícula e somente quando a linhagem é considerada uniforme fenotipicamente é que sementes de plantas diferentes são colhidas em conjunto. Nesse momento a linhagem recebe sua denominação definitiva que corresponde a um código, correspondente ao número da linha de semeadura no campo experimental (número da progênie). A partir de 1998 a codificação utilizada corresponde ao ano de condução da progênie (dois primeiros algarismos), a geração que a progênie se

encontrava quando foi colhida em massa (algarismo seguinte ao ano) e a família que pertence aquela progênie (três últimos algarismos), após o número da família é utilizado um último número (após o hífen), que indica o número da linha dentro da família. Essa codificação corresponde ao sistema tradicional utilizado no método genealógico, onde é possível estabelecer as relações de descendência dentro de um mesmo cruzamento, relativo a entender se as plantas descendem de uma mesma planta, em qualquer geração segregante. Portanto, no sistema utilizado pela UFRGS não é possível estabelecer as relações de parentesco sem consultar os cadernos de campo.

3.2 Instalação e condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos na Estação Experimental Agronômica (EEA), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), no município de Eldorado do Sul, RS, nos anos de 2010 e 2011. As coordenadas da EEA são 30°05'27" de longitude Sul e 51°40'18" de latitude Oeste, e possui altitude média de 46 metros acima do nível do mar. Os meses mais chuvosos são junho, julho e agosto, com uma precipitação média anual de 1400 mm. Na classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Típico (Bergamaschi, 1990).

Em 2010, o experimento foi conduzido segundo o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas principais foram constituídas pelo tratamento fúngico, com e sem fungicida, enquanto que as subparcelas foram compostas pelos 98 genótipos descritos na Tabela 1, totalizando 588 parcelas (dois tratamentos fúngicos x três repetições x 98 genótipos). Neste ano, a semeadura foi realizada no dia 03/07/2010.

No ano de 2011, o experimento foi conduzido sob tratamento fúngico apenas, em blocos ao acaso e com três repetições. Foram novamente avaliados os 98 genótipos

descritos na Tabela 1, totalizando 294 parcelas (três repetições x 98 genótipos). Neste ano, a semeadura foi realizada mais cedo em comparação ao ano anterior, em 13/06/2011.

Nos dois anos, cada parcela foi constituída de 5 linhas de 3 metros de comprimento, com 20 centímetros de espaçamento entre linhas. A densidade de semeadura foi de 350 sementes aptas a germinar por metro quadrado. A semeadura foi realizada em sistema de plantio direto, tendo a soja como cultura anterior. A adubação foi de 300 kg.ha⁻¹ da fórmula 5-30-15 de N-P-K e duas adubações de 40 kg de N, em cobertura, quando as plantas possuíam cerca de 4 e 6 folhas expandidas.

3.3 Caracteres avaliados

3.3.1 Caracteres avaliados com fungicida

Nas subparcelas onde foi realizada a aplicação do fungicida foram avaliadas características relativas ao desempenho agrônômico e ao potencial produtivo da cultura.

3.3.1.1 Dias de emergência ao florescimento (DEF)

Para avaliação desta variável foi anotada a data de florescimento de cada parcela e diminuído a data de emergência, que em 2010 foi no dia 07 de julho e em 2011 foi no dia 21 de junho. Foi considerada como data do florescimento o momento em que pelo menos 50% das panículas da unidade experimental (parcela) apresentavam cerca de 50% da panícula exposta, ou seja, fora da folha bandeira.

3.3.1.2 Estatura de plantas

Esta variável foi avaliada no estágio final de enchimento de grãos, quando as plantas haviam atingido máxima estatura, compreendida pela distância do solo até o topo das panículas mais altas das plantas. A estatura anotada procurou representar a estatura das plantas na média da parcela.

3.3.1.3 Acamamento

A avaliação de acamamento da parcela foi realizada no final do ciclo da cultura, como o percentual de plantas acamadas na parcela, levando também em consideração o grau de acamamento destas plantas. Para exemplificar, em uma parcela onde 30% das plantas acamadas estavam completamente caídas ao solo o percentual de acamamento corresponderia a 30%, enquanto que em uma parcela onde 30% das plantas estavam acamadas, mas não totalmente caídas ao solo, ou seja, apenas inclinadas em direção ao solo, o percentual de acamamento corresponderia a 15%.

3.3.1.4 Biomassa aparente

A biomassa aparente foi determinada em uma amostra de um metro de comprimento, em uma linha de cultivo, dentro de cada unidade experimental, representando uma área de 0,20 metros quadrados, por ocasião do final do ciclo da cultura, antes da colheita mecanizada dos grãos. A amostra foi coletada aleatoriamente na parcela, em uma das três linhas centrais da parcela. As plantas do metro linear escolhido foram arrancadas e as raízes descartadas com auxílio de um facão. O material biológico da parte aérea de cada amostra foi armazenado em sacos de rafia e colocado em uma estufa com ar forçado para secagem. Quando atingido peso constante, foi realizada a pesagem de cada amostra individualmente. O peso da amostra foi transformado para gramas por metro quadrado.

3.3.1.5 Número de panículas por metro quadrado

Na amostra de 1 metro linear coletada para determinação da biomassa aparente, foi contado o número de panículas. Os dados foram transformados para número de panículas por metro quadrado.

3.3.1.6 Número de sementes por panícula

Após a contagem das panículas, foram escolhidas oito panículas como amostra para a contagem dos grãos. Essas oito panículas foram trilhadas individualmente, de forma manual, e então contado o número de sementes de cada panícula. Após a contagem, foi calculado o número médio de sementes por panícula.

3.3.1.7 Peso de grãos da panícula

Após a limpeza e contagem de sementes por panícula, foi realizada a pesagem dos grãos de panículas individuais, determinando-se o peso médio de grãos da panícula.

3.3.1.8 Índice de colheita

Após realizar a pesagem da biomassa aparente, e da contagem do número de panículas, a amostra coletada de um metro linear foi trilhada na colheitadeira de parcelas experimentais (marca Wintersteiger) e os grãos provenientes desta amostragem foram pesados. O peso de grãos da amostra de um metro linear foi o resultado da soma da massa de grãos trilhados na colheitadeira de parcelas experimentais e das oito panículas trilhadas manualmente.

O índice de colheita foi determinado pela divisão da biomassa aparente de um metro linear de parcela pela massa de seus grãos, multiplicado por 100. O índice de colheita é, portanto, a proporção da biomassa vegetal seca aparente (acima do solo) que é convertida em grãos pelas plantas.

3.3.1.9 Rendimento de grãos

O restante de cada unidade experimental, correspondente a 2,80 m², foi colhido com auxílio de colheitadeira de parcelas experimentais e os grãos correspondentes foram então pesados. Os dados foram transformados para kg.ha⁻¹.

3.3.1.10 Peso do hectolitro

Os grãos colhidos, de cada unidade experimental, foram desaristados e limpos manualmente, com auxílio de peneira e ar forçado. O peso do hectolitro foi mensurado em equipamento apropriado, o qual possui um cilindro de 0,25 litros de volume, onde os grãos são alojados. A massa dos grãos do volume de 0,25 litros foi então determinada e transformada para o peso do hectolitro, através de tabela de conversão para a cultura da aveia, fornecida pelo fabricante do equipamento.

3.3.1.11 Massa de mil grãos

Após a limpeza e pesagem dos grãos de cada unidade experimental, foi realizada a contagem de três amostras de 100 sementes por unidade experimental. A massa de grãos de cada amostra foi medida e então calculada a média das três amostras. Essa média foi transformada para massa de mil grãos.

3.3.2 Caracteres avaliados sem fungicida

Nas subparcelas em que não foi realizada a aplicação de fungicida foram avaliadas características agrônômicas com o intuito de compreender a importância da resistência às moléstias no progresso genético do programa de melhoramento da UFRGS. Estas variáveis foram somente avaliadas no ano de 2010.

3.3.2.1 Área sob a curva de progresso da ferrugem da folha (ASCPFF)

Foram realizadas três avaliações de severidade da ferrugem da folha nos dias 10/09, 24/09 e 16/10 de 2010. A severidade foi determinada como a área foliar com pústulas de ferrugem da folha, na média de cada unidade experimental. A partir destes dados foi realizado o cálculo da ASCPFF, que corresponde a soma das áreas trapezoidais do progresso da moléstia ao longo das avaliações de severidade, através da equação apresentada Wilcoxson *et al.* (1975):

$$ASCPD = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{Y_{i+1} + Y_i}{2} \right) \times (T_{i+1} - T_i) \right]$$

Em que:

Y_i = percentagem de área foliar afetada pela ferrugem da folha na i-ésima observação

T_i = tempo em dias no momento da i-ésima observação

n = número total de observações

3.3.2.2 Severidade máxima da ferrugem da folha

A severidade máxima corresponde ao maior valor de severidade observado em cada parcela, que no caso deste experimento correspondeu a última avaliação da moléstia, realizada no dia 16/10/10.

3.3.2.3 Severidade de manchas foliares

A severidade de manchas foliares foi avaliada em 08/10, correspondendo ao percentual da área foliar, na média de cada subparcela, com sintomas do complexo de moléstias conhecido como manchas foliares, que, em aveia e em nossas condições, tem o fungo *Pyrenophora chaetomioides* como principal agente causal.

3.3.2.4 Rendimento de grãos, peso do hectolitro e massa de mil grãos

Estas variáveis foram determinadas conforme descrito para as avaliações com aplicação de fungicida. Estas características foram as únicas avaliadas com e sem aplicação de fungicida.

3.4 Análise de interação genótipo x ano

Para os caracteres avaliados nos dois anos, com aplicação de fungicida, foi realizada análise de variância (ANOVA) conjunta, conforme apresentada na Tabela 2. A ANOVA foi realizada com auxílio do pacote estatístico SAS (SAS Institute, Inc., 2000), através do procedimento PROC GLM. A interação significativa da causa de variação genótipo x ano indica que a expressão da característica em estudo sofreu influência do ambiente de cultivo. Neste caso, quando os dados de cada ano de experimentação são analisados separadamente, é possível que sejam determinadas estimativas distintas do progresso genético para uma determinada característica, em cada ano.

TABELA 2. Modelo da análise de variância (ANOVA) para identificação da interação genótipo x ano.

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F calc	Probabilidade
Ano	(Ano-1)	SQ_{Ano}	QM_{Ano}	$QM_{\text{Ano}}/QM_{\text{Erro}}$	Prob F calc do Ano
Bloco (Ano)	(Bloco-1) x Ano	$SQ_{\text{Bloco} \times \text{Ano}}$	$QM_{\text{Bloco} \times \text{Ano}}$	$QM_{\text{Bloco}(\text{Ano})}/QM_{\text{Erro}}$	Prob F calc do Bloco (Ano)
Genótipo	(Gen-1)	SQ_{Gen}	QM_{Gen}	$QM_{\text{Gen}}/QM_{\text{Erro}}$	Prob F calc do Genótipo
Genótipo x Ano	(Gen-1) x (Ano-1)	$SQ_{\text{Gen} \times \text{Ano}}$	$QM_{\text{Gen} \times \text{Ano}}$	$QM_{\text{Gen} \times \text{Ano}}/QM_{\text{Erro}}$	Prob F calc do Genótipo*Ano
Erro	(Ano)*(Bloco-1) x (Gen-1)	SQ_{Erro}	QM_{Erro}		
Total	(Total-1)	SQ_{Total}			

3.5 Análise do progresso genético

Devido à quase todas as variáveis apresentarem interação genótipo x ano significativa, foram realizadas determinações de progresso genético para cada um dos anos de avaliação dos genótipos, 2010 e 2011. As estimativas de progresso genético foram realizadas através de regressão linear, onde cada característica avaliada foi considerada como variável resposta e o período de desenvolvimento da linhagem foi considerada como variável explicativa. Esse período corresponde a média móvel do ano de desenvolvimento da linhagem, representando um triênio, conforme explicado abaixo.

Ao observar o número de genótipos em cada ano de obtenção das linhagens (Tabela 1) percebe-se que existem alguns casos em que só há um genótipo representando aquele ano de obtenção, como é o caso do ano de 1979 com o genótipo UFRGS 4 e do ano 1981 com o genótipo UFRGS 7. Para evitar que alguns anos de obtenção de linhagens tenham maior influência na estimativa da regressão, por possuírem maior número de genótipos sendo testados, em comparação com os anos com um ou poucos genótipos representados, optou-se por considerar o período de obtenção da linhagem como a variável independente da regressão linear. Esses períodos de desenvolvimento da linhagem foram formados por períodos de três anos consecutivos, ou seja, um triênio apresentados na Tabela 3. Desta forma, foram formados 11 períodos de três anos de desenvolvimento das linhagens, permitindo que em cada período houvesse pelo menos três genótipos representando aquele período de melhoramento genético, com exceção do período de 1984, para a qual não houve nenhum genótipo representado.

TABELA 3. Agrupamento em diferentes períodos para análise de regressão e estimativa do progresso genético.

Ano de obtenção da linhagem	Ano médio representado pelo período	Número de genótipos representados
1977, 1978, 1979	1978	3
1980, 1981, 1982	1981	6
1983, 1984, 1985	1984	0
1986, 1987, 1988	1987	7
1989, 1990, 1991	1990	6
1992, 1993, 1994	1993	11
1995, 1996, 1997	1996	6
1998, 1999, 2000	1999	4
2001, 2002, 2003	2002	15
2004, 2005, 2006	2005	17
2007, 2008, 2009	2008	17

Observa-se que os períodos de 1978 a 1999 apresentam um número menor de genótipos representando estes períodos se comparado com os períodos de 2002 a 2008

(Tabela 3). Pelo menor número de genótipos nos períodos iniciais pode ocorrer maior variação nos valores estimada para estes períodos, se comparados aos últimos. Isto se deve a dificuldade de manter no programa de melhoramento os genótipos obsoletos. Além disso, nos últimos períodos estes genótipos ainda estão em ensaios de rendimento de grãos, enquanto que os demais já passaram por estes testes.

Na análise de regressão linear, o ano de 1978 foi considerado como ano zero e o ano de 2008 como o ano trinta. Dessa forma, o intercepto da regressão representa o valor estimado no início do programa de melhoramento para a característica em questão. Para todas as análises de regressão linear apenas genótipos de aveia desenvolvidos pelo programa de melhoramento da UFRGS foram incluídos. As cultivares de aveia Suregrain e Coronado, e as cultivares modernas de trigo e cevada, serviram apenas para comparações de desempenho dos genótipos UFRGS.

Com a finalidade de determinar o progresso genético ao longo de 30 anos de melhoramento genético, e os ganhos genéticos obtidos junto às linhagens de desempenho superior e inferior de cada caráter, foram realizadas três diferentes análises:

- 1) regressão linear envolvendo todos os genótipos do programa de melhoramento da UFRGS avaliados neste trabalho, permitindo estimar o desempenho médio do germoplasma da UFRGS durante os 30 anos de melhoramento;
- 2) regressão linear utilizando somente os genótipos que mostraram os valores máximos de cada caráter, dentro de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens;
- 3) regressão linear englobando somente os genótipos que expressaram os valores mínimos de cada característica avaliada, dentro de cada período de desenvolvimento de linhagens.

Nas análises de regressão linear, englobando todos os genótipos avaliados, foram utilizadas as três repetições de cada genótipo, e não as médias do genótipo. A escolha dos

genótipos máximos e mínimos foi realizada com base na média das três repetições. Após realizar a escolha dos genótipos considerados máximos e mínimos dentro de cada período, foi realizada a análise de regressão linear utilizando as três repetições destes genótipos.

As regressões lineares foram estimadas pelo aplicativo computacional SegReg (Oosterbaan, 2010), que é um programa computacional desenvolvido para realizar análise de regressão linear segmentada. A segmentação é realizada pela estimativa de um ponto de quebra em uma regressão linear, capaz de maximizar o coeficiente de determinação da regressão (R^2) e aumentar a significância do modelo de regressão linear, comparativamente ao modelo de regressão linear não segmentada. A significância de cada modelo foi testada pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade de erro. Este software produz sete modelos de regressão linear, incluindo aqueles com e sem segmentação da reta de regressão, conforme descrito a seguir e ilustrado na Figura 1:

- 1) Uma linha horizontal, sem ponto de quebra – quando o coeficiente de regressão (b) da regressão linear não é significativo a 5% de probabilidade;
- 2) Uma linha inclinada, sem ponto de quebra – quando o coeficiente de determinação (R^2) da regressão linear simples é maior que os coeficientes de determinação dos modelos 3, 4, 5, 6 e 7;
- 3) Duas linhas conectadas com diferentes inclinações, com ponto de quebra – quando as duas equações obtêm coeficientes de regressão (b) significativos e o coeficiente de determinação é superior aos demais modelos;
- 4) Uma linha horizontal seguida de uma linha inclinada, com ponto de quebra – quando a linha antes do ponto de quebra tem coeficiente de regressão (b) não significativo e o coeficiente de regressão após o ponto de quebra é significativo, além do coeficiente de determinação ser superior aos outros modelos;
- 5) Uma linha inclinada seguida de uma linha horizontal – quando o coeficiente de regressão antes do ponto de quebra é significativo e após o ponto de quebra não é

significativo, e apresentar coeficiente de determinação superior aos demais modelos;

- 6) Duas secções horizontais, com níveis diferentes e ponto de quebra – quando os coeficientes de regressão antes e depois do ponto de quebra não são significativos. E as médias das secções horizontais antes e depois do ponto de quebra são diferentes estatisticamente ao nível de significância de 5%. Além do coeficiente de determinação do modelo ser superior a qualquer outra estimativa;

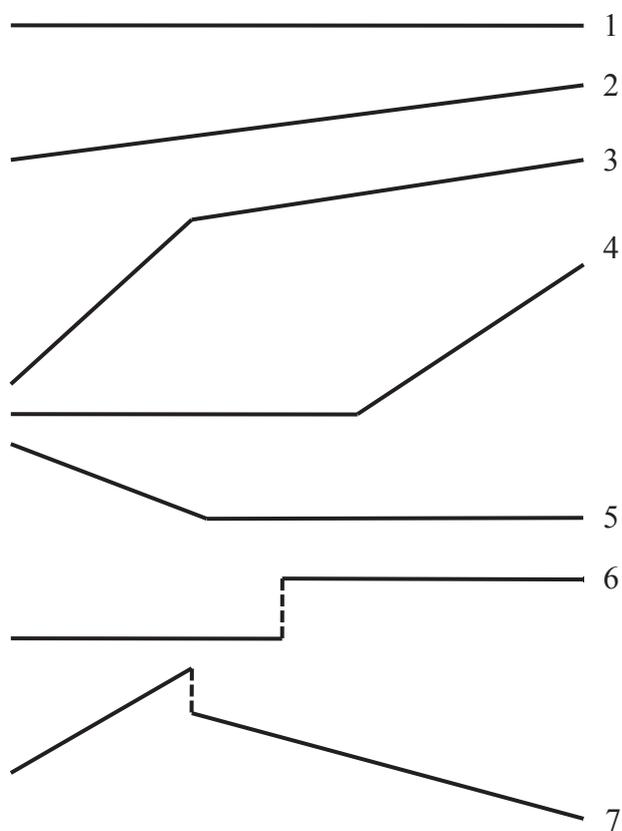


FIGURA 1. Exemplo de regressões analisadas pelo Software SegReg (Adaptado de Oosterbaan, 2010).

- 7) Duas secções desconectadas com linhas inclinadas – quando os dois coeficientes de regressão, tanto à direita quanto à esquerda do ponto de quebra, são significativos e há diferença significativa no valor da variável resposta no ponto de quebra,

estimadas para cada uma das regressões lineares (antes e depois do ponto de quebra). Como nos demais casos, o coeficiente de determinação do modelo deve ser o maior estimado, comparativamente aos demais modelos.

3.6 Procedimentos realizados para análise da regressão linear múltipla

Procurando explicar como o rendimento de grãos foi influenciado pelas demais características agronômicas durante os 30 anos de melhoramento genético, foram realizadas análises de regressão linear entre cada característica e o rendimento de grãos. Estas análises foram realizadas separadamente entre os experimentos com aplicação de fungicida, sem aplicação e os anos de avaliação. Após esta análise individual de cada característica influenciado o rendimento de grãos foi realizada uma análise de regressão linear múltipla com todas as variáveis que apresentaram associação significativa com o rendimento de grãos a 5% de probabilidade. Sendo que no rendimento de grãos sem fungicida, um número menor de variáveis foi avaliado, em comparação ao rendimento com fungicida. Somente os genótipos UFRGS foram incluídos nas análises de regressão múltipla, sendo utilizadas as médias de cada genótipo.

As análises de regressão linear múltipla foram realizadas por meio do aplicativo computacional Arc (2010), desenvolvido por Cook & Weisberg (1999), através do comando “*Fit Linear LS*”. Esta análise foi realizada considerando o rendimento de grãos como variável resposta e as demais variáveis como variáveis explicativas. No caso do rendimento de grãos com fungicida as variáveis explicativas foram: acamamento, estatura, dias de emergência ao florescimento, biomassa aparente, número de panículas por metro quadrado, número de sementes por panícula, peso de grãos da panícula, peso do hectolitro, peso de mil grãos e índice de colheita. Enquanto que para rendimento sem fungicida foram testadas as variáveis: severidade máxima da ferrugem da folha, área sob a curva de

progresso da ferrugem da folha, severidade de manchas foliares, peso do hectolitro e massa de mil grãos.

Quando uma variável explicativa mostrou associação quadrática com o rendimento de grãos, uma nova variável, correspondente ao quadrado da variável original, foi incluída na análise, a fim de linearizar a curva de resposta e maximizar o coeficiente de determinação da regressão.

Foi considerado como melhor modelo de regressão linear múltipla aquele que estimou o maior coeficiente de determinação (R^2), com modelo de regressão significativo pelo teste-F a 5% de probabilidade, e com todos os coeficientes de regressão (b) significativos a 5% de probabilidade, pelo teste T de Student.

Devido as diferentes unidades de medida de cada uma das variáveis explicativas no modelo de regressão linear múltipla do rendimento de grãos, foi necessário realizar uma padronização destas variáveis. Desta forma, foi possível compreender qual a característica agrônômica que mais estava influenciando o rendimento de grãos.

3.7 Análise individual da associação entre características

Para um melhor entendimento do que ocorreu no germoplasma da UFRGS durante os 30 anos de melhoramento genético, análises de associação entre variáveis, com o auxílio do aplicativo computacional Arc (2010) (Cook & Weisberg, 1999) e SegReg (Oosterbaan, 2010) foram realizadas.

As associações entre todas as variáveis explicativas, duas a duas, foram testadas através de regressão linear, quadrática, além de regressão linear bi-segmentada, procurando-se estimar aquela que apresentava o maior coeficiente de determinação e a que apresentava modelo significativo, segundo o teste F da análise de variância da regressão.

4 RESULTADOS

Os 92 genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS foram escolhidos conforme sua importância no programa e por terem sido utilizados como genitores de cruzamentos dentro do programa.

Dentre os genótipos avaliados o mais antigo foi obtido no ano de 1978, enquanto que os mais recentes foram desenvolvidos em 2008. Portanto a análise do programa foi baseado em 30 anos de melhoramento, para um melhor entendimento foram utilizados na análise os anos de melhoramento, ou seja, o ano de 1978 foi utilizado como ano zero, já o ano de 2008, foi utilizado como ano 30. Porém, para a representação gráfica foram utilizados os anos de desenvolvimento das linhagens.

Primeiramente, serão apresentados os resultados da análise do progresso genético das variáveis avaliadas no tratamento com fungicida e em seguida as variáveis avaliadas no tratamento sem fungicida. E em uma segunda parte dos resultados serão apresentados associações entre diferentes características, para um entendimento de como uma variável pode influenciar outra, observando também seu progresso genético durante os anos de melhoramento.

4.1 Progresso genético com fungicida

Através da análise de variância foi possível observar que todas as variáveis apresentaram interação significativa a 5% de probabilidade entre anos (2010 e 2011) e genótipos de aveia, com exceção do peso do hectolitro (Tabela 4). Devido à interação

TABELA 4. Análise de variância para identificar interação genótipo x ano. Eldorado do Sul, RS.

VARIÁVEL*	ANOVA						DETALHES DO EXPERIMENTO	
	Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa
Rendimento de grãos	ANO	1	7603869,2	7603869,2	23,61	<0,0001	Coefficiente de Variação (%)	11,76
	BLOCO x (ANO)	4	3143363,5	785840,9	2,44	0,0467	Média 2010	4944,13
	GEN	91	235850581,9	2591764,6	8,05	<0,0001	Média 2011	4706,55
	ANO x GEN	91	90082395,7	989916,4	3,07	<0,0001	Média geral	48273,24
	ERRO	351	113045071,2	322065,7				
	TOTAL	538	449725281,5					
DEF	ANOVA						DETALHES DO EXPERIMENTO	
	Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa
	ANO	1	3670,43	3670,43	1538,92	<0,0001	Coefficiente de Variação (%)	1,72
	BLOCO x (ANO)	4	15,74	3,93	1,65	0,1611	Média 2010	87,03
	GEN	91	12047,28	132,39	55,51	<0,0001	Média 2011	92,21
	ANO*GEN	91	692,43	7,61	3,19	<0,0001	Média geral	89,59
ERRO	358	853,85	2,38					
TOTAL	545	17279,74						
Estatura de plantas	ANOVA						DETALHES DO EXPERIMENTO	
	Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa
	ANO	1	16,19	16,19	0,63	0,4297	Coefficiente de Variação (%)	4,74
	BLOCO x (ANO)	4	1524,17	381,04	14,71	<0,0001	Média 2010	107,5
	GEN	91	45951,35	504,96	19,49	<0,0001	Média 2011	107,15
	ANO x GEN	91	5022	55,187	2,13	<0,0001	Média geral	107,33
ERRO	358	9272,95	25,9					
TOTAL	545	61786,66						

continuação TABELA 4. Análise de variância para identificar interação genótipo x ano. Eldorado do Sul, RS.

VARIÁVEL*	ANOVA					DETALHES DO EXPERIMENTO			
	Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa	
Biomassa aparente	ANO	1	30867,21	30867,21	1,24	0,2671	Coefficiente de Variação (%)	14,67	
	BLOCO x (ANO)	4	1154972,71	288743,18	11,56	<0,0001	Média 2010	1084,35	
	GEN	91	5119789,48	56261,42	2,25	<0,0001	Média 2011	1068,96	
	ANO x GEN	91	3496195,85	38419,73	1,54	0,0034	Média geral	1077,01	
	ERRO	334	8341430,71	24974,34					
	TOTAL	521	18143255,97						
Acamamento	ANOVA					DETALHES DO EXPERIMENTO			
		Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa
		ANO	1	6234,86	6234,86	17,94	<0,0001	Coefficiente de Variação (%)	69,93
		BLOCO x (ANO)	4	9336,38	2334,09	6,72	<0,0001	Média 2010	23,31
		GEN	91	174895,67	1921,93	5,53	<0,0001	Média 2011	30,074
		ANO x GEN	91	124564,7	1368,84	3,94	<0,0001	Média geral	26,66
	ERRO	358	124401,84	347,49					
	TOTAL	545	439433,45						
NPanM2	ANOVA					DETALHES DO EXPERIMENTO			
		Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa
		ANO	1	76431,66	76431,66	22,38	<0,0001	Coefficiente de Variação (%)	17,46
		BLOCO x (ANO)	4	73029,41	18257,35	5,35	0,0003	Média 2010	346,23
		GEN	91	1233262,8	13552,34	3,97	<0,0001	Média 2011	322,38
		ANO x GEN	91	462806,31	5085,78	1,49	0,0060	Média geral	334,62
	ERRO	350	1195116,7	3414,62					
	TOTAL	537	3040646,89						

continuação TABELA 4. Análise de variância para identificar interação genótipo x ano. Eldorado do Sul, RS.

VARIÁVEL*	ANOVA					DETALHES DO EXPERIMENTO		
Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa	
NGPPan	ANO	1	7224,52	7224,52	71,00	<0,0001	Coefficiente de Variação (%)	15,084
	BLOCO x (ANO)	4	1842,45	460,61	4,53	0,0014	Média 2010	63,28
	GEN	91	76992,77	846,07	8,31	<0,0001	Média 2011	70,66
	ANO x GEN	91	15498,07	170,31	1,67	0,0005	Média geral	66,9
	ERRO	343	34901,85	101,75				
TOTAL	530	136459,67						
	ANOVA					DETALHES DO EXPERIMENTO		
Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa	
PGPPan	ANO	1	3,34	3,34	26,72	<0,0001	Coefficiente de Variação (%)	16,75
	BLOCO x (ANO)	4	2,29	0,57	4,58	0,0013	Média 2010	2,032
	GEN	91	63,84	0,70	5,62	<0,0001	Média 2011	2,19
	ANO x GEN	91	19,01	0,21	1,67	0,0006	Média geral	2,11
	ERRO	341	42,58	0,12				
TOTAL	528	131,05						
	ANOVA					DETALHES DO EXPERIMENTO		
Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob.	Descrição	Estimativa	
MMG	ANO	1	0,16	0,16	0,05	0,8210	Coefficiente de Variação (%)	5,06
	BLOCO x (ANO)	1	11,25	2,81	0,90	0,4641	Média 2010	34,92
	GEN	1	8201,85	90,13	28,84	<0,0001	Média 2011	34,95
	ANO x GEN	1	872,98	9,59	3,07	<0,0001	Média geral	34,94
	ERRO	348	1087,60	3,12				
TOTAL	535	10173,84						

significativa da maioria das variáveis, a análise do progresso genético foi realizada separadamente para os anos 2010 e 2011.

O progresso genético foi estimado através da análise de regressão entre a característica observada, a variável resposta, e o período de obtenção da linhagem, a variável explicativa. Foram realizadas três análises de regressão separadamente, a primeira utilizando todos os genótipos pertencentes ao Programa de Melhoramento da UFRGS, fornecendo informações de como o germoplasma da instituição evoluiu durante o período. As outras duas formas de análise foram realizadas utilizando somente os valores superiores e inferiores de cada ano de desenvolvimento das linhagens, para se ter a ideia de como os extremos evoluíram durante este período, além de observar o potencial atingido pelo programa. A seguir é apresentado a análise de regressão para cada característica avaliada com o tratamento de fungicida, nos anos de 2010 e 2011.

4.1.1 Progresso genético do rendimento de grãos

No ano de 2010, o rendimento de grãos teve comportamento linear em relação ao ano de obtenção das linhagens de aveia avaliadas (Figura 2-A). O progresso genético estimado para o caráter rendimento de grãos no germoplasma da UFRGS foi de 38,7 kg.ha⁻¹ ao ano. Através dos dados estimados pela regressão, é possível verificar que o rendimento de grãos inicial do programa, em 1978, era de 4170 kg.ha⁻¹, e atingiu valores próximos a 5331 kg.ha⁻¹ no ano de 2008 (Figura 2-A).

Da mesma forma, ocorreu aumento linear do rendimento de grãos entre as linhagens com valores superiores de rendimento de grãos, dentro de cada período de três anos, apresentando um acréscimo de 53,5 kg.ha⁻¹ ao ano. Nesta análise, os dois primeiros períodos da regressão (1978 e 1981) foram representados pelas cultivares UFRGS 4 e UFRGS 9, que apresentaram valores baixos se comparados aos demais anos com uma média de 4864 e 4453 kg.ha⁻¹, respectivamente (Figura 2-A). A partir do ano de 1985

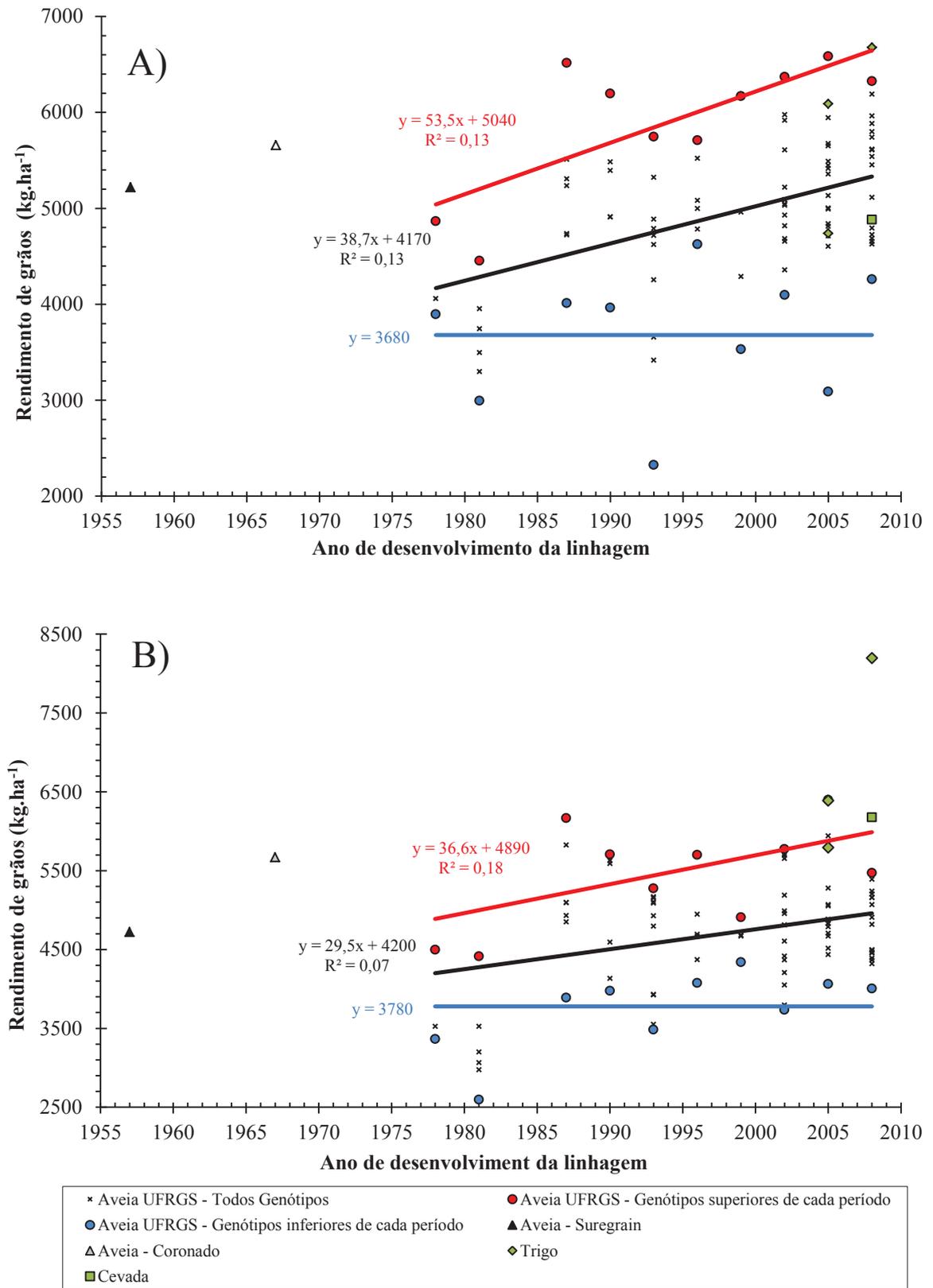


FIGURA 2. Progresso genético do rendimento de grãos com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

ocorreu um aumento abrupto no rendimento de grãos para os valores superiores, voltando a cair até o ano de 1996, após esta data os valores superiores voltaram a ter um progresso genético no rendimento de grãos chegando a estimativa de 6200 kg.ha⁻¹ no ano de 2008.

Diferentemente das regressões anteriores, os genótipos com rendimentos de grãos inferiores, dentro de cada período de três anos, tiveram uma variação alta entre anos, o que não permitiu obter uma regressão significativa para sua explicação. Assim, o rendimento de grãos dos menores valores foi representada pela média de 3680 kg.ha⁻¹ (Figura 2-A).

As cultivares Suregrain e Coronado, desenvolvidas nos Estados Unidos da América, foram acrescentados no gráfico, porém não foram incluídas nas análises de regressão. Foram representadas nos gráficos para comparação do progresso genético obtido no germoplasma de aveia da UFRGS. A cultivar Suregrain apresentou um rendimento de grãos médio de 5220,95 kg.ha⁻¹, enquanto, Coronado obteve 5657,74 kg.ha⁻¹, em 2010 (Figura 2-A). Entre os trigos testados, aquele que apresentou o maior rendimento foi a cultivar Quartzo lançado no ano de 2008, com uma média de 6676,55 kg.ha⁻¹, já a cevada BRS Cauê, única avaliada, obteve 4880,83 kg.ha⁻¹ (Figura 2-A).

Apesar da interação Genótipo x Ano, no ano de 2011 as regressões foram semelhantes à apresentada no ano de 2010. Quando analisadas todas as linhagens o rendimento teve um progresso de 29,5 kg.ha⁻¹ ao ano (Figura 2-B), segundo a regressão obtida os valores estimados no início do programa tinham média de rendimento de grãos de 4200 kg.ha⁻¹ chegando a 4959 kg.ha⁻¹ no ano de 2008. Para o grupo de genótipos que apresentaram rendimento de grãos superior, dentro de cada período de três anos, foi observado um acréscimo de 36,6 kg.ha⁻¹ ao ano (Figura 2-B). O rendimento de grãos para os genótipos superiores, dentro de cada período de três anos, obteve um valor estimado de 4890 kg.ha⁻¹, no ano de 1978, e atingiu rendimento de grãos de 5988 kg.ha⁻¹ no ano de 2008.

Já os menores valores não tiveram aumento significativo, representados por uma linha constante, com média de 3780 kg.ha⁻¹ (Figura 2-B). No ano de 2011, as cultivares Coronado e Suregrain apresentaram rendimento de 5671 e 4721 kg.ha⁻¹, respectivamente. E novamente, a cultivar de trigo com maior rendimento de grãos foi Quartzo, com média de 8196 kg.ha⁻¹ (Figura 2-B).

4.1.2 Progresso genético do número de dias da emergência ao florescimento

No primeiro ano de avaliação (2010) ocorreu uma redução do número de dias da emergência ao florescimento (DEF) nas três regressões observadas (Figura 3-A). O coeficiente de regressão de todos os genótipos de aveia indica que o progresso genético do germoplasma da UFRGS foi de -0,292 dia/ano. Através da observação do intercepto verifica-se que no ano de 1978 o germoplasma possuía DEF de 93 dias reduzindo para 84 dias no ano de 2008, na média de todos os genótipos avaliados.

Para os genótipos com DEF superior, dentro de cada período de três anos, ocorreu uma segmentação da reta onde o ponto de quebra foi observado no ano de 1993. Desta forma, ocorreu um aumento até este ponto na ordem de 0,349 dias ao ano e posteriormente a esta data uma redução de 0,76 dias/ano (Figura 3-A). O valor estimado no início do programa de melhoramento, para os DEF superiores, tinham DEF de 94 dias, aumentando para 99 dias em 1993 e reduzindo para 88 dias em 2008 (Figura 3-A).

No experimento conduzido em 2010, foi observado que os genótipos com DEF inferior, dentro de cada período de três anos, tiveram um ponto de quebra no ano de 1995, na qual ocorreu uma redução de 0,824 dias ao ano, entre os períodos de 1978 e 1995 (Figura 3-A). De acordo com a regressão linear bi-segmentada para os genótipos de menor DEF dentro de cada período de desenvolvimento das linhagens de aveia, o valor de DEF foi estimado em 93 dias para o período de 1978, reduzindo para 79 dias no período de 1995, quando se mostrou estável até o período de 2008.

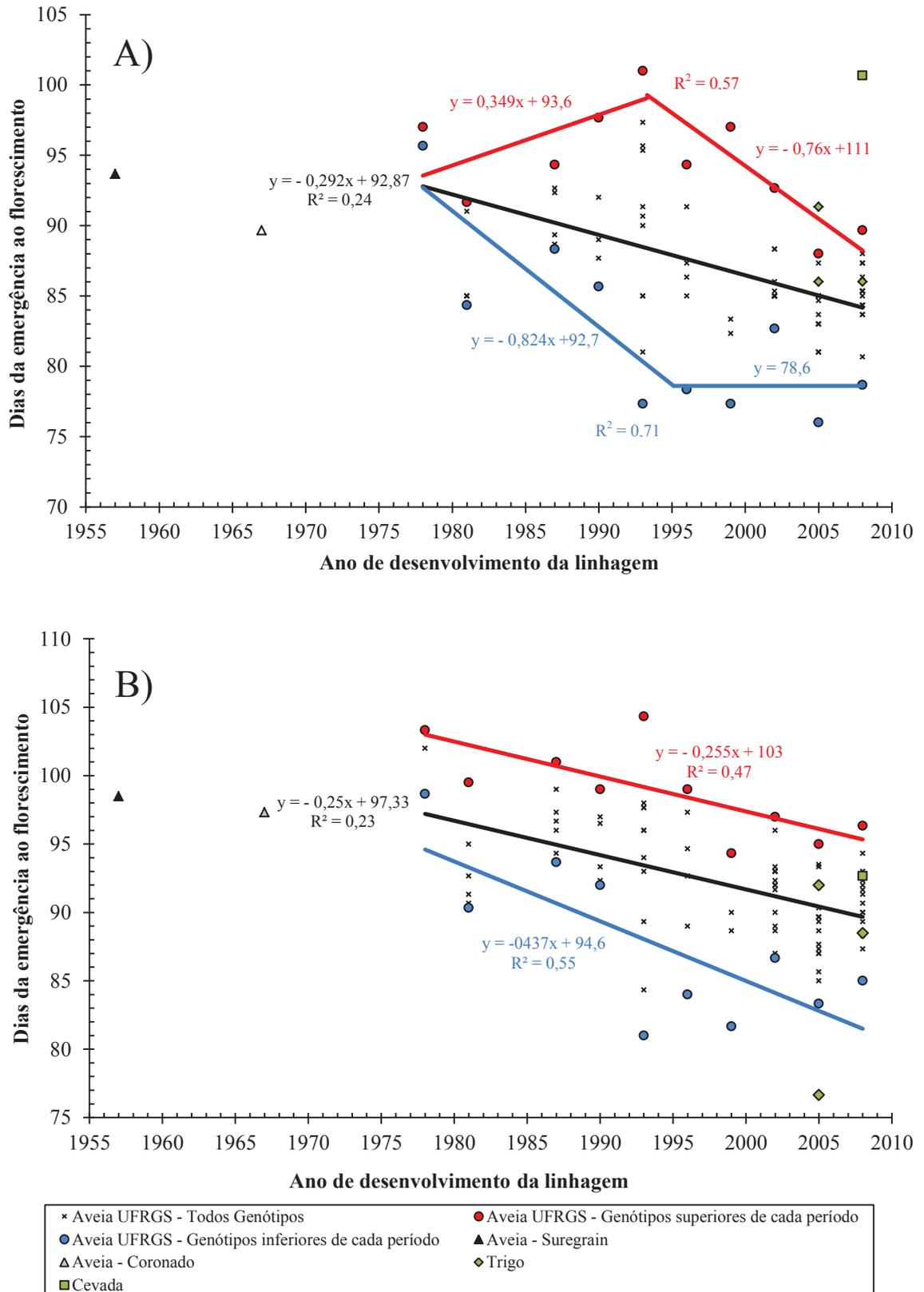


FIGURA 3. Progresso genético do caráter número de dias da emergência ao florescimento com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

A interação genótipo x ano foi significativa para o DEF (Tabela 4), desta forma os gráficos apresentaram diferenças na estimativa do progresso genético para os anos avaliados. A associação entre o caráter DEF e a época de obtenção das linhagens pode ser explicada por uma regressão linear simples, sem ponto de quebra (Figura 3-B). A redução do número de DEF, considerando todos os genótipos foi de 97 dias em 1978 para 90 dias no ano de 2008, correspondendo a um progresso genético de -0,255 dias ao ano (Figura 3-B).

Para os genótipos superiores, dentro de cada período de três anos, ocorreu uma redução no DEF de 103 dias no ano de 1978 para 95 no ano de 2008, correspondendo a um progresso genético de -0,255 dias ao ano (Figura 3-B).

Para os genótipos de aveia com os menores valores de DEF, em cada período de três anos, a redução do DEF foi mais acentuada que nas demais comparações, de acordo com o experimento conduzido em 2011. Como observado na Figura 3-B, a regressão dos menores valores de DEF, dentro de cada período de três anos, revelou uma queda estimada de 95 dias em 1978 para 81 dias em 2008, resultando em um progresso genético de -0,437 dias ao ano durante os 30 anos de melhoramento genético (Figura 3-B).

No ano de 2010, as cultivares Suregrain e Coronado apresentaram média de 94 e 90 dias da emergência ao florescimento, respectivamente (Figura 3-A). Enquanto que no ano de 2011 as médias foram de 98 e 97, respectivamente (Figura 3-B).

No primeiro ano de avaliação (2010), o DEF das cultivares modernas de trigo Guamirim, Safira e Quartzo foram 86, 91 e 86 dias, respectivamente. E a cultivar de cevada BRS Cauê apresentou média de 101 dias (Figura 3-A). Para o ano de 2011, as cultivares modernas de trigo Guamirim, Safira e Quartzo tiveram uma média de 77, 92 e 88 dias da emergência ao florescimento, respectivamente. E a cultivar de cevada BRS Cauê apresentou média de 93 dias (Figura 3-B).

4.1.3 Progresso genético da estatura de plantas

Devido à interação significativa genótipo x ano para esta variável (Tabela 4), o progresso genético para a estatura de plantas apresentou algumas diferenças entre os anos de avaliação 2010 e 2011. A única regressa que apresentou semelhança foi o progresso genético utilizando todos os genótipos avaliados pertencentes a UFRGS (Figura 4).

Baseado no coeficiente de regressão obtido na análise de todos os genótipos avaliados, a redução na estatura ocorreu na ordem de 0,156 cm a cada ano, na avaliação realizada em 2010 (Figura 4-A). O valor estimado da estatura no início do Programa de Melhoramento, 1978, foi de 111 cm, atingindo uma estatura média estimada de 106,3 cm no final do período, 2008 (Figura 4-A).

Para os genótipos com os valores superiores de estatura de plantas, dentro de cada período de três anos, nenhuma das regressões estimadas, linear contínua ou linear bi-segmentada, foi significativa (Figura 4-A). Assim, os genótipos com maiores valores de estatura de plantas tiveram comportamento constante entre o período de 1978 a 2008, com média estimada de 121 cm (Figura 4-A) e o valor mais alto observado foi de 135 cm, com o genótipo UFRGS 930551-6, obtido no ano de 1993.

Em relação aos genótipos com os valores inferiores de estatura de plantas, na avaliação realizada em 2010, ocorreu uma redução na estatura, estimada em 0,346 cm por ano. Baseado na regressão linear, a estatura de plantas estimada para os genótipos de menor estatura foi igual a 101 cm em 1978 e de 90,62 cm em 2008 (Figura 4-A).

No segundo ano de avaliação (2011) o progresso genético da estatura de plantas foi negativo ao longo dos 30 anos de melhoramento genético, ocorrendo para os três grupos de genótipos analisados (Figura 4-B). Considerando todos os genótipos avaliados, o progresso genético para estatura foi de -0,238 cm/ano, sendo que, a estatura média estimada para o germoplasma no início do Programa de Melhoramento (1978) foi de 112 cm, chegando a 104,9 cm no ano de 2008, final do período de avaliação do germoplasma (Figura 4-B).

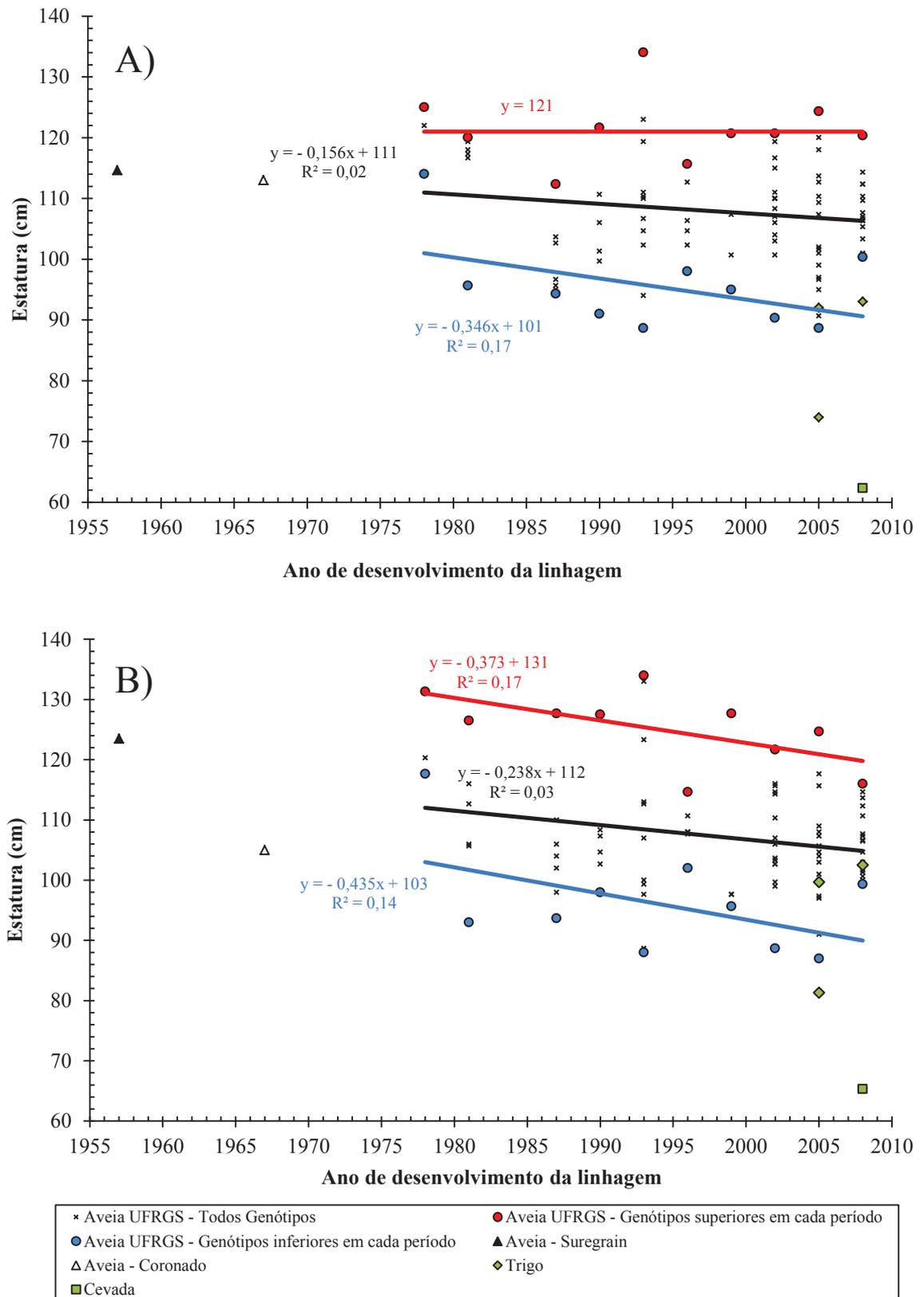


FIGURA 4. Progresso genético do caráter estatura de plantas com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

Da mesma maneira, ocorreu redução na estatura dos genótipos com maior estatura, a qual foi estimada em 0,373 cm a cada ano, no experimento de 2011. No mesmo experimento, foi estimado que os genótipos de estatura superior possuíam estatura média de 131 cm em 1978, atingindo média de 119,8 em 2008 (Figura 4-B).

Para os genótipos com estatura inferior, a redução da estatura foi mais expressiva, com um progresso genético de -0,435 cm/ano. Nesta análise, a estatura estimada dos genótipos de estatura inferior foi de 103 cm para o período de 1978, reduzindo para estatura de 89,9 cm após 30 anos de melhoramento (Figura 4-B). Como ocorreu em 2010, no ano de 2011 a menor estatura dentre os genótipos observados foi observado no ano de 1993. No entanto, ao invés da cultivar UFRGS 19, o genótipo que apresentou menor estatura foi a linhagem UFRGS 942097-4, com 88 cm de altura.

Em 2010, as cultivares Suregrain e Coronado obtiveram estatura média de plantas de 113 e 115 cm, respectivamente. As cultivares modernas de trigo Guamirim, Safira e Quartzo apresentaram estatura média de 74, 92 e 93 cm. Enquanto que a cultivar moderna de cevada BRS Cauê obteve média de estatura de plantas de 62 cm. No ano de 2011, a cultivar de aveia Suregrain e Coronado mostraram estaturas médias de 123,5 e 105 cm, respectivamente. As cultivares de trigo tiveram estatura média de 81,3 (Guamirim), 99,7 (Safira) e 102,5 (Quartzo), já a cultivar de cevada Cauê obteve 65,3 cm (Figura 4-B).

4.1.4 Progresso genético da produção de biomassa aparente

A produção de biomassa aparente apresentou interação genótipo x ano significativa (Tabela 4). No entanto, as regressões da produção de biomassa aparente com o período de desenvolvimento das linhagens tiveram comportamento semelhante nos dois anos de avaliação (Figura 5).

Em termos gerais, a biomassa aparente não foi modificada durante os 30 anos de melhoramento do programa, demonstrada pela regressão de todos os genótipos avaliados

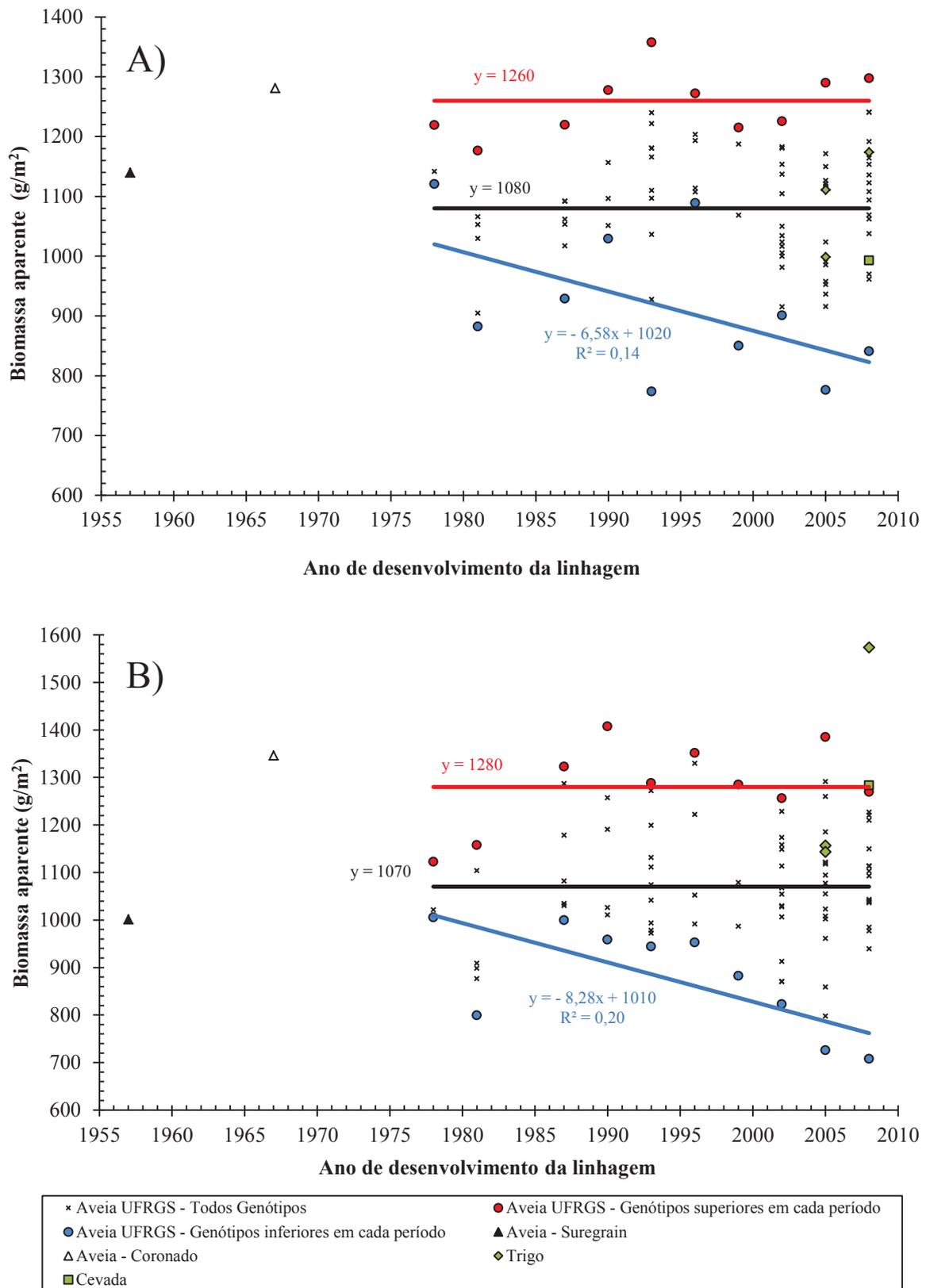


FIGURA 5. Progresso genético da produção de biomassa aparente com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

em 2010 e 2011. A média da biomassa aparente produzida, considerando todos os genótipos de aveia UFRGS estudados, foi de 1080 g/m² em 2010 (Figura 5-A) e 1070 g/m² em 2011 (Figura 5-B). Analisando somente os genótipos com produção de biomassa aparente superior, dentro de cada período de três anos, a biomassa aparente também se manteve constante, sendo que a média foi de 1260 g/m², no ano de avaliação 2010 (Figura 5-A), já no segundo ano foi de 1280 g/m² (Figura 5-B).

Por outro lado, para os genótipos com biomassa aparente inferior, ocorreu uma redução da biomassa aparente ao longo do período de 30 anos, nos dois anos de avaliação (Figura 5). Em 2010, a biomassa aparente inicial foi estimada em 1020 g/m² (período de 1978), reduzindo para o valor estimado de 823 g/m² após 30 anos (período de 2008), proporcionando um progresso genético negativo de -6,58 g/m² ao ano (Figura 5-A). Da mesma maneira, no ano de 2011, a biomassa aparente dos genótipos inferiores para o caráter foi estimada em 1010 g/m² (período de 1978), diminuindo para 762 g/m² ao final do período de 30 anos de melhoramento, resultando numa redução da biomassa aparente estimada em -8,28 g/m² a cada ano de melhoramento (Figura 5-B).

Nos dois anos de avaliação, a cultivar Suregrain teve resultados próximos da linha de regressão de todos os genótipos de aveia avaliados, sendo que em 2010 sua média observada foi de 1139 g/m² (Figura 5-A), enquanto que no ano de 2011 obteve média de 1346 g/m². Já a cultivar Coronado ficou mais próximo da regressão das biomassas aparentes superiores de cada período de obtenção das linhagens, sendo que em 2010 obteve média observada de 1281 g/m² (Figura 5-A) e 1001 g/m² no ano de 2011 (Figura 5-B).

As cultivares de trigo e cevada apresentaram resultados distintos nos dois anos de avaliação, podendo ser exemplificado pela cultivar Quartzo, que foi lançada no ano de 2008. No primeiro ano de avaliação esta cultivar apresentou uma produção de biomassa aparente de 1174 g/m², ficando entre as regressões com biomassa aparente superior e biomassa aparente de todos os genótipos de aveia (Figura 5-A). Por outro lado, no segundo

ano de avaliação este mesmo genótipo obteve média de 1574 g/m², ficando acima das biomassas aparentes superiores de cada ano de desenvolvimento das linhagens de aveia (Figura 5-B).

A cultivar de cevada BRS Cauê apresentou biomassa aparente de 993 g/m² para o ano de 2010, ficando entre a regressão dos genótipos inferiores e a regressão de todos os genótipos de aveia (Figura 5-A). Enquanto que no ano de 2011, esta mesma cultivar, obteve média de 1283,67 g/m², ficando próxima da regressão que representa os genótipos superiores de aveia (Figura 5-B).

4.1.5 Progresso genético do acamamento

Devido à interação significativa entre ano x genótipo para a característica agrônômica acamamento (Tabela 4), diferenças na estimativa e nas regressões do progresso genético foram observados durante os anos de avaliação 2010 e 2011 (Figura 6).

No primeiro ano de avaliação, considerando todos os genótipos avaliados e pertencentes ao programa, o acamamento apresentou uma redução durante os 30 anos de melhoramento (Figura 6-A). Observando a regressão com todos os genótipos, o valor estimado para o início do programa foi de 37% de acamamento, reduzido para 16,5% no ano de 2008, o que representou um progresso genético do acamamento de -0,684 % ao ano (Figura 6-A).

No mesmo ano, foi observada uma dispersão elevada dos genótipos superiores sendo que seus valores variaram de 88 a 45%. Desta forma, não foi possível observar progresso genético durante os 30 anos de melhoramento, para este grupo de genótipos, os quais foram representados pela média dos genótipos superiores de 65,2% de acamamento (Figura 6-A).

Considerando os genótipos com valores inferiores de acamamento, uma redução nos primeiros anos de melhoramento foi observada até o ano de 1982, a qual se manteve

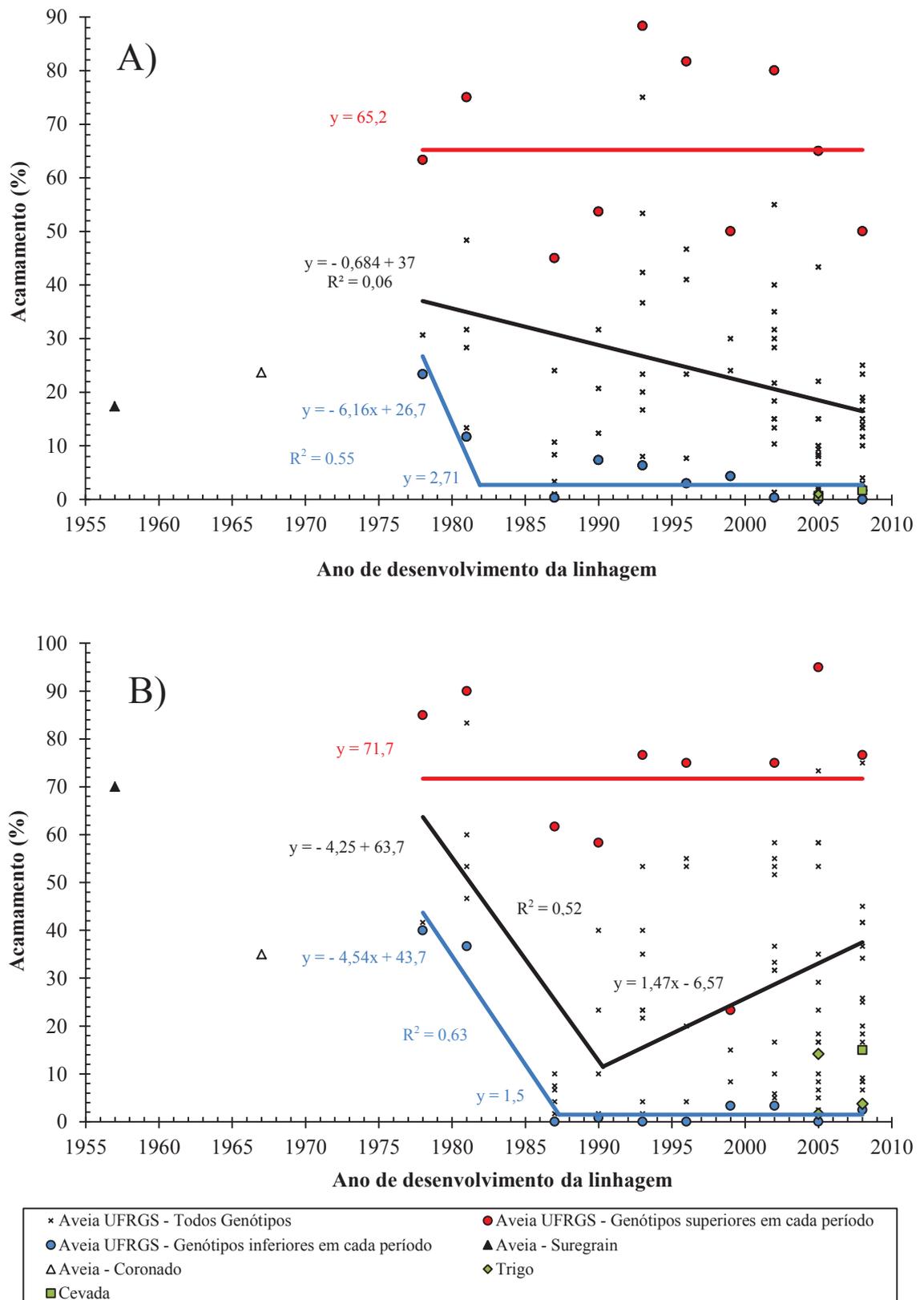


FIGURA 6. Progresso genético do acamamento com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

estável até o ano de 2008 (Figura 6-A). Observando a regressão, no ano de 1978, o acamamento estimado para os valores inferiores foi de 26,7% e reduziu para 2,71% no ano de 1982, promovendo um progresso genético do acamamento de -6,16% ao ano. O valor estimado de 2,71% de acamamento se manteve por todos os demais anos (Figura 6-A).

No ano de 2010, as cultivares Suregrain e Coronado obtiveram médias de acamamento de 17,33% e 23,67%, respectivamente. As cultivares de trigo obtiveram baixos valores de acamamento, sendo que Guamirim obteve 0,67%, Safira obteve 1% e Quartzito obteve 1,67% de média. Enquanto que cultivar de cevada BRS Cauê obteve média de acamamento de 1,67% (Figura 6-A).

No ano de avaliação 2011, considerando todos os genótipos de aveia avaliados, o acamamento teve uma redução nos primeiros anos de melhoramento, até o ano de 1990. A partir desta data ocorreu um aumento do acamamento até o ano de 2008 (Figura 6-B). Através da regressão, o valor estimado em 1978 foi de 63,7% de acamamento reduzindo para 11,5% no ano de 1990, promovendo um progresso genético para o período de 4,25% ao ano. Após esta data (1990), o acamamento teve um aumento de 1,47% ao ano, chegando a atingir um valor estimado de 25,84% no ano de 2008 (Figura 6-B).

Para os valores superiores de acamamento, uma elevada amplitude dos valores foi observada nos dois anos de avaliação. Devido a esta grande variação, não foi observado progresso genético nos valores superiores de acamamento para nenhum dos anos, sendo representados pela média de 65,2% em 2010 e 71,7% em 2011 (Figura 6-A e 6-B). De maneira semelhante à 2010, no ano de 2011, os genótipos que apresentaram valores inferiores, tiveram uma redução na taxa de acamamento até o ano de 1987 e posteriormente mantiveram-se constantes até o ano de 2008. Seguindo a regressão para estes valores, o valor estimado para o ano de 1978 foi de 43,7% de acamamento, reduzindo para 1,5% no ano de 1987, promovendo assim, uma redução de 4,54% ao ano. Após 1987,

o acamamento se manteve estável até o ano de 2008, com média estimada de 1,5% (Figura 6-B).

No ano de avaliação 2011, a cultivar Suregrain obteve média de acamamento de 70% e a cultivar Coronado teve média de acamamento de 35%. Enquanto que as cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo obtiveram médias de acamamento de 1,67%, 14,17% e 3,75%, respectivamente. Já a cultivar de cevada BRS Cauê teve média de 15% (Figura 6-B).

4.1.6 Progresso genético do número de panículas por metro quadrado

Conforme observado, houve interação significativa entre genótipo x ano (Tabela 4), para a variável número de panículas por metro quadrado. Esta observação também ficou evidenciada quando observados os gráficos de progresso genético nos dois anos de avaliação. Apenas, quando considerados todos os genótipos da instituição, incluídos do experimento, é que ocorreram semelhanças no progresso genético (Figura 7).

No ano de 2010, considerando todos os genótipos, observou-se um progresso genético de 2,07 panículas/m² ao ano, sendo que o valor estimado, pela regressão, no início do programa, foi de 305 panículas/m² em 1978 e atingiu 367 panículas/m² em 2008 (Figura 7-A).

Da mesma forma que todos os genótipos da UFRGS que foram avaliados, os que apresentaram valor superior, dentro de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, obtiveram aumento do número de panículas por área durante os 30 anos de melhoramento (Figura 7-A). Observando a regressão, o valor estimado em 1978 foi de 371 panículas/m², atingindo 459 panículas/m² em 2008, o que promoveu um acréscimo de 2,93 panículas/m² ao ano (Figura 7-A).

Por outro lado, os genótipos com valor inferior de panículas por área, obtiveram uma redução no número de panículas por metro quadrado, até o ano de 1991 e,

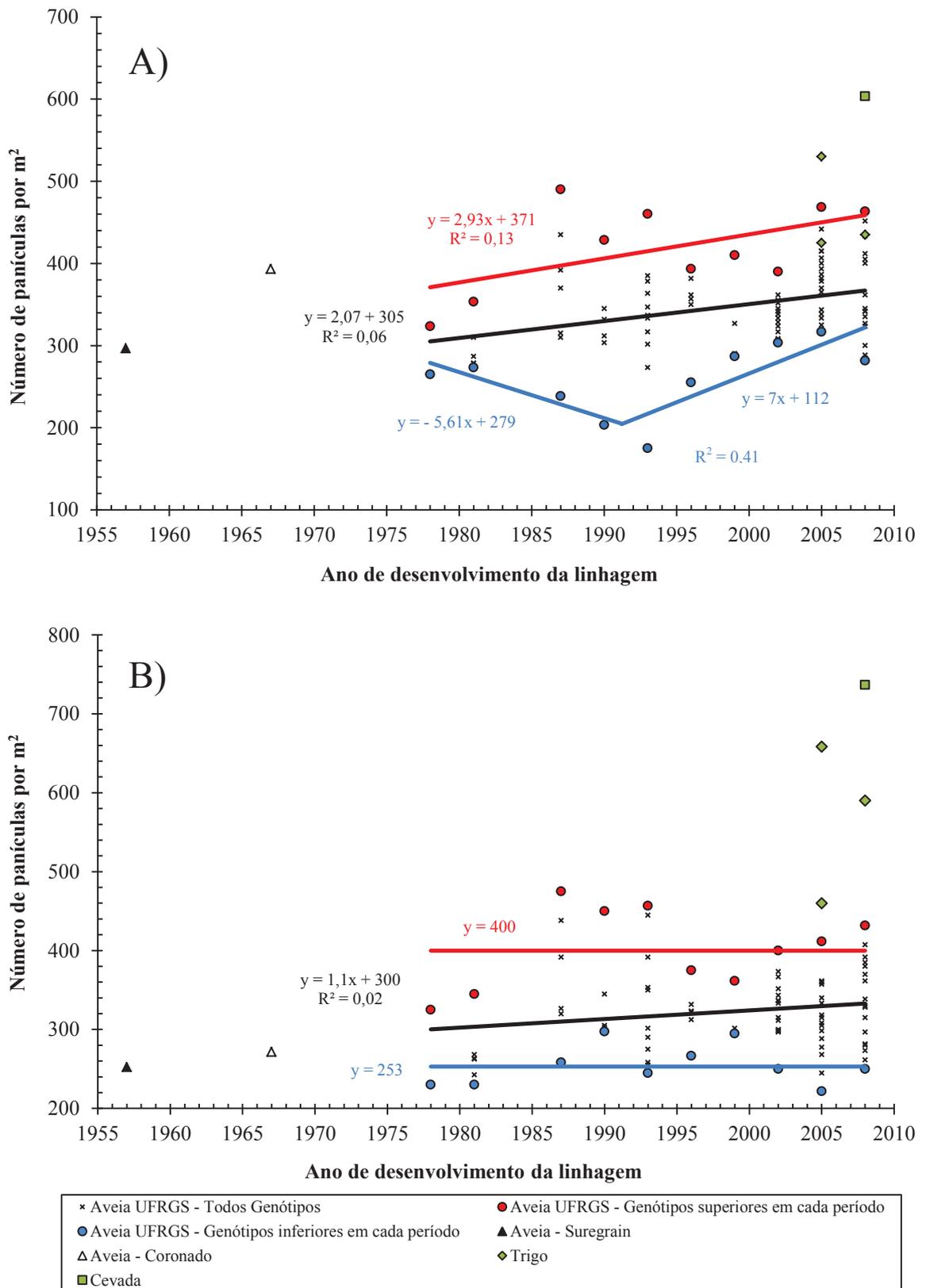


FIGURA 7. Progresso genético do número de panículas por área com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

posteriormente a este período, ocorreu um aumento até o ano de 2008 (Figura 7-A). Observando a regressão, o valor estimado foi de 279 panículas/m² em 1978, reduzindo para 204 panículas/m² em 1991, o que proporcionou uma redução anual de 5,61 panículas/m². Após este período de queda, ocorreu um aumento no número de panículas por área de 7 panículas/m² ao ano, com isso, os valores estimados partiram de 204 panículas/m² em 1991 e atingiram 322 panículas/m² no ano de 2008 (Figura 7-A).

No ano de avaliação 2010, a cultivar Suregrain apresentou média de 297 panículas por metro quadrado e a cultivar Coranado obteve média de 393 panículas/m². As cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo apresentaram médias de 530, 425 e 435 espigas por metro quadrado, respectivamente. Enquanto que a cultivar de cevada BRS Cauê obteve média de 603 espigas por metro quadrado, que foi muito superior ao observado para os genótipos de aveia, sendo que a linhagem de aveia UFRGS 881971 foi a que obteve maior média com 490 panículas por metro quadrado (Figura 7-A).

Como descrito anteriormente, somente a regressão com todos os genótipos de aveia avaliados no experimento é que apresentou regressão similar nos dois anos de avaliação. Deste modo, no ano de 2011, considerando todos os genótipos que foram avaliados do programa de melhoramento, ocorreu um acréscimo linear durante os 30 anos de trabalho (Figura 7-B). Observando a regressão, o valor estimado no início do programa foi de 300 panículas/m² no ano de 1978 e atingiu 333 panículas/m² em 2008, o que corresponde a um progresso genético de 1,1 panículas/m² ao ano (Figura 7-B).

Em oposição, no mesmo ano de avaliação, os valores superiores em cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, não tiveram um progresso genético durante os 30 anos de melhoramento, ou seja, o número de panículas se manteve constante com média de 400 panículas/m² (Figura 7-B). O mesmo ocorreu com os valores inferiores de panículas por área, dentro do período de três anos de desenvolvimento das linhagens. O

valor estimado continuou constante durante todos os anos de melhoramento com média de 235 panículas por metro quadrado (Figura 7-B).

No ano de avaliação 2011, a cultivar Suregrain obteve média de 252,5 panículas/m² e a cultivar Coronado teve média de 272 panículas/m² (Figura 7-B). Enquanto que as cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo tiveram médias de 658, 460, 590 espigas/m², respectivamente (Figura 7-B). E a cultivar de cevada Cauê obteve média de 737 espigas/m² (Figura 7-B). Estes valores de trigo e cevada ficaram acima dos valores observados pelos genótipos de aveia. Já que o maior valor observado dentre as aveias foi da linhagem UFRGS 881971 obtendo média de 475 panículas por metro quadrado (Figura 7-B).

4.1.7 Progresso genético do número de grãos por panícula

Devido à interação significativa entre genótipo x ano, observada na Tabela 4, as regressões nos dois anos de avaliação tiveram diferentes resultados. Somente, quando observados todos os genótipos avaliados pertencentes a UFRGS, foram vistos semelhanças nos anos de avaliação (Figura 8).

No ano de avaliação 2010, o número de grãos por panícula não apresentou mudanças quando analisados todos os genótipos de aveia da UFRGS, permanecendo constante, com média de 63,3 grãos por panícula durante os 30 anos de melhoramento (Figura 8-A). Regressão com mesmo comportamento ocorreu com os valores superiores, se mantendo constante durante os 30 anos de melhoramento genético, com média de 88 grãos por panícula (Figura 8-A). Somente os valores inferiores de cada três anos de desenvolvimento das linhagens é que teve mudança durante os anos de seleção. Estes valores tiveram número de grãos por panícula estimados em 54 grãos/panícula no ano de 1978, que reduziram em uma taxa anual de 0,478 grãos por panícula, atingindo 40 grãos por panícula no ano de 2008 (Figura 8-A).

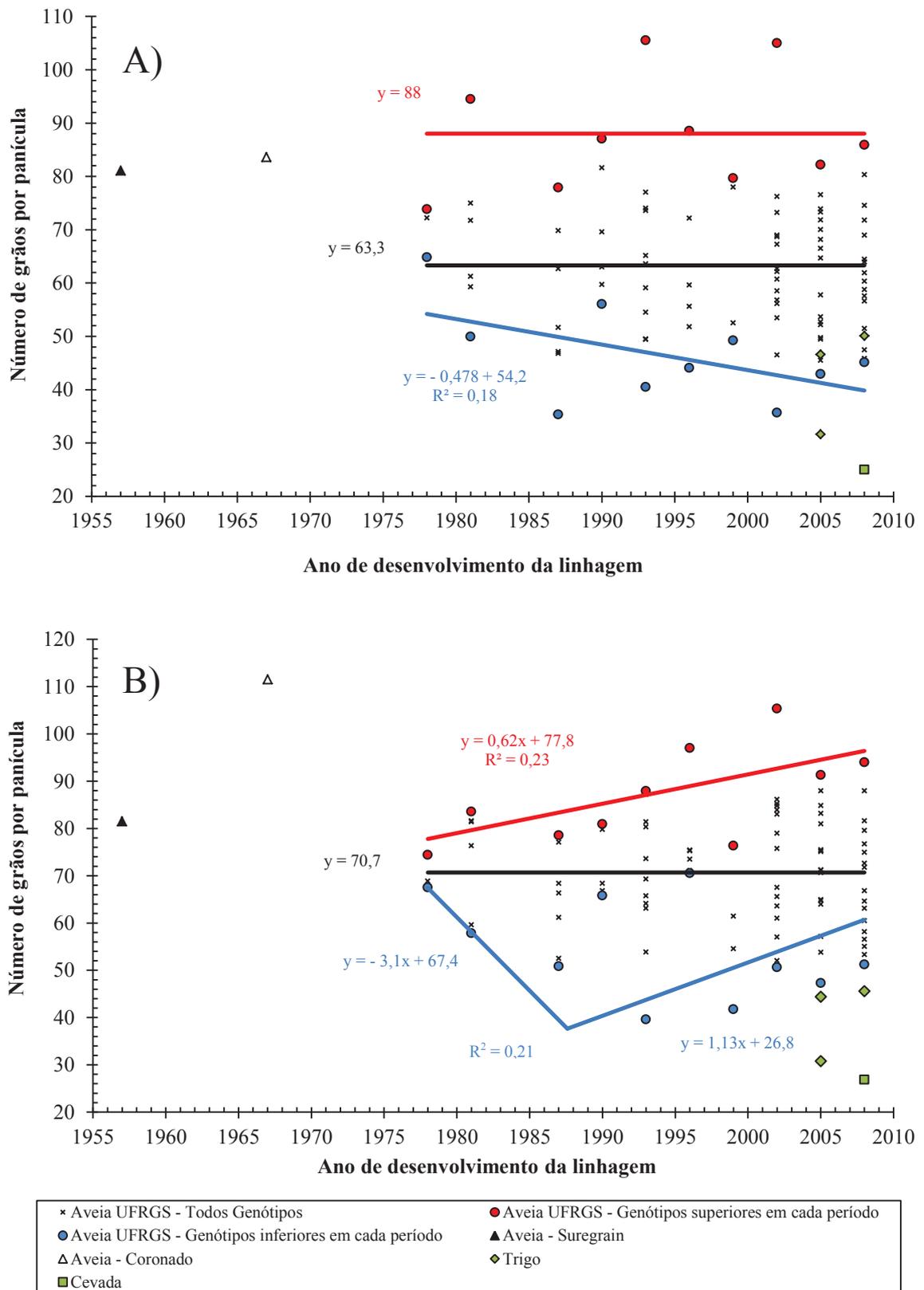


FIGURA 8. Progresso genético do número de grãos por panícula com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

No mesmo ano de avaliação, a cultivar de aveia Suregrain apresentou média de 81 grãos por panícula e a cultivar Coronado teve média de 84 grãos por panícula. Estes valores ficaram próximos dos valores superiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens (Figura 8-A). As cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo obtiveram médias de 32, 47 e 50 grãos por panícula, respectivamente. Enquanto que a cultivar de cevada BRS Cauê teve média de 25 grãos por espiga. Estes valores estão próximos dos valores inferiores de cada período de três anos e desenvolvimento das linhagens de aveia da UFRGS (Figura 8-A).

Em 2011, considerando todos os genótipos avaliados que são pertencentes ao programa da UFRGS, foi observado o mesmo comportamento que em 2010. O número de grãos por panícula se manteve constante durante os 30 anos do programa, sendo representados pela média de 70,7 grãos/panícula (Figura 8-B).

No mesmo ano de avaliação, os valores superiores tiveram um aumento no número de grãos por panícula (Figura 8-B). No ano de 1978, o número estimado de grãos por panícula foi de 78 grãos por panícula, na qual, teve um aumento anual de 0,62 grãos/panícula, resultando em um valor estimado de 96 grãos por panícula no ano de 2008 (Figura 8-B). Para o ano de avaliação 2011, os valores inferiores tiveram uma redução no número de grãos por panícula até o ano de 1988 e posteriormente um acréscimo desta mesma variável (Figura 8-B). Observando a regressão, os valores inferiores de cada ano de desenvolvimento das linhagens tiveram um início estimado em 67 grãos por panícula no ano de 1978, o qual foi reduzido para 38 grãos por panícula no ano de 1988, correspondendo a um decréscimo anual de 3,1 grãos/panícula. Após esta queda, ocorreu um aumento de 1,13 grãos por panícula ao ano, atingindo 61 grãos por panícula em 2008 (Figura 8-B).

No ano de 2011, a cultivares Suregrain obteve média de 81 grãos por panícula e a cultivar Coronado atingiu média de 112 grãos por panícula. Enquanto que as cultivares de

trigo Guamirim, Safira e Quartzo tiveram médias de 31, 44, e 46 grãos por espiga, respectivamente. Já a cultivar de cevada BRS Cauê obteve média de 27 grãos por espiga (Figura 8-B).

Para melhor entendimento da redução estimada para o número de grãos por panícula nos valores inferiores, foram destacados os maiores valores do número de panículas por metro quadrado em cada ano de desenvolvimento das linhagens (Figura 9-A). Estes genótipos foram, de modo geral, os mesmos que apresentaram os menores valores do número de grãos por panícula em cada ano de desenvolvimento das linhagens (Figura 9-B). Observando que a relação entre número de panículas por metro quadrado com o número de grãos por panícula foi negativa (Figura 9-C), os mesmos genótipos que tiveram baixo número de grãos por panícula foram os que apresentaram os maiores valores do número de panículas por metro quadrado (Figura 9-C).

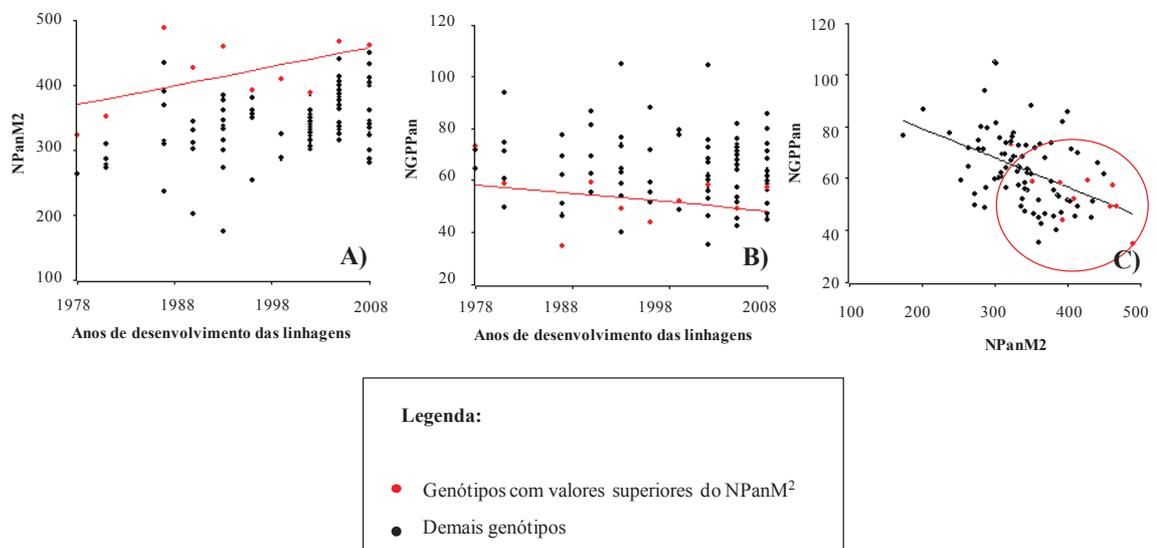


FIGURA 9. Associação entre: A) ano de obtenção das linhagens e o número de panículas por metro quadrado – NPanM²; B) ano de obtenção das linhagens e número de grãos por panícula – NGPPan; C) número de panículas por metro quadrado – NPanM² e número de grãos por panícula – NGPPan. Eldorado do Sul, 2010.

4.1.8 Progresso genético do peso de grãos por panícula

Mesmo com a interação significativa genótipo x ano (Tabela 4), o progresso genético do peso de grãos da panícula apresentou comportamento semelhante em 2010 e 2011, somente quando utilizados os valores superiores de peso de grãos por panícula, em cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, é que foi observada uma diferença no comportamento das regressões nos anos de avaliação (Figura 10).

No ano de 2010, com todos os genótipos não ocorreu modificação no peso de grãos da panícula se mantendo constante nos 30 anos de melhoramento, com média de 2,03 g/panícula (Figura 10-A).

Por outro lado, quando analisados os valores superiores em cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, foi observado um progresso genético de 0,0497 gramas/panícula ao ano até o ano de 1990. Observando a regressão, no início do programa, os valores superiores apresentaram valor estimado de 2,39 gramas/panícula no ano de 1978, chegando a 3,01 gramas/panícula no ano de 1990 (Figura 10-A). Após esta data, ocorreu uma redução na ordem de 0,0306 gramas/panícula ao ano, o que promoveu uma queda no peso de grãos da panícula em função dos anos de desenvolvimento das linhagens. Sendo que, no ano de 1990 o valor estimado foi de 3,01 gramas/panícula reduzindo para um valor estimado de 2,48 gramas/panícula no ano de 2008 (Figura 10-A).

Neste mesmo ano de avaliação, considerando os valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, não houve mudanças no peso de grãos da panícula ao longo do tempo de melhoramento, mantendo-se constante, com média de 1,58 gramas/panícula (Figura 10-A).

No ano de avaliação 2010, a cultivar Suregrain teve uma média de 2,5 gramas/panícula, este valor ficou próximo ao início da regressão onde são considerados apenas os valores superiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens (Figura 10-A). Enquanto que a cultivar Coronado obteve uma média de 2,17

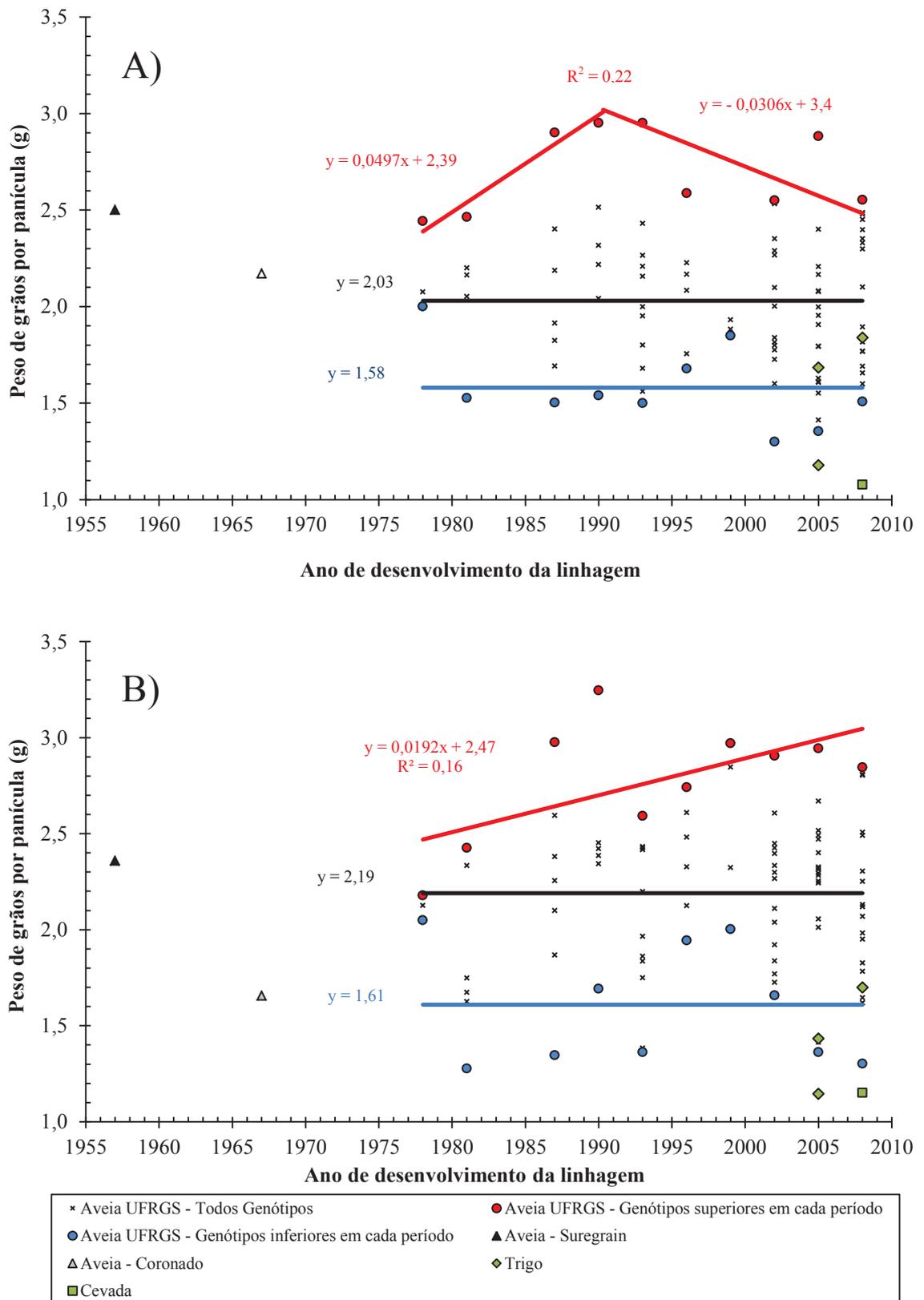


FIGURA 10. Progresso genético do peso de grãos por panícula com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

gramas/panícula, ficando entre as regressões em que foram utilizados todos os genótipos de aveia avaliados neste experimento que são pertencentes a UFRGS e aquela utilizando os valores superiores de cada ano de desenvolvimento das linhagens. Na mesma forma de análise, as cultivares de trigo Safira e Quartzo tiveram peso de espigas próximos aos valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens. Enquanto que a cultivar de trigo Guamirim e cevada Cauê obtiveram valores abaixo destes (Figura 10-A).

No ano de 2011, quando foram analisados todos os genótipos de aveia avaliados experimento e que pertencem à instituição, não ocorreram mudanças no peso de grãos da panícula, ao longo dos anos de seleção, permanecendo constantes, com média de 2,19 gramas/panícula (Figura 10-B).

Seguindo o comportamento da regressão de todos os genótipos, no mesmo ano de avaliação 2011, os valores inferiores não apresentaram diferenças no peso de grãos da panícula, ao longo dos anos de melhoramento, permanecendo constantes, do ano de 1978 a 2008, com média de 1,61 gramas/panícula (Figura 10-B).

Diferindo dos valores inferiores, os valores superiores, no ano de avaliação 2011, tiveram um progresso genético de 0,0192 gramas/panícula a cada ano de melhoramento. Assim, o valor estimado, para os pesos superiores de grãos da panícula, foi de 2,47 gramas/panícula, no ano de 1978, atingindo um valor estimado de 3,04 gramas/panícula em 2008 (Figura 10-B).

No ano de 2011, a cultivar Suregrain obteve média do peso de grãos da panícula de 2,36 gramas/panícula, enquanto a cultivar Coronado teve média de 1,66 gramas/panícula, que ficou próxima dos valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens pertencentes a UFRGS (Figura 10-B). Já as cultivares de trigo tiveram mesmo comportamento que no ano anterior, Safira e Quartzo tiveram médias próximas da regressão dos valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das

linhagens de aveia. E as cultivares de trigo Guamirim e de cevada Cauê foram as que apresentaram médias menores que a regressão utilizando os valores inferiores de aveia (Figura 10-B).

Para melhor entender como ocorreu o aumento do peso de grãos da panícula somente nos valores superiores de cada ano de desenvolvimento das linhagens, foram realizadas algumas associações no ano de avaliação 2010 (Figura 11). Os valores superiores do peso de grãos da panícula em cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens foram destacados na Figura 11-A, onde são associados os anos de desenvolvimento das linhagens com o peso de grãos da panícula. Observando a Figura 11-B, os valores superiores do peso de grãos da panícula, de modo geral, foram os que apresentavam valores inferiores do número de panículas por metro quadrado. Confirmado pela associação negativa entre número de panículas por metro quadrado e peso de grãos da panícula, onde os valores superiores do peso de grãos da panícula mostraram valores acima da linha de tendência do gráfico (Figura 11-C).

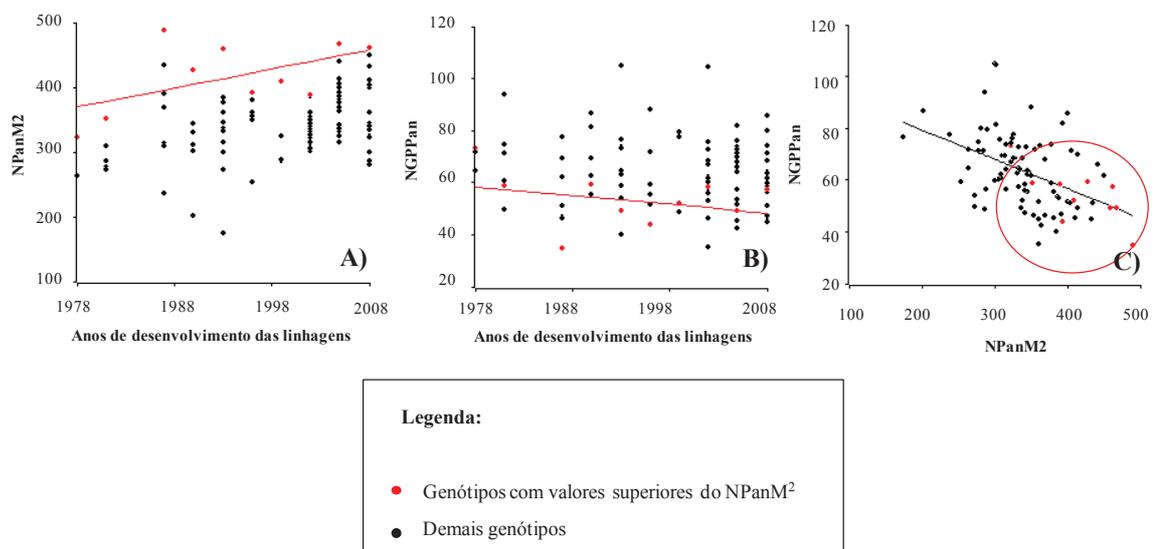


FIGURA 11. Associação entre: A) ano de desenvolvimento da linhagem e número de panículas por metro quadrado – NPanM²; B) ano de desenvolvimento da linhagem e número de grãos por panícula – NGPPan; C) número de panículas por metro quadrado – NPanM² e número de grãos por panícula – NGPPan. Eldorado do Sul, RS, 2010.

4.1.9 Progresso genético da massa de mil grãos

Como observado da Figura 12, a massa de mil grãos (MMG) teve comportamento distinto em relação ao ano de desenvolvimento das linhagens, apenas os valores superiores apresentaram comportamento semelhante durante os 30 anos de melhoramento genético. Esta diferença observada entre os anos de avaliação 2010 e 2011 também fica evidente pela interação significativa do genótipo x ano (Tabela 4).

No primeiro ano de avaliação, considerando todos os genótipos de aveia utilizados no experimento e que pertencem ao germoplasma da UFRGS, ocorreu um aumento da massa de mil grãos de 1978 até o ano de 1996, quando então uma redução abrupta nesta variável foi observada. A partir do ano de 1996 ocorreu novamente, um aumento da massa de mil grãos até o ano de 2008 (Figura 12-A). Observando a regressão, o valor estimado da MMG, no ano de 1978, foi de 32,9 gramas aumentando para 36,68 gramas no ano de 1996, o que promoveu um progresso genético de 0,194 gramas ao ano, durante este período. Conforme mencionado anteriormente, no ano de 1996 ocorreu uma redução abrupta na MMG, caindo de 36,68 gramas para 32,9 gramas (Figura 12-A). Partindo deste último valor estimado ocorreu um aumento na ordem de 0,261 gramas a cada ano de seleção a partir de 1996, atingindo em 2008 um valor estimado da MMG de 35,73 gramas (Figura 12-A).

Neste mesmo ano, para os valores superiores, a MMG obteve um aumento do ano de 1978 até o ano de 1987, sendo que a partir desta data ocorreu uma estabilização na MMG em função dos anos de desenvolvimento das linhagens (Figura 12-A). Observando a regressão, no ano de 1978, os valores superiores da MMG foram estimados em 34,8 gramas e atingiram 41,5 gramas no ano de 1987, promovendo um progresso genético de 0,717 gramas ao ano durante este período. Após esta data, a MMG se manteve constante, com média estimada de 41,5 gramas até o ano de 2008 (Figura 12-A).

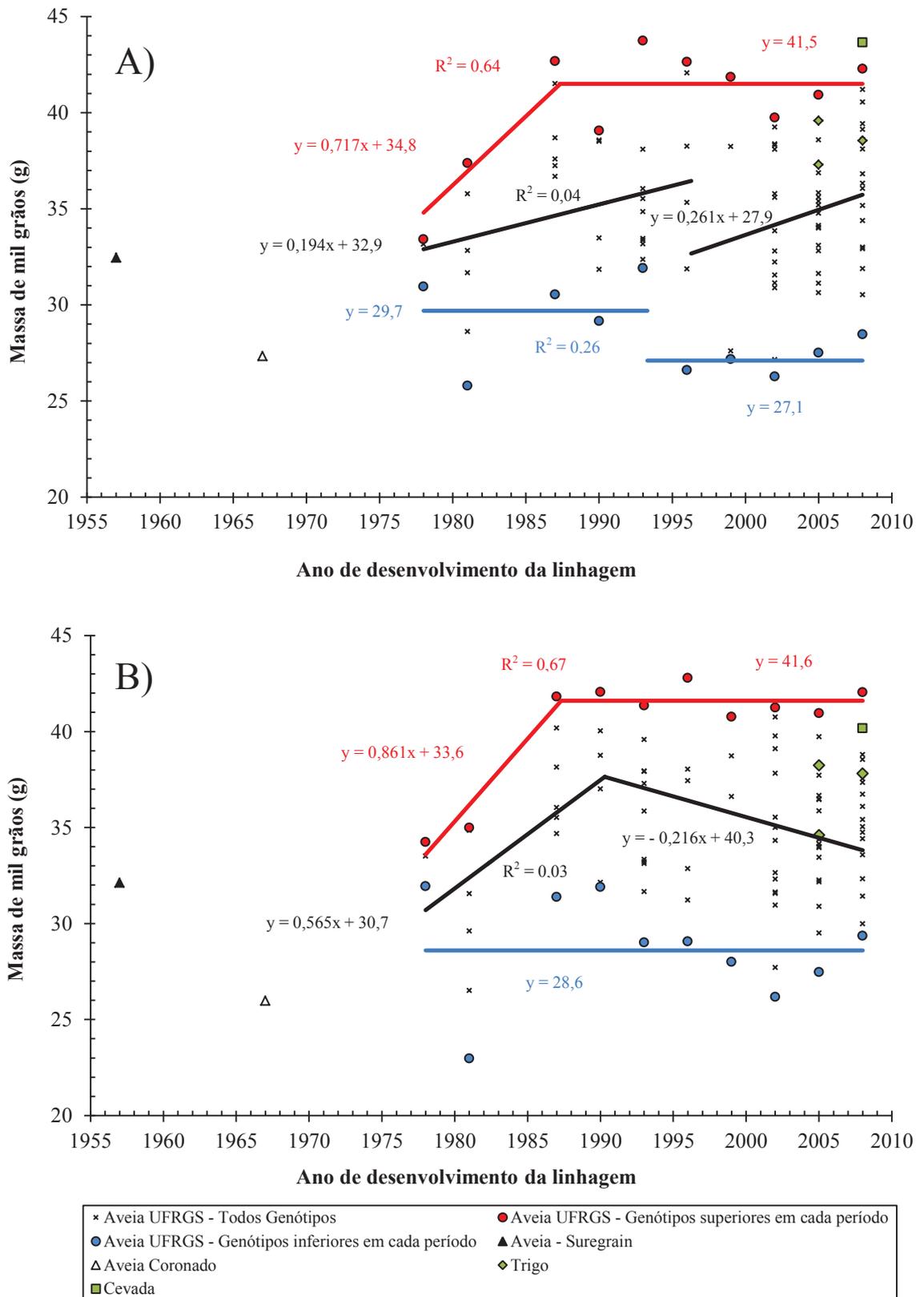


FIGURA 12. Progresso genético da massa de mil grãos com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

Por outro lado, nos valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, a MMG não teve progresso genético entre os anos de 1978 a 1993, mantendo-se constantes, com média estimada de 29,7 gramas (Figura 12-A). Após o ano de desenvolvimento das linhagens de 1993, ocorreu uma redução abrupta no MMG de 29,7 gramas para 27,1 gramas e este valor se manteve pelos demais anos de melhoramento (Figura 12-A).

No ano de avaliação 2010, a cultivar de aveia Suregrain teve média da massa de mil grãos de 32,46 gramas, enquanto a cultivar de aveia Coronado obteve média de 27,33 gramas. No mesmo sentido, as cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo apresentaram médias da MMG de 39,58, 37,3 e 38,54 gramas, respectivamente. E a cultivar de cevada BRS Cauê obteve média da MMG de 43,64 gramas (Figura 12-A).

Ao contrário do que ocorreu no ano de 2010, no ano de 2011 a regressão com todos os genótipos avaliados no experimento que fazem parte do programa de melhoramento da UFRGS, em função dos anos de desenvolvimento das linhagens, teve um incremento na MMG durante os anos de 1978 a 1990. Após esta data, ocorreu uma redução na MMG até o ano de 2008 (Figura 12-B). Observando a regressão, o valor estimado da MMG, para todos os genótipos, foi de 30,7 gramas e aumentou para 37,65 gramas no ano de 1990, promovendo um progresso genético neste período de 0,565 gramas ao ano. A partir desta data, ocorreu uma redução na MMG de 0,216 gramas ao ano, chegando a atingir MMG estimado de 33,82 gramas no ano de 2008 (Figura 12-B).

Semelhante ao ano de 2010, no ano de avaliação de 2011, os valores superiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens tiveram um progresso genético da massa de mil grãos de 0,861 gramas durante os anos de 1978 a 1987. Observando a regressão neste período, o ano de 1978 teve valor estimado da MMG de 33,6 gramas e atingindo 41,6 gramas no ano de 1987 (Figura 12-B). Após este período de

aumento na MMG, ocorreu uma estabilização até o ano de 2008, com média estimada de 41,6 gramas (Figura 12-B).

Em contraponto, no mesmo ano de avaliação, os valores inferiores de MMG, para cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, não apresentaram progresso genético durante os 30 anos de seleção, mantendo-se constantes, com média da MMG estimada em 28,6 gramas (Figura 12-B).

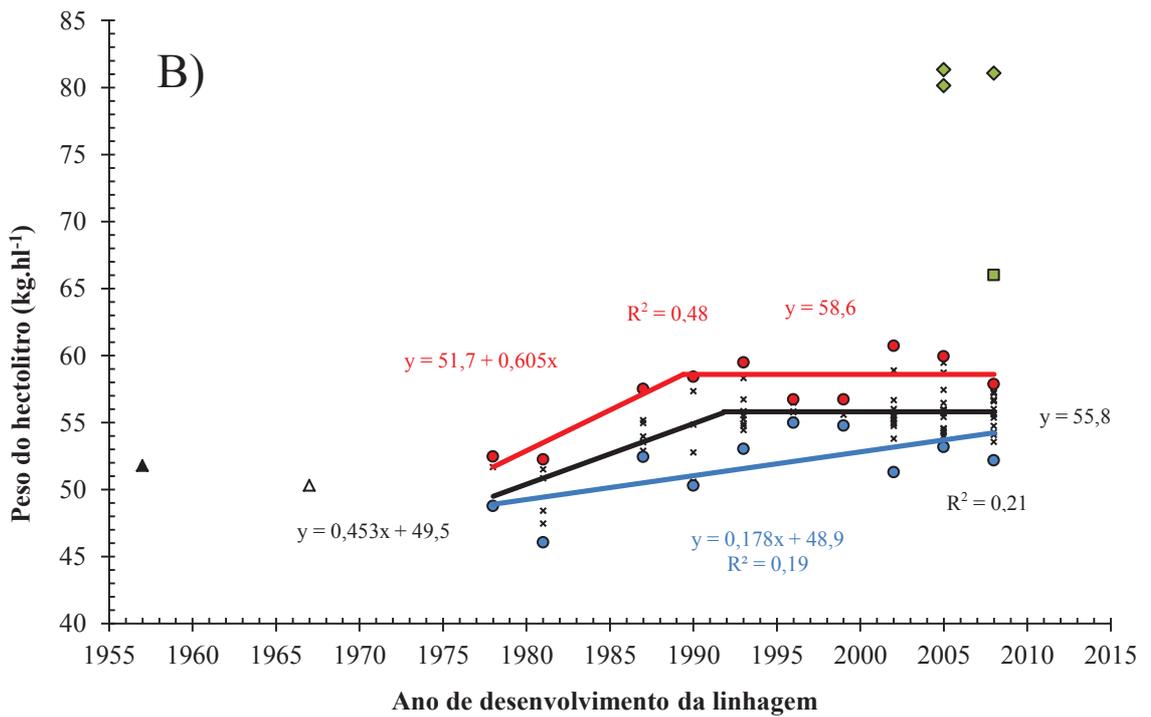
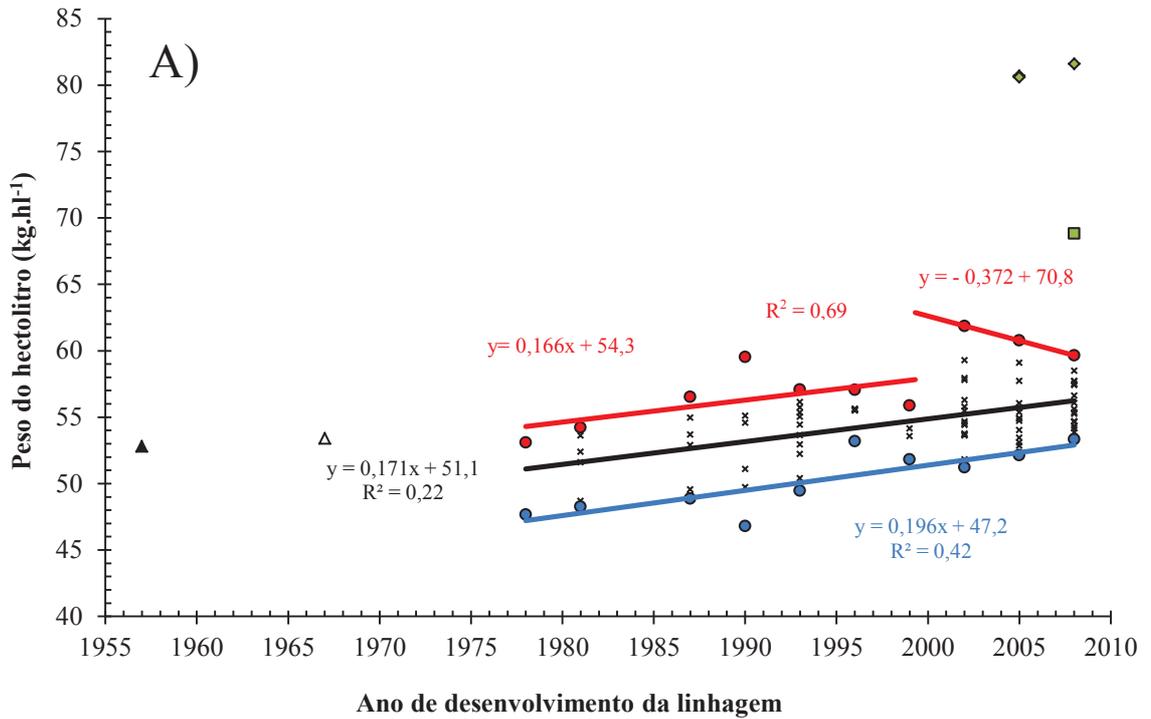
No ano de avaliação 2011, a cultivar aveia Suregrain obteve média na massa de mil grãos de 32,13 gramas, enquanto que a cultivar de aveia Coronado apresentou média de 25,98 gramas. As cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo tiveram média da MMG de 34,61, 37,82 e 40,17 gramas, respectivamente. Já para a cultivar de cevada BRS Cauê, o valor médio observado foi de 40,17 gramas (Figura 12-B).

4.1.10 Progresso genético do peso do hectolitro

Na Figura 13 estão apresentadas as regressões dos dois anos de avaliação do peso do hectolitro (PH) em função dos períodos de três anos do desenvolvimento das linhagens. De acordo com a análise, apenas a regressão utilizando os valores inferiores para cada período de três anos apresentou comportamento semelhante nos dois anos de avaliação (Figura 13). Estes dados contradizem os dados obtidos na análise de variância, onde a variável PH não teve interação significativa entre genótipo x ano (Tabela 4), ou seja, os genótipos se comportaram de forma semelhante nos dois anos de avaliação.

No ano de 2010, quando foram analisados todos os genótipos de aveia do experimento, pertencentes a UFRGS, o peso do hectolitro mostrou um aumento linear durante os anos de seleção, com um progresso genético de $0,171 \text{ kg.hl}^{-1}$ ao ano, começando com PH de 51,1, em 1978, e atingindo valores de $56,23 \text{ kg.hl}^{-1}$ após 30 anos de melhoramento (Figura 13-A).

No mesmo ano, a análise de progresso genético, considerando apenas os genótipos



× Aveia UFRGS - Todos Genótipos	● Aveia UFRGS - Genótipos superiores em cada período
● Aveia UFRGS - Genótipos inferiores em cada período	▲ Aveia - Suregrain
△ Aveia - Coronado	◆ Trigo
■ Cevada	

FIGURA 13. Progresso genético do peso do hectolitro com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

de aveia com PH superior, dentro de cada período de obtenção das linhagens, revelou uma bi-segmentação, onde o PH mostrou um aumento de $0,166 \text{ kg.hl}^{-1}$ ao ano até o ponto de quebra da regressão linear, estimado a ocorrer no ano de 1999 (Figura 13-A). O valor estimado para os genótipos superiores de PH do início do programa foi de $54,3 \text{ kg.hl}^{-1}$, aumentando para $57,8 \text{ kg.hl}^{-1}$ no ano de 1999. Após este ponto, a análise regressão linear estimou um aumento abrupto do PH para $62,9 \text{ kg.hl}^{-1}$ e uma redução linearmente na ordem de $0,372 \text{ kg.hl}^{-1}$ ao ano até 2008. Assim, o valor estimado do PH para os genótipos superiores foi de $59,6$ no ano de 2008 (Figura 13-A).

Como observado para todos os genótipos do programa avaliados, no experimento conduzido em 2010, os valores inferiores de PH dentro de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, obtiveram um aumento linear na ordem de $0,196 \text{ kg.hl}^{-1}$ a cada ano de seleção, iniciando com PH de $47,66 \text{ kg.hl}^{-1}$, em 1978, e atingindo $53,32 \text{ kg.hl}^{-1}$, após 30 anos de seleção (Figura 13-A).

No mesmo ano, as cultivares Suregrain e Coronado tiveram médias de PH de $52,8$ e $53,41 \text{ kg.hl}^{-1}$, respectivamente. Estes valores estão próximos do início da regressão dos valores superiores de PH, dentro do período de três anos de desenvolvimento das linhagens. Por outro lado, como esperado, as cultivares de trigo apresentaram PH muito acima dos valores observados pelo PH de aveia com média próxima a 80 kg.hl^{-1} , e a cevada BRS Cauê apresentou um PH médio de 70 kg.hl^{-1} , ficando um pouco abaixo dos valores de trigo e acima dos valores da aveia (Figura 13-A).

No ano de avaliação 2011, as análises de progresso genético revelaram resultados um pouco diferentes daqueles observadas com os dados obtidos em 2010 (Figura 13). Quando foram analisados todos os genótipos de aveia do experimento que fazem parte do germoplasma da UFRGS, a regressão linear estimou um ponto de quebra em 1992. Entre os anos de 1978 até o ponto de quebra foi estimado um aumento do PH em $0,435 \text{ kg.hl}^{-1}$ ao ano, após o ponto de quebra houve uma estabilização no PH com média estimada em $55,8$

kg.hL⁻¹. Desta forma, a partir do experimento conduzido em 2011, foi estimado que o germoplasma de aveia da UFRGS iniciou com um PH de 49,5 kg.hL⁻¹ em 1978, atingiu de 55,75 kg.hL⁻¹ no ano 1992, e manteve esta valor estimado até o ano de 2008 (Figura 13-B).

No mesmo ano, quando utilizado apenas os valores superiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, foi observado um aumento de 0,605 kg.hL⁻¹ no PH em cada ano de seleção até o ponto de quebra, estimado a ocorrer no ano de 1989. Após esta data ocorreu uma estabilização no PH, com média de 58,6 kg.hL⁻¹ (Figura 13-B).

Da mesma forma que no primeiro ano de avaliação, em 2011 os valores inferiores de PH, considerando o período de três anos de desenvolvimento das linhagens, obtiveram um incremento de 0,178 kg.hL⁻¹ no PH, em cada ano de melhoramento genético. A média inicial dos valores inferiores de PH foi de 48,9 kg.hL⁻¹, em 1978, e atingiu 54,2 kg.hL⁻¹ em 2008 (Figura 13-B).

Em 2011, as cultivares Suregrain e Coronado obtiveram média de PH de 51,8 kg.hL⁻¹ e 50,32 kg.hL⁻¹, respectivamente. Como não foram utilizados na análise de regressão, estes valores situam-se entre o início das três regressões analisadas para o ano de 2011 (Figura 13-B). Novamente, todas as cultivares de trigo apresentaram altos valores de PH, que ficaram acima de 80 kg.hL⁻¹ (Figura 13-B). Enquanto que a cultivar de cevada BRS Cauê teve média de 60 kg.hL⁻¹, ficando acima dos valores observados para aveia e abaixo dos valores observados de trigo (Figura 13-B).

É conhecido que a massa de mil grãos e o peso do hectolitro tem forte correlação positiva, e como a massa de mil grãos em 2010 teve uma queda abrupta em um período do programa genético de aveia da UFRGS era esperado que isto refletisse também no PH, porém, não foi visto esta redução (Figura 13-A). Para melhor entender a relação MMG e PH foram realizadas algumas associações no ano de 2010 (Figura 14). Como o ponto de quebra para todos os genótipos avaliados pertencentes a UFRGS foi estimado próximo do ano de 1996 (Figura 12-A) os genótipos foram divididos entre os anteriores e posteriores a

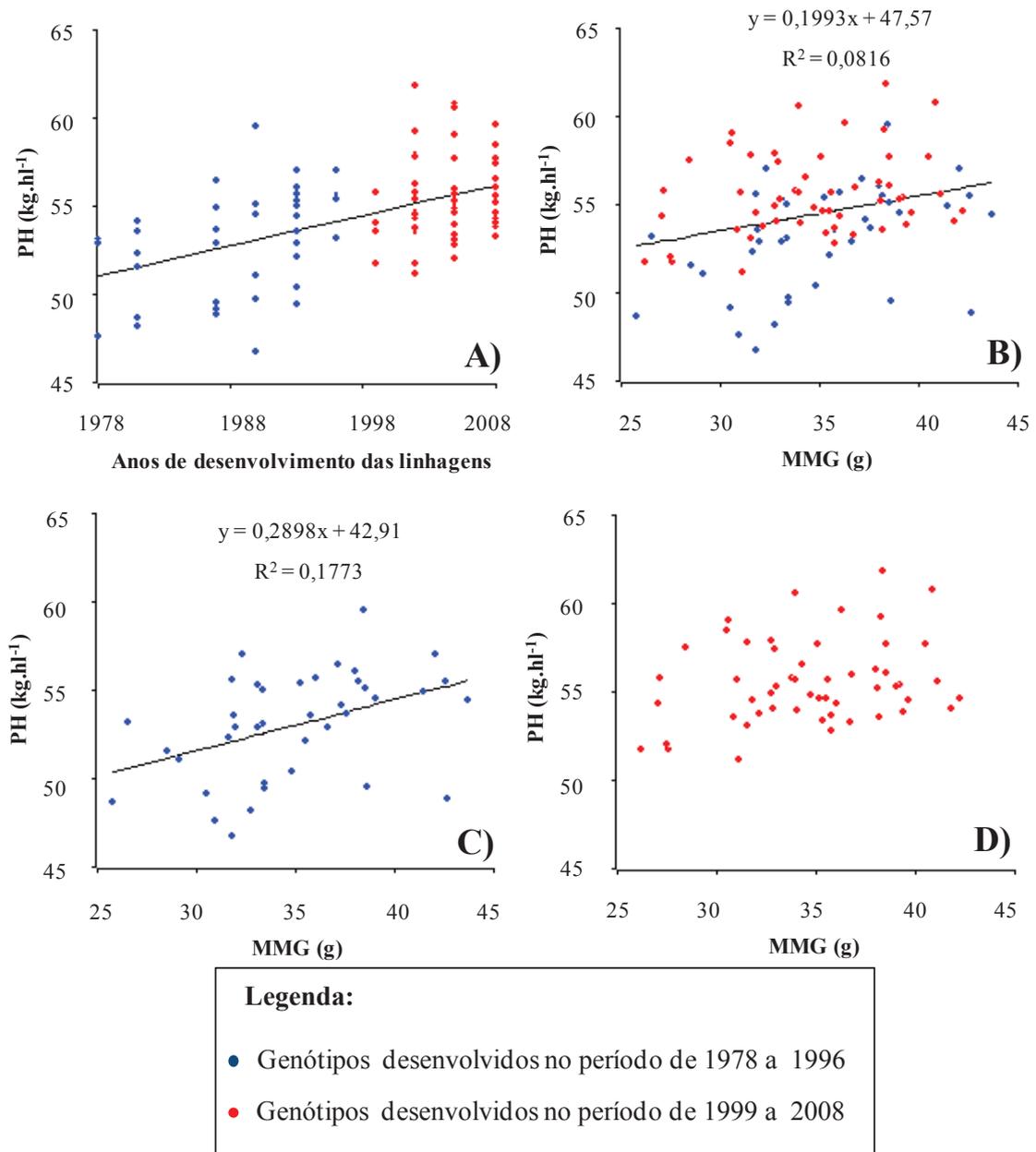


FIGURA 14. Associação entre: A) anos de desenvolvimento das linhagens e peso do hectolitro – PH; B) massa de mil grãos – MMG e peso do hectolitro – PH; C) massa de mil grãos – MMG e peso do hectolitro – PH; D) massa de mil grãos – MMG e peso do hectolitro – PH. Eldorado do Sul, RS, 2010.

esta data (Figura 14-A). Quando observados todos os genótipos, a relação entre massa de mil grãos e peso do hectolitro é linear e positiva, sendo que o aumento de 10 gramas na massa de mil grãos causou acréscimo de aproximadamente 2 kg.hL⁻¹ no PH (Figura 14-B). Quando considerados os genótipos desenvolvidos antes de 1996 a relação continuou linear e positiva, onde a cada incremento de 10 gramas da massa de mil grãos ocorreu aumento

de aproximadamente 3 kg.hl^{-1} no peso do hectolitro (Figura 14-C). Enquanto que não foi observada associação entre massa de mil grãos e PH nos genótipos desenvolvidos posteriormente ao ano de 1996 (Figura 14-D).

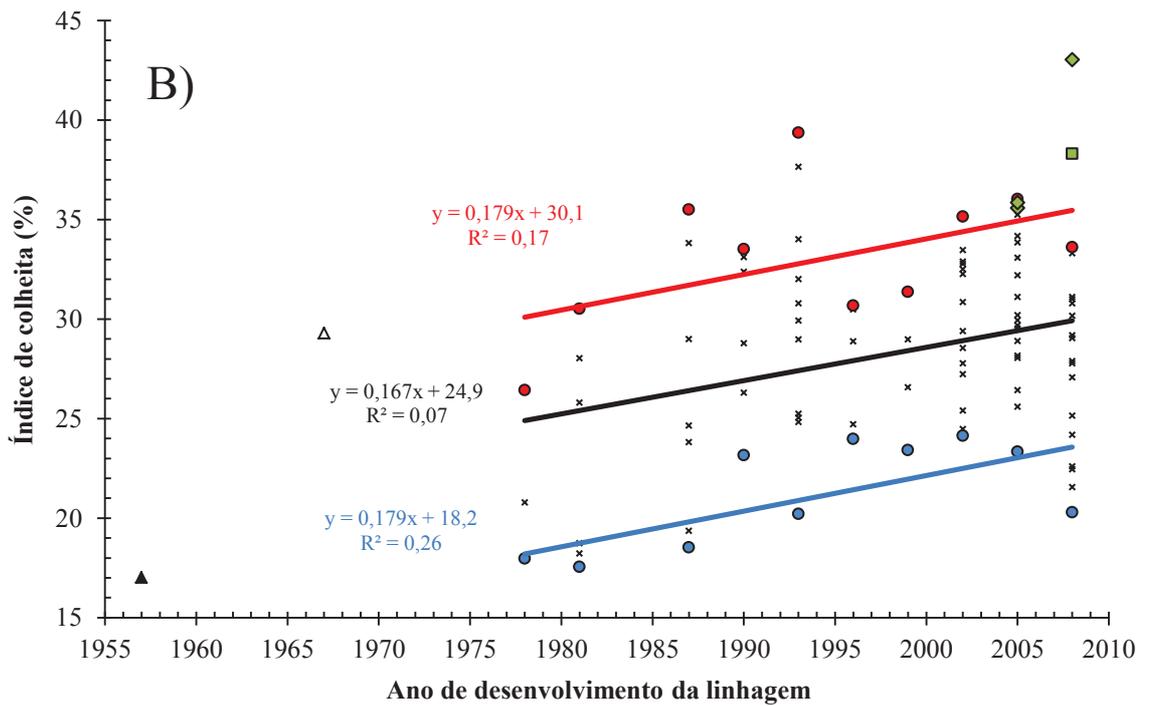
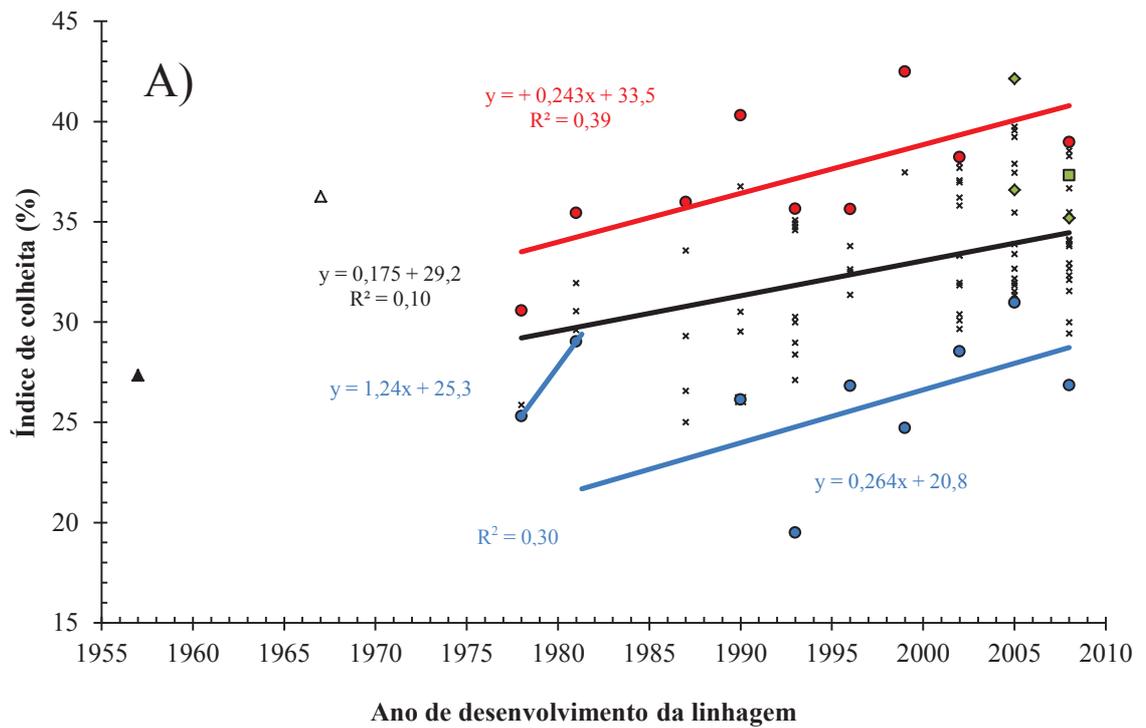
4.1.11 Progresso genético do índice de colheita

Apesar de ocorrer interação significativa entre genótipo x ano (Tabela 4), as regressões entre o índice de colheita em função do período de três anos de desenvolvimento das linhagens, foram muito semelhantes nos dois anos de avaliação. Apenas a regressão entre os valores inferiores, considerando o período de três anos de desenvolvimento das linhagens, no experimento realizado em 2010, teve um ponto de quebra, o qual não foi observado na análise dos dados obtidos do ano de 2011 (Figura 15).

Desta forma, no ano de 2010, na análise envolvendo todos os genótipos de aveia avaliados, o progresso genético do índice de colheita (IC) foi de 0,175% ao ano. Pela análise da regressão, o germoplasma da UFRGS possuía índice de colheita estimado em 29,2% no ano de 1978 e chegou a média estimada de 34,45% em 2008 (Figura 15-A).

Seguindo a linha de tendência de todos os genótipos avaliados no experimento e pertencentes a UFRGS, os valores superiores também tiveram aumento linear para o índice de colheita, promovendo um progresso genético de 0,243 % ao ano (Figura 15-A). Com este incremento, os genótipos com IC superior em cada ano de desenvolvimento das linhagens partiram com IC de 33,5% no ano de 1978 e chegaram a 40,79% em 2008 (Figura 15-A).

No mesmo ano de 2010, os valores inferiores tiveram um incremento no IC, em função dos anos de desenvolvimento das linhagens, durante os anos de 1978 a 1981 (Figura 15-A). A partir desta data, uma redução abrupta no IC foi observada, em função dos anos de desenvolvimento das linhagens, que posteriormente continuou a aumentar até o ano de 2008 (Figura 15-A). Nos primeiros anos de seleção ocorreu um aumento do IC de



- | | |
|--|--|
| × Aveia UFRGS - Todos Genótipos | ● Aveia UFRGS - Genótipos superiores em cada período |
| ● Aveia UFRGS - Genótipos inferiores em cada período | ▲ Aveia - Suregrain |
| △ Aveia - Coronado | ◆ Trigo |
| ■ Cevada | |

FIGURA 15. Progresso genético do índice de colheita com fungicida em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS, no ano de: A) 2010; B) 2011. Eldorado do Sul, RS.

1,24% ao ano, partindo com IC estimado de 25,3%, em 1978, e atingindo valor estimado de 29,4% no ano de 1981. Como mencionado anteriormente, nesta data, ocorreu uma redução abrupta de 29,4% para 21,67% no índice de colheita. E após o ano de 1981 os valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens teve um progresso genético positivo de 0,264% ao ano, tendo um o valor estimado do IC de 21,67% em 1981 e atingindo 28,72% no ano de 2008 (Figura 15-A).

A cultivar Suregrain, no experimento de 2010, teve um índice de colheita médio de 27,33% que ficou próximo dos valores estimados para IC, quando foram analisados todos os genótipos de aveia do experimento que fazem parte do germoplasma da UFRGS (Figura 15-A). Diferentemente, a cultivar Coronado apresentou média do IC de 36,27%, este valor ficou acima do ponto de início da regressão dos valores superiores em cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens (Figura 15-A). Enquanto, as cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzó obtiveram médias do IC de 36,57, 42,14 e 35,17%, respectivamente. Estes valores ficaram próximos da regressão onde foram utilizados os valores superiores do índice de colheita em cada período de três anos de lançamento das linhagens (Figura 15-A). Já a cultivar de cevada BRS Cauê apresentou índice de colheita médio de 37,31%, estando próximos dos valores observados para as cultivares de trigo (Figura 15-A).

No segundo ano de avaliação ocorreu um aumento linear do IC ao longo do tempo, para os três grupos de genótipos de aveia UFRGS analisados (Figura 15-B). Desta forma, quando utilizados todos os genótipos de aveia pertencentes à UFRGS, o progresso genético do IC foi de 0,167% ao ano, iniciando com valor estimado de 24,9%, no ano de 1978, e chegando ao valor estimado de 27,53% em 2008 (Figura 15-B). De maneira semelhante, para valores superiores, o aumento do IC foi de 0,179% ao ano, iniciando com valor estimado de 30,1% em 1978 e chegando ao valor estimado de 35,47% em 2008 (Figura 15-B). Já para os valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das

linhagens, foi obtido um aumento de 0,179% ao ano, iniciando com valor estimado de 18,2%, em 1978 e chegando ao valor estimado de 23,57% em 2008 (Figura 15-B).

No ano de avaliação 2011, a cultivar de aveia Suregrain obteve média no índice de colheita de 17,02. Considerando que este genótipo foi lançado no ano de 1957, o seu valor observado ficou próximo da regressão onde foram utilizados os valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento dos genótipos (Figura 15-B). Enquanto que a cultivar de aveia Coronado apresentou média do IC de 29,3%. Também considerando que este genótipo foi lançado no ano de 1967, o seu valor observado ficou próximo do início dos valores estimados da regressão, em que foram utilizados os valores superiores em cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens (Figura 15-B).

Para o mesmo ano de avaliação, as cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo obtiveram média do índice de colheita de 35,58, 35,85 e 43,03%, respectivamente. Já a cultivar de cevada BRS Cauê apresentou média do IC de 38,31%. Todos estes valores observados, tanto de trigo como de cevada, estiveram acima dos valores estimados da regressão onde foram utilizados os valores superiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens de aveia (Figura 15-B).

4.2 Progresso genético sem fungicida

Para avaliação da severidade de doenças, como ferrugem da folha e mancha foliar, foram utilizadas parcelas sem tratamento fúngico, assim como avaliado o desempenho de alguns caracteres agronômicos sem a proteção do tratamento fúngico. Desta forma, é possível avaliar a importância da seleção para maior resistência às principais moléstias de aveia branca. As avaliações sem aplicação de fungicida foram realizadas somente no ano de 2010.

4.2.1 Progresso genético da resistência à ferrugem da folha

Para determinar o progresso genético da resistência à ferrugem da folha, causada pelo fungo *Puccinia coronata* f.sp. *avenae*, foram utilizados os caracteres severidade máxima e área sob a curva de progresso da ferrugem da folha (ASCPFF). Embora esses caracteres sejam em geral altamente correlacionados, a ASCPFF pode revelar diferenças entre genótipos. Genótipos com igual severidade máxima podem ter ASCPFF significativamente diferentes, quando um genótipo apresenta crescimento lento da moléstia nas fases iniciais da epidemia e outro tem crescimento rápido da moléstia no mesmo período. A Figura 16-A mostra que as regressões entre a severidade máxima da ferrugem e o período de obtenção das linhagens de aveia são muito parecidas com aquelas obtidas para a ASCPFF, as quais são exibidas na Figura 16-B.

A análise do progresso genético da resistência à ferrugem da folha no germoplasma de aveia da UFRGS revelou um ponto de quebra em torno do ano de 1990. O mesmo padrão foi observado quando foram analisados todos os genótipos de aveia UFRGS, e quando foi estudado o progresso genético relativo às linhagens de maior e menor resistência à ferrugem da folha, dentro de cada período de desenvolvimento das linhagens de aveia (Figura 16-A e 16-B).

O progresso genético observado para a severidade máxima da ferrugem da folha, em todas as linhagens de aveia UFRGS avaliadas, revelou um aumento de 1,82% ao ano até o ponto de quebra da regressão linear (1990). A severidade máxima estimada para o germoplasma de aveia UFRGS era de cerca de 8% no ano de 1978, aumentando para cerca de 30% no ano de 1990 (Figura 16-A). Posteriormente a esta data, ocorreu uma queda abrupta da severidade da ferrugem da folha, sendo estimado um valor de 17 % para o intercepto do segundo segmento da regressão linear, a partir do ano de 1990. A severidade de ferrugem da folha reduziu na ordem de 0,968% ao ano, atingindo severidade de cerca de 0% no ano de 2008 (Figura 16-A).

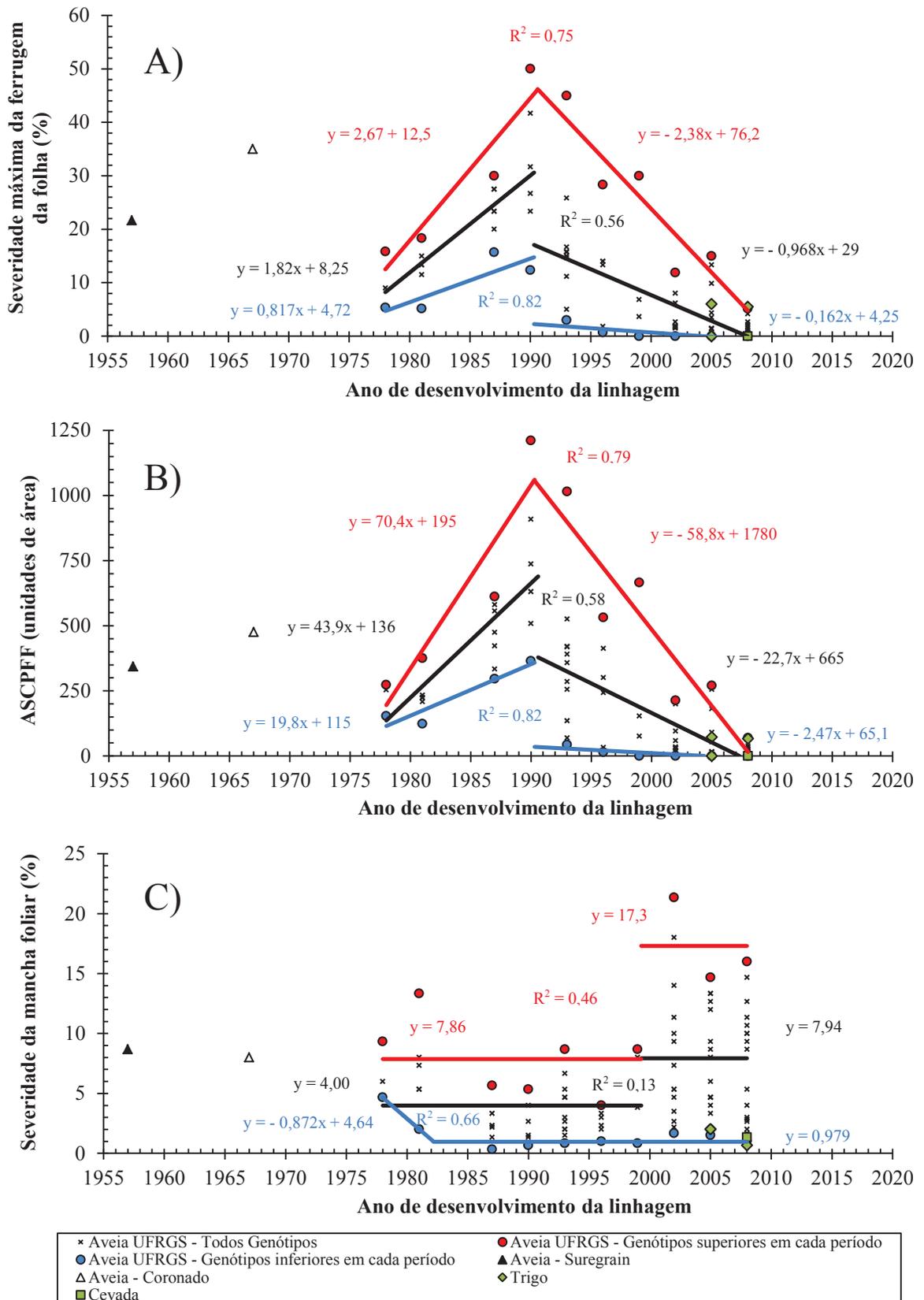


FIGURA 16. Progresso genético da: A) severidade máxima da ferrugem da folha; B) área sob a curva do progresso da ferrugem da folha – ASPFF; C) severidade da mancha foliar. Em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS. Eldorado do Sul, RS, 2010.

Acompanhando a linha de tendência observada para todos os genótipos de aveia UFRGS, o progresso genético estimado para os genótipos de aveia com maior severidade de ferrugem da folha e, portanto, mais suscetíveis à doença, dentro de cada período de obtenção, também mostrou ter um período de aumento da severidade da ferrugem desde 1978 até o ponto de quebra da regressão linear (1990). Antes do ponto de quebra da regressão linear foi verificado um aumento de 2,67% ao ano, sendo que para esses genótipos de maior suscetibilidade à ferrugem da folha, a severidade era de 12,5% para genótipos obtidos no ano de 1978, chegando ao valor estimado de 46% no ano do ponto de quebra da regressão. A partir deste período, a severidade máxima estimada para os genótipos mais suscetíveis reduziu na ordem de 2,38% ao ano, chegando ao valor de 4,8% no ano de 2008 (Figura 16-A).

Nos genótipos de aveia UFRGS mais resistentes à ferrugem da folha, portanto, com menor severidade, dentro de cada período de obtenção das linhagens, revelaram progresso genético com linha de tendência similar àquela observada para todos os genótipos do programa de melhoramento da UFRGS avaliados, caracterizando um progresso descontínuo. Neste grupo de genótipos mais resistentes à ferrugem da folha foi verificado um aumento de 0,817% ao ano entre o período de 1978 e o ano de ponto de quebra (1990), sendo que a severidade máxima partiu de 4,72% no ano de 1978 e chegou a 14,76% no ponto de quebra (Figura 12-A). Porém, após esta data, ocorreu uma redução abrupta de 2,25% na severidade máxima, a qual reduziu na taxa de 0,162% ao ano, atingindo 0% no ano de 2005, no grupo de genótipos mais resistentes à ferrugem da folha (Figura 16-A).

As cultivares Suregrain e Coronado tiveram severidade máxima de ferrugem da folha de 21,67% e 35%, respectivamente. Por outro lado, as cultivares de trigo tiveram menores valores se comparados às cultivares de aveia. Guamirim obteve 0% enquanto que Safira e Quartzo tiveram severidade de 6 e 5,5%, respectivamente. A cultivar de cevada

BRS Cauê não apresentou ferrugem da folha, o que era esperado, por ser uma doença secundária em cevada (Figura 16-A).

O progresso genético da área sob a curva do progresso da ferrugem da folha, mostrado na Figura 16-B, é muito semelhante ao observado para a severidade máxima da ferrugem da folha. Pequena diferença foi verificada no período de 1978, onde a ASCPFF de todo o germoplasma de aveia avaliado e dos genótipos mais e menos resistentes à ferrugem da folha foram mais similares entre si comparado às severidades máximas observadas para esses mesmos grupos de genótipos no mesmo período (Figuras 16-A e 16-B). Desta forma, as regressões lineares entre a ASCPFF e o período de obtenção das linhagens de aveia seguiram os mesmos padrões descritos para a severidade máxima de ferrugem da folha. Os pontos de quebra estimados por estas regressões foram o ano de 1991 para a análise envolvendo todo o germoplasma de aveia da UFRGS estudado e 1990 para os genótipos com maior e menor resistência à ferrugem da folha, dentro de cada período de obtenção dos mesmos (Figura 16-B).

Considerando o progresso genético da resistência à ferrugem da folha, estimado pela ASCPFF, para todos os genótipos da UFRGS avaliados, foi observado um aumento linear de 43,9 unidades de área (U.A.) a cada ano de seleção, até o ponto de quebra. No ano de 1978 a ASCPFF foi estimada em 136 U.A., chegando a área de 689,14 no ponto de quebra da regressão. Após este período de crescimento, o germoplasma mostrou uma grande redução do valor estimada da ASCPFF, partindo de cerca de 320 U.A. no ano de 1991, com uma redução na ordem de 22,7 U.A. a cada ano de melhoramento, chegando a 0% em 2007 (Figura 16-B). Da mesma maneira, os genótipos com maior resistência à ferrugem da folha mostraram descontinuidade do progresso genético em torno do ano de 1990, sendo que no ano de 1978 a ASCPFF foi estimada em 115 U.A e atingiu 358,54 U.A. no ano de 1990, entre os genótipos de aveia mais resistentes à ferrugem da folha. A partir desta data ocorreu uma redução abrupta na ASCPFF partindo de cerca de 35 U.A.

em 1990, a qual continuou reduzindo linearmente, na ordem de 2,47 U.A. a cada ano, atingindo 0% de ASCPFF no ano de 2004 (Figura 16-B).

Os genótipos mais suscetíveis à ferrugem da folha, dentro de cada período de obtenção de linhagens, mostraram um progresso genético marcado por duas fases distintas, quanto a ASCPFF. Uma fase inicial de aumento da ASCPFF, entre 1978 e 1990 (ponto de quebra foi 1990,3), seguido de uma redução da ASCPFF, entre 1990 e 2008, porém sem a disrupção observada nos outros dois grupos de genótipos (Figura 16-B). Na primeira fase foi estimado um aumento da ASCPFF na ordem de 70,4 unidades de área a cada ano de melhoramento até atingir em torno de 1060 U.A. no ano de 1990. Posteriormente a esta data, ocorreu uma redução do ASCPFF de 58,8 U.A. a cada ano, até atingir 16 U.A. em 2008 (Figura 16-B).

As cultivares Suregrain e Coronado apresentaram valores intermediários de ASCPFF, com média de 343,47 e 475,8, respectivamente. As cultivares de trigo Safira e Quartzo tiveram baixos valores de ASCPFF, com média de 72,6 e 66,5 U.A., respectivamente. Enquanto que a cultivar de trigo Guamirim e a cultivar de cevada Cauê não apresentaram ferrugem da folha. É ressaltado que os agentes causais da ferrugem da folha são diferentes para estas espécies e que, provavelmente, as condições de inóculo com disponibilidades distintas não permitem a comparação das espécies neste experimento.

4.2.2 Progresso genético da resistência às manchas foliares

As manchas foliares em aveia são causadas principalmente pelo fungo *Pyrenophora chaetomioides*, sendo que a doença que causada por este fungo é chamada de mancha-negra. Porém, devido ao fato de outros patógenos também causarem manchas foliares em aveia, adotou-se o termo “manchas foliares” para determinar o complexo de moléstias cujas lesões típicas são denominadas desta forma. O progresso da resistência às manchas foliares foi avaliado através da severidade final em cada genótipo.

O progresso genético da resistência às manchas foliares apresentou comportamento diferente daquele observado pela resistência da ferrugem da folha. Genótipos antigos do programa tiveram maior resistência à mancha foliar e menor resistência à ferrugem da folha, enquanto que os genótipos modernos apresentaram maior resistência à ferrugem da folha e menor resistência à mancha foliar (Figura 16).

A análise do progresso da resistência às manchas foliares utilizando todos os genótipos de aveia da UFRGS mostrou que não houve alteração do nível de severidade de manchar foliar entre 1978 e 1999, com média geral de 4% de severidade máxima. A partir de 1999 a média do germoplasma passou para cerca de 8%, mantendo-se constante até 2008 (Figura 16-C). Semelhante ao que ocorreu com todos os genótipos de aveia, o progresso genético dos genótipos com menor resistência às manchas foliares, ou seja, com maior severidade da doença, dentro de cada período de obtenção de linhagens, mostrou-se descontínuo, com aumento abrupto de severidade máxima no ano de 1999. Segundo a estimativa realizada, antes de 1999 a média de severidade máxima era de cerca de 8%, para os genótipos com menor resistência do programa, e depois de 1999 a média aumentou para cerca de 17%, mantendo-se constante em cada fase (Figura 16-C).

Os genótipos mais resistentes às manchas foliares, dentro de cada período de obtenção de linhagens, tiveram uma redução de severidade máxima de 0,872% ao ano, entre 1978 e 1982, quando o ponto de quebra da regressão linear é observado. Sendo que a severidade máxima dos genótipos mais resistentes foi estimada em torno de 5% no ano de 1978 e atingiu cerca de 1% no ano de 1982, permanecendo constante até 2008 (Figura 16-C).

As cultivares de aveia Coronado e Suregrain apresentaram média de severidade máxima de mancha foliar em torno de 8%, valores próximos ao observado para os genótipos de aveia UFRGS mais suscetíveis às manchas foliares no início do programa de melhoramento. Por outro lado, as cultivares de trigo apresentaram baixa severidade de

manchas foliares, próximo dos genótipos mais resistentes do germoplasma da UFRGS, sendo que Guamirim, Safira mostraram médias de 2% de severidade e Quartzito teve média de 0,7%. Da maneira similar, a cultivar de cevada BRS Cauê teve média de 1,3% e ficou próxima dos menores valores observados em aveia (Figura 16-C).

4.2.3 Progresso genético do rendimento de grãos sem fungicida

Observando o rendimento de grãos sem fungicida na Figura 17-A, pode-se perceber que, a massa de mil grãos sem fungicida (Figura 17-B) e o peso do hectolitro sem fungicida (Figura 17-C) tiveram desempenho semelhante em função do período de três anos de desenvolvimento das linhagens. Estas linhas de tendência foram praticamente inversas ao comportamento das regressões observadas na variável ASCPFF (Figura 16-B). Mostrando sua relação negativa com o rendimento de grãos sem fungicida, massa de mil grãos sem fungicida (MMGSF) e peso do hectolitro sem fungicida (PHSF).

Para a variável rendimento de grãos sem fungicida, quando analisados todos os genótipos, uma bi-segmentação da reta foi formada e sem ponto de quebra brusco. Nos primeiros anos de seleção ocorreu uma redução no rendimento de grãos sem fungicida, ocorrendo entre os anos de 1978 a 1990, com uma taxa de $63,8 \text{ kg.ha}^{-1}$ ao ano. Analisando a regressão, os valores estimados de rendimento de grãos sem fungicida no início do programa foram de 1830 kg.ha^{-1} no ano de 1978 e reduziram para 1045 kg.ha^{-1} no ano de 1990 (Figura 17-A). Após este período de queda, ocorreu um progresso genético na ordem de 167 kg.ha^{-1} no rendimento de grãos sem fungicida, durante os anos e 1990 a 2008. Observando a regressão, para este período, o valor estimado do rendimento de grãos em 1990 foi de 1045 kg.ha^{-1} atingindo em 2008, valor estimado de 3990 kg.ha^{-1} (Figura 17-A).

A fim de entender melhor as causas da redução no rendimento de grãos sem fungicida durante os anos de 1978 a 1990, estudos de associação entre rendimento de grãos

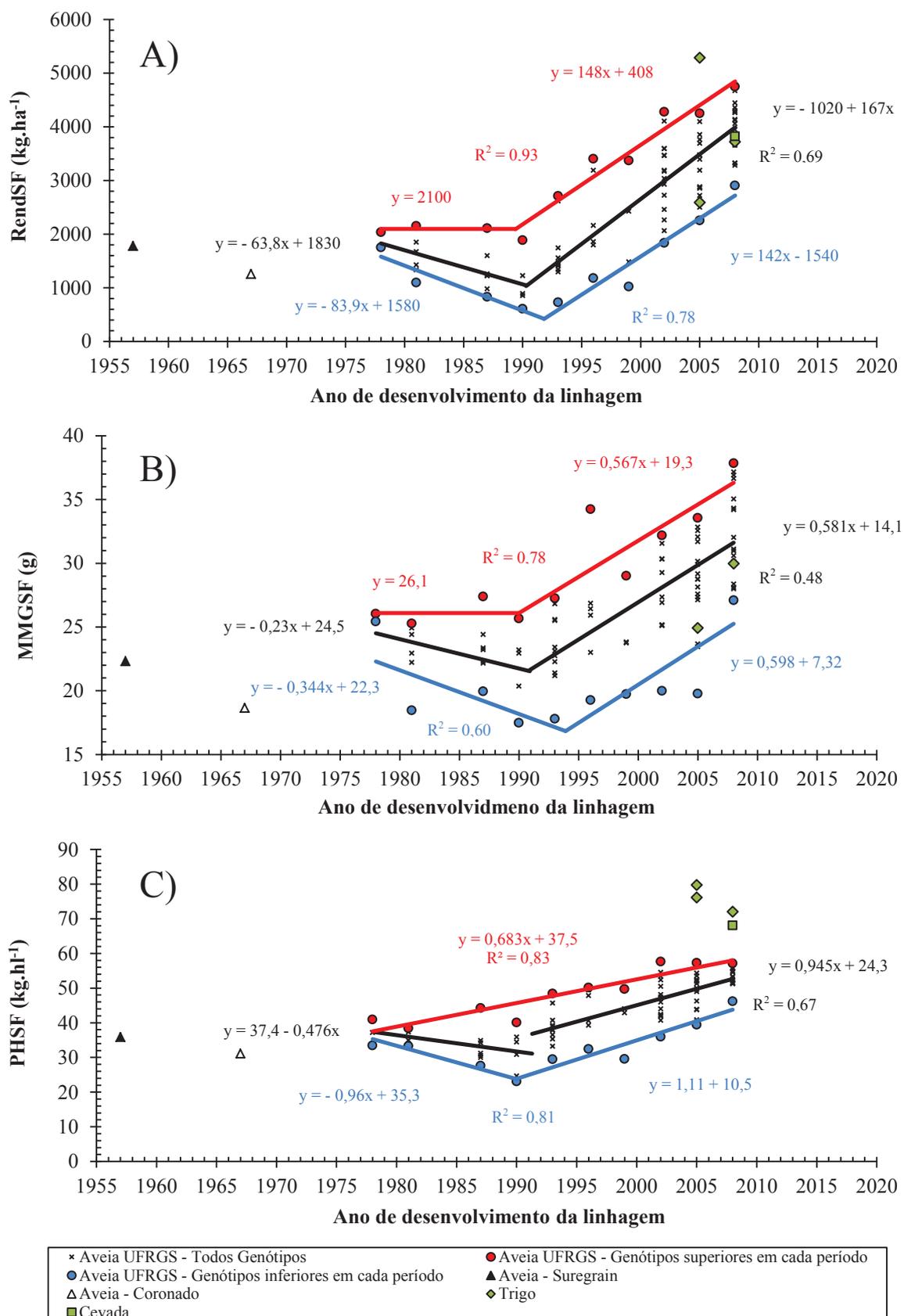


FIGURA 17. Progresso genético: A) rendimento de grãos sem fungicida – RendSF; B) massa de mil grãos sem fungicida – MMGSF; C) peso do hectolitro sem fungicida – PHSF. Em genótipos do Programa de Melhoramento de Aveia da UFRGS. Eldorado do Sul, RS, 2010.

com (RendCF) e sem fungicida (RendSF) foram conduzidos, onde foram divididos os genótipos desenvolvidos a entre os anos de 1978 a 1990 e os genótipos desenvolvidos entre 1993 a 2008 (Figura 18). A associação entre rendimento de grãos com e sem fungicida é

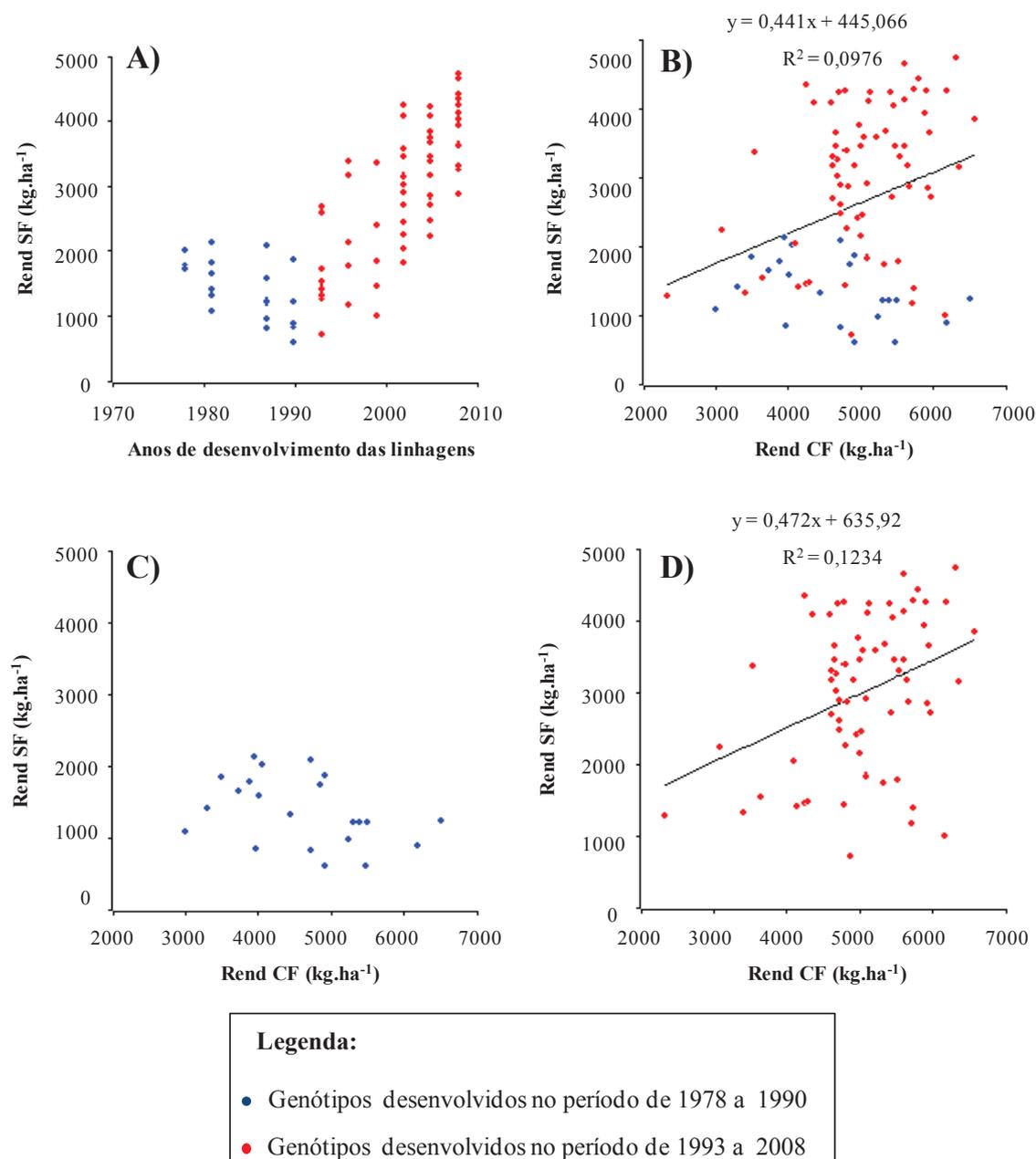


FIGURA 18. Associação entre: A) ano de desenvolvimento das linhagens e rendimento de grãos sem fungicida – Rend SF; B; C; D) rendimento de grãos com fungicida – Rend CF e rendimento de grãos sem fungicida – Rend SF. Eldorado do Sul, RS, 2010.

linear e positiva quando observados todos os genótipos avaliados e pertencentes a UFRGS (Figura 18-B). Porém, os genótipos desenvolvidos entre os anos de 1978 a 1990 (Figura 18-A) não apresentaram relação entre estas duas variáveis (Figura 18-C). Por outro lado, os genótipos desenvolvidos entre os anos de 1993 a 2008 apresentaram relação positiva entre rendimento de grãos com fungicida e rendimento de grãos sem fungicida (Figura 18-D).

Também, quando foram utilizados os valores superiores, o rendimento de grãos sem fungicida teve uma bi-segmentação da reta contínua, em função dos anos de desenvolvimento das linhagens. Sendo que no início do programa o rendimento de grãos sem fungicida se manteve constante de 1978 a 1989, com média estimada de 2100 kg.ha^{-1} para este período. Após esta estabilidade no rendimento de grãos sem fungicida, ocorreu um progresso genético de 148 kg.ha^{-1} a cada ano de seleção. Analisando a regressão para este período, no ano de 1989 o valor estimado para o rendimento de grãos sem fungicida foi de 2100 kg.ha^{-1} e atingiu um valor de 4848 kg.ha^{-1} no ano de 2008 (Figura 17-A).

Da mesma maneira, os valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens tiveram uma segmentação da reta, para o rendimento de grãos sem fungicida em função dos anos de desenvolvimento das linhagens. Nos primeiros anos de melhoramento ocorreu uma redução no rendimento de grãos sem fungicida na ordem de $83,9 \text{ kg.ha}^{-1}$ ao ano. Observando a regressão, o rendimento de grãos sem fungicida inicial estimado foi de 1580 kg.ha^{-1} em 1978 e atingiu um rendimento de grãos estimado de 422 kg.ha^{-1} no ano de 1992 (Figura 17-A). Após este período de queda, ocorreu um progresso genético do rendimento de grãos sem fungicida de 142 kg.ha^{-1} ao ano, portanto o valor estimado para esta variável foi de 422 kg.ha^{-1} no ano de 1992 e atingiu um valor estimado do rendimento de grãos sem fungicida de 2720 kg.ha^{-1} em 2008 (Figura 17-A).

A cultivar de aveia Suregrain obteve média no rendimento de grãos sem fungicida de $1778,11 \text{ kg.ha}^{-1}$, enquanto que a cultivar de aveia Coronado apresentou média de $1258,78 \text{ kg.ha}^{-1}$. Considerando que estes dois genótipos foram lançados como cultivares

antes do desenvolvimento das linhagens de aveia da UFRGS, pode-se observar que eles ficaram próximos do início das três regressões observadas para o germoplasma da instituição (Figura 17-A).

As cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo obtiveram médias do rendimento de grãos sem fungicida de 5285, 2590, 3721 kg.ha⁻¹, respectivamente. Enquanto que a cultivar de cevada BRS Cauê apresentou média de 3822 kg.ha⁻¹ (Figura 17-A). Os valores observados de rendimento de grãos sem fungicida, para as cultivares de trigo Safira e Quartzo e a cultivar de cevada Cauê, foram intermediários dos valores estimados para todos os genótipos avaliados pertencentes a UFRGS e a regressão em que foram utilizados os valores inferiores do período de três anos de desenvolvimento das linhagens. Por outro lado a cultivar de trigo Guamirim obteve média observada acima dos valores estimados da regressão utilizando os maiores rendimentos de grãos sem fungicida (Figura 17-A).

4.2.4 Progresso genético da massa de mil grãos sem fungicida

A massa de mil grãos sem fungicida (MMGSF), nas três regressões analisadas, apresentou pontos de quebra próximos do início dos anos 90 (Figura 17-A e Figura 17-B). Para a análise utilizando todos os genótipos de aveia do experimento e pertencentes ao programa da UFRGS, a massa de mil grãos teve uma redução nos primeiros anos de melhoramento, durante o período de 1978 a 1991. Este decréscimo foi de 0,23 gramas ao ano e o valor estimado da massa de mil grãos sem fungicida para o ano de 1978 foi de 24,5 gramas, reduzindo para 21,53 em 1991 (Figura 17-B). Após este período de queda, a MMGSF aumentou até o ano de 2008, promovendo um progresso genético da massa de mil grãos sem fungicida de 0,581 gramas ao ano. Desta forma, o valor estimado da MMGSF foi de 31,62 gramas em 2008 (Figura 17-B).

Para os genótipos que apresentaram valores superiores da MMGSF em cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, uma estabilização durante os

primeiros anos de melhoramento genético foi observada, com média de 26,1 gramas no ano de 1978 a 1990 (Figura 17-B). Após este período, ocorreu um aumento da massa de mil grãos sem fungicida de 0,567 gramas ao ano. No ano de 1990, a MMGSF foi de 26,1 gramas e atingiu valor estimado de 36,31 gramas em 2008 (Figura 17-B).

Para os valores inferiores de cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, a MMGSF teve uma redução na ordem de 0,344 gramas ao ano, durante os anos de 1978 a 1994. O valor estimado da MMGSF, para o início do programa de melhoramento, foi de 22,3 gramas em 1978 e reduziu para 16,83 no ano de 1994 (Figura 17-B). Após este período de queda na MMGSF, ocorreu um aumento desta variável até o ano de 2008, com um progresso genético da massa de mil grãos sem fungicida de 0,598 gramas ao ano. A regressão neste período permitiu verificar que a MMGSF em 1994 foi de 16,83 gramas aumentando para 25,26 gramas em 2008 (Figura 17-B).

As cultivares Suregrain e Coronado tiveram médias observadas da massa de mil grãos sem fungicida de 22,3 e 18,64 gramas, respectivamente. Estas médias ficaram próximas dos valores que foram observados para a MMGSF inferiores (Figura 17-B). Enquanto que as cultivares de trigo Safira e Quartzo apresentaram médias da MMGSF de 24,91 e 29,97 gramas, respectivamente. Estes valores foram intermediários a regressão com todos os genótipos da UFGRS avaliados e a regressão com os valores inferiores da MMGSF. Infelizmente, as cultivares de trigo Guamirim e de cevada Cauê tiveram seus dados da MMGSF perdidos, devido ao ataque de carunchos.

4.2.5 Progresso genético do peso do hectolitro sem fungicida

O peso do hectolitro sem fungicida (PHSF) teve regressões com pontos de quebra próximos dos anos 90, como observado para a massa de mil grãos (Figura 17-B) e o rendimento de grãos sem fungicida (Figura 17-A). Exceto, quando utilizados os valores superiores de PHSF, que apresentou uma regressão linear (Figura 17-C).

Quando utilizados todos os genótipos pertencentes a UFRGS que foram avaliados neste experimento, o peso do hectolitro teve uma redução, em função dos anos de desenvolvimento das linhagens, nos primeiros anos do programa de melhoramento. Esta redução foi de 0,476 kg.h^l⁻¹ a cada ano, partindo com um valor estimado de 37,4 kg.h^l⁻¹ em 1978 e atingindo 31,54 kg.h^l⁻¹ no ano de 1991. Neste mesmo ano de 1991, considerado o ponto de quebra da regressão, ocorreu um aumento abrupto de 31,54 kg.h^l⁻¹ para 32,92 kg.h^l⁻¹, representado por uma regressão descontínua nesta data (Figura 17-C). Após este período, ocorreu um aumento do PHSF, correspondendo a um progresso genético de 0,945 kg.h^l⁻¹ até o ano de 2008. Através da regressão, foi possível verificar que ocorreu um aumento valor estimado de 32,92 kg.h^l⁻¹ em 1991 para 52,65 kg.h^l⁻¹ no ano de 2008 (Figura 17-C).

Nos valores superiores de PHSF ocorreu um progresso genético contínuo de 0,683 kg.h^l⁻¹ ao ano, durante os 30 anos de melhoramento genético, iniciando o programa com valor estimado do PHSF de 37,5 kg.h^l⁻¹ em 1978 e atingindo 57,99 kg.h^l⁻¹ em 2008 (Figura 17-C). Enquanto que, para os valores inferiores de PHSF, em cada período de três anos de desenvolvimento das linhagens, ocorreu uma redução nos primeiros anos de seleção, durante os anos de 1978 a 1990 (Figura 17-C). Este declínio no PHSF foi de 0,96 kg.h^l⁻¹ a cada ano de seleção, iniciando o programa de melhoramento com valor estimado de 35,3 kg.h^l⁻¹ em 1978 e reduzindo para 23,82 kg.h^l⁻¹ no ano de 1990. Após este período de queda, o peso do hectolitro sem fungicida teve um incremento de 1,11 kg.h^l⁻¹ a cada ano de seleção, partindo do valor estimado de 23,82 kg.h^l⁻¹ em 1990 e atingindo 43,8 kg.h^l⁻¹ no ano 2008 (Figura 17-C).

As cultivares Suregrain e Coronado obtiveram médias de PHSF em torno de 36 e 31 kg.h^l⁻¹, respectivamente (Figura 17-C). Como estas cultivares foram lançadas antes do início do programa de melhoramento da UFRGS, pode-se observar que suas médias ficaram próximas do início das três regressões analisadas pelo programa (Figura 17-C).

Enquanto que, as cultivares de trigo Guamirim, Safira e Quartzo apresentaram médias de PHSF de 79,73, 76,19 e 72,06 kg.hl⁻¹, respectivamente. E a cultivar de cevada BRS Cauê teve média do PHSF de 68,07 kg.hl⁻¹. Estes valores observados, tanto das cultivares de trigo como da cevada, ficaram acima de todos os valores de aveia avaliados neste experimento (Figura 17-C).

4.3 Associação entre os caracteres agronômicos avaliados

Após apresentar o progresso genético separadamente para cada variável avaliada, nos experimentos conduzidos durante os anos de 2010 e 2011, ficou evidente que algumas características agronômicas apresentaram desempenho semelhante ao longo dos 30 anos de seleção exercidas no programa de melhoramento da UFRGS. Esta observação é importante, pois um programa de melhoramento não busca somente aumentar ou reduzir uma única característica agronômica de cada vez. Na grande maioria dos casos, os programas de melhoramento buscam a obtenção de um genótipo que possua o maior número de características desejáveis possíveis. E como existem associações entre diferentes características, a seleção para algumas variáveis pode promover uma mudança em outras características.

Procurando entender como as características avaliadas evoluíram dentro do germoplasma da UFRGS durante os 30 anos de melhoramento e suas associações em função da seleção empregada, foram realizados estudos de associações entre diferentes características avaliadas neste experimento, durante os anos de 2010 e 2011.

Como o experimento de 2010 foi o único que teve características avaliadas com o tratamento sem fungicida, e como os anos de 2010 e 2011 com fungicida, apresentaram uma interação significativa entre genótipo x ano, as análises foram separadas em três tópicos, sendo estes: associações entre características com fungicida em 2010, sem fungicida em 2010 e com fungicida em 2011.

4.3.1 Associação entre caracteres agronômicos com aplicação de fungicida no ano de 2010

Um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético de espécies agrícolas é o desenvolvimento de genótipos que possuam um maior rendimento de grãos. Devido a sua importância no melhoramento de plantas, esta variável foi separada das demais associações. Desta forma, serão apresentadas, primeiramente, associações entre o rendimento de grãos e os outros caracteres avaliados, e em seguida, as associações entre as demais características agronômicas, excluindo o rendimento de grãos.

4.3.1.1 Associação do rendimento de grãos e os demais caracteres avaliados, com aplicação de fungicida

Para a associação entre o rendimento de grãos e demais características avaliadas, foram realizados dois tipos de análise de regressão. A primeira que será descrita é a análise separada do rendimento de grãos em função de cada uma das demais características avaliada. Como foram avaliadas 11 características com fungicida no ano de 2010, serão observadas 10 regressões, pois o rendimento de grãos será a variável dependente em todas as regressões. Em seguida será apresentada a análise de regressão linear múltipla do rendimento de grãos, ou seja, o rendimento de grãos continuará sendo a variável dependente, enquanto que as demais variáveis, agora juntas na mesma análise, farão parte da variável explicativa.

No experimento de 2010, com fungicida, o rendimento de grãos mostrou-se associado com quase todos os caracteres agronômicos avaliados. A associação foi quadrática com DEF e estatura, linear e positiva com biomassa aparente, índice de colheita, número de panículas por área, massa de mil grãos e peso do hectolitro. A única associação linear e negativa do rendimento de grãos foi com o acamamento. Não foi detectada

associação do rendimento de grãos com os caracteres número de grãos por panícula e peso de grãos da panícula (Figura 19).

O rendimento de grãos foi fracamente associado ($R^2 = 0,08$) ao número de dias da emergência ao florescimento (DEF) de forma quadrática (Figura 19-A). A medida que o número de dias da emergência ao florescimento aumenta ocorre um incremento no rendimento de grãos até aproximadamente 87 dias. De acordo com a estimativa da regressão quadrática, um aumento nos DEF de 78 para 79 dias promove um aumento estimado do rendimento de grãos em cerca de $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, porém esse aumento é cada vez menor à medida que DEF chega próximo a 87 dias, quando o rendimento de grãos estimado é máximo, cerca de $5100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Após esse ponto há redução quadrática do rendimento de grãos com o aumento do ciclo, sendo que o aumento do ciclo de 99 para 100 dias promove uma redução no rendimento de grãos estimada em cerca de $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. O rendimento de grãos máximo estimado pela regressão é obtido através da fórmula $-b/2c$.

O rendimento de grãos também foi associado de forma quadrática com a estatura de plantas (Figura 19-B), porém não tão fracamente ($R^2 = 0,19$), quanto à associação com o caráter DEF. De acordo com a regressão entre estes dois caracteres, o rendimento de grãos máximo de $5250 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ é atingido quando a estatura de plantas estiver em torno de 105 cm. Antes deste ponto há aumento do rendimento de grãos, que é cada vez menor quanto mais próximo de 105 cm de estatura e cada vez maior a perda de rendimento de grãos a medida que a estatura ultrapassa os 105 cm. Por exemplo, quando a estatura aumenta de 119 para 120 cm é estimada uma redução no rendimento de cerca de $90 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

O rendimento de grãos responde linear e positivamente ao aumento da biomassa aparente (Figura 19-C), embora essa associação seja fraca ($R^2 = 0,08$). A cada aumento de $1 \text{ g}/\text{m}^2$ na biomassa aparente ocorre um aumento estimado de cerca de $2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no rendimento de grãos. Por outro lado, o caráter acamamento tem efeito linear e negativo no rendimento de grãos (Figura 19-D), sendo que a cada 1% de acamamento ocorre uma

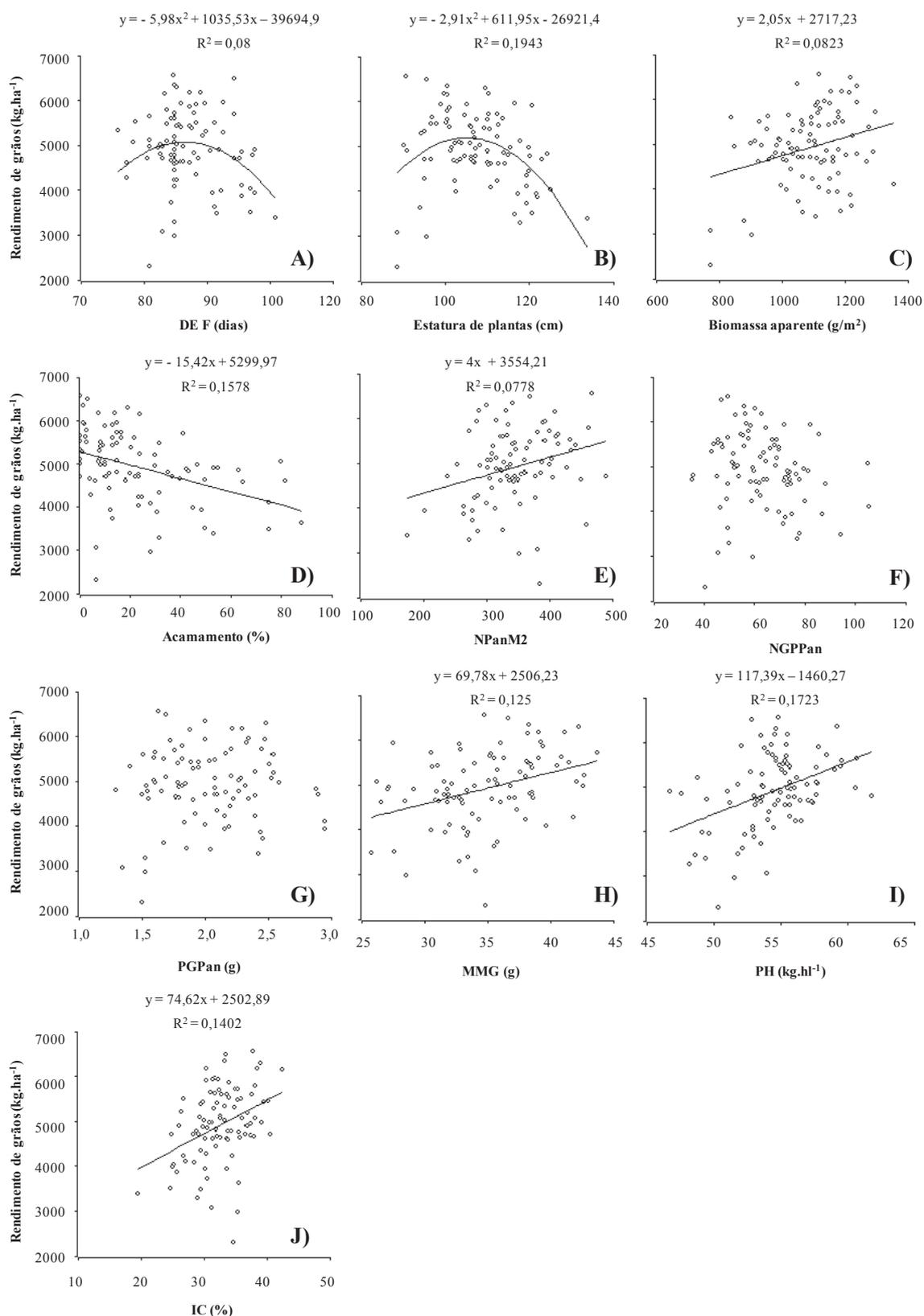


FIGURA 19. Associações do rendimento de grãos com fungicida (variável dependente) com: A) dias da emergência ao florescimento – DEF; B) estatura de plantas; C) biomassa aparente; D) acamamento; E) número de panículas por metro quadrado - NPanM2; F) número de grãos por panícula – NGPPan; G) peso de grãos da panícula – PGPan; H) massa de mil grãos – MMG; I) peso do hectolitro – PH; J) índice de colheita – IC. Eldorado do Sul, RS, 2010.

queda de aproximadamente 15 kg.ha^{-1} .

Para o número de panículas por metro quadrado a associação foi linear e positiva (Figura 19-E), sendo que o incremento de uma panícula por metro quadrado, promove um acréscimo estimado de 4 kg.ha^{-1} no rendimento de grãos. Também foi linear e positiva a relação do rendimento de grãos com a massa de mil grãos (Figura 19-H) e o peso do hectolitro (Figura 19-I), sendo que a cada aumento de 1 g na MMG há um aumento estimado de cerca de 70 kg.ha^{-1} , enquanto que a cada aumento de 1 kg no PH há um aumento estimado de aproximadamente 117 kg.ha^{-1} no rendimento de grãos. O mesmo comportamento foi observado para a associação entre rendimento de grãos e o índice de colheita (Figura 19-J), assim a cada aumento de 1% no IC, no rendimento de grãos é esperado um acréscimo de aproximadamente 75 kg.ha^{-1} .

Uma vez que foi verificada a associação do rendimento de grãos com quase todos os caracteres agronômicos avaliados, de forma isolada, foi realizada a análise de regressão linear múltipla entre o rendimento de grãos, como variável dependente, e os demais caracteres agronômicos avaliados, considerados as variáveis independentes. Devido a relação quadrática entre rendimento de grãos com DEF e estatura, criaram-se as variáveis DEF e estatura ao quadrado, a fim de permitir a linearização da regressão múltipla. Somente foram mantidas na regressão linear múltipla as variáveis independentes cujos coeficientes de regressão foram significantes a 5% de probabilidade, de acordo com o teste *T* de Student.

Foram associados com o rendimento de grãos os caracteres: acamamento, biomassa aparente, dias de emergência ao florescimento (ao quadrado), estatura, estatura (ao quadrado), índice de colheita, número de grãos por panícula, peso de grãos da panícula, peso do hectolitro e peso de mil grãos (Tabela 5). O rendimento de grãos foi negativamente associado com o acamamento, estatura de plantas ao quadrado e peso de grãos da panícula,

enquanto foi positivamente associado com os demais caracteres (Tabela 5). Associação positiva inclusive com o número de DEF elevado ao quadrado, que havia mostrado associação negativa na análise de regressão envolvendo apenas o rendimento de grãos e o número de DEF (Figura 19).

TABELA 5. ANOVA e teste *T* de Student para a regressão linear múltipla do rendimento de grãos com fungicida através dos valores estimados e padronizados. Eldorado do Sul, RS, 2010.

ANOVA				
Fonte de Variação	GL	QM	Valor-F	Valor de Probabilidade
Regressão	10	3791591	12,55	>0,0001
Erro	81	302209		
Teste <i>T</i> de Student				
Variável estimada*	Valor estimado	Valor padronizado	Valor-t	Valor de Probabilidade
Constante	-25783,6	0,00134062	-3,774	0,0003
Acam	-16,82	-0,433347	-4,552	>0,0001
Biomass	2,58	0,364534	3,74	0,0003
DEF ²	0,26	0,285422	2,659	0,0094
Estatura	346,94	3,92057	2,657	0,0095
Estatura ²	-1,66	-4,05956	-2,752	0,0073
IC	62,99	0,32071	3,411	0,001
NGPPan	32,32	0,545309	2,115	0,0375
PGPan	-1131,13	-0,516535	-2,292	0,0245
PH	56,6725	0,200384	2,208	0,0301
MMG	98,5182	0,499282	2,733	0,0077
Coefficiente de determinação	0,607677			

*Acam = Acamamento (%); Biomass = Biomassa aparente (g/m²); DEF = Dias de emergência ao florescimento (dias); IC = Índice de colheita (%); NGPPan = Número de grãos por panícula; PGPan = Peso de grãos da panícula; PH = Peso do hectolitro (kg.hl⁻¹); MMG = Massa de mil grãos.

Na Figura 20 é apresentada a regressão linear múltipla entre o rendimento de grãos (variável dependente) e os caracteres que mostraram estar associados com o rendimento de grãos, na análise do experimento realizado em 2010 com fungicida. O coeficiente de determinação desta regressão múltipla foi igual a 0,61, indicando que aproximadamente 40% da variação observada no rendimento de grãos com fungicida, no ano de 2010, não pode ser explicada pela variação dos demais caracteres avaliados no experimento.

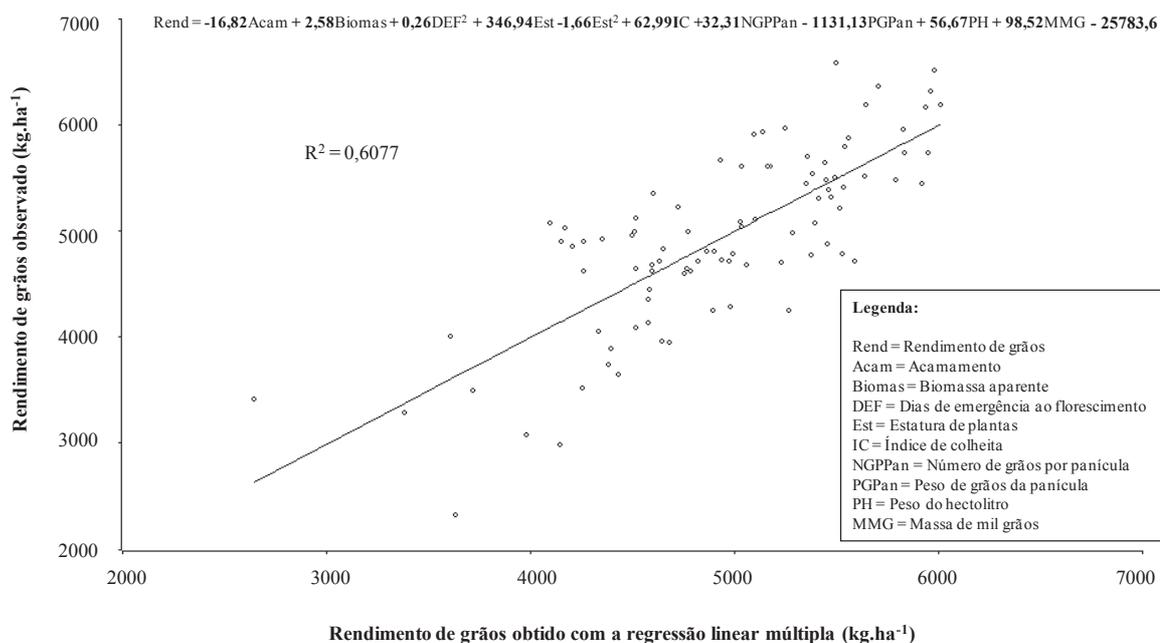


FIGURA 20. Associação entre valores preditos pelo modelo linear múltiplo e o rendimento de grãos com fungicida observado. Eldorado do Sul, RS, 2010.

Devido às variáveis possuírem diferentes unidades de medida, ficou difícil a compreensão de qual variável está influenciando em maior grau o rendimento de grãos. A fim de entender a contribuição relativa de cada caráter agrônomo para a formação do rendimento de grãos, foi realizada a análise de regressão múltipla com os dados padronizados, envolvendo o rendimento de grãos, como variável dependente, e as variáveis já detectadas como associadas ao rendimento de grãos. Essa análise de regressão, com os dados padronizados é apresentada na Tabela 5, sendo verificado que a variável que mais influenciou o rendimento de grãos neste ano, foi a estatura de plantas, que obteve maior valor estimado, tanto na estatura linear quanto na estatura ao quadrado. A segunda variável que mais influenciou o rendimento no ano de 2010 foi o número de grãos por panícula, sendo que o valor estimado foi de aproximadamente 0,54, indicando que esta característica agrônoma promove uma aumento de 0,54 desvios padrões no rendimento com o aumento de 1 desvio padrão do número de grãos por panícula (Tabela 5).

As outras características que tiveram valores estimados significativos foram citadas,

em ordem da maior influência para a menor influência, no rendimento de grão, sendo estas: peso de grãos da panícula, massa de mil grãos, acamamento, biomassa aparente, índice de colheita, dias de emergência ao florescimento e peso do hectolitro (Tabela 5).

4.3.1.2 Associação entre os caracteres agronômicos com aplicação de fungicida, exceto rendimento de grãos

Para melhor entender as alterações que ocorreram no germoplasma de aveia da UFRGS ao longo do tempo, também foram analisadas as associações entre diferentes características agronômicas avaliadas neste trabalho, excetuando o rendimento de grãos, as quais são apresentadas na Figura 21, para os resultados obtidos no ano de 2010, com a aplicação de fungicida.

O número de dias da emergência ao florescimento mostrou estar fracamente associado com os caracteres biomassa aparente e estatura de plantas. A associação entre DEF e IC foi a de maior magnitude envolvendo o caráter DEF ($R^2 = 0,36$), sendo ela quadrática, onde o IC máximo estimado é alcançado quando o número de DEF é de 83 dias (Figura 21-F). A biomassa aparente mostrou associada linear e positivamente ao caráter DEF, com coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,21 (Figura 21-A). A análise indica que a cada dia de atraso no ciclo da emergência ao florescimento há um acréscimo médio estimado de 10,35 g/m² na biomassa aparente. Também, a variável DEF afeta linear e positivamente a estatura, (R^2 igual a 0,12), sendo que a cada um dia a mais de ciclo há um aumento médio estimado de 0,63 cm na estatura de plantas (Figura 21-B). O índice de colheita revelou independência da biomassa aparente (dados não ilustrados na Figura 21).

A estatura de plantas também mostrou associação linear e positiva com o acamamento e a biomassa aparente, ambos com coeficiente de determinação em torno de 0,10. O aumento de 1 cm na estatura resultou num aumento médio estimado de 0,72% no acamamento (Figura 21-C) e de 4 g/m² na biomassa aparente (Figura 21-E). Inversamente,

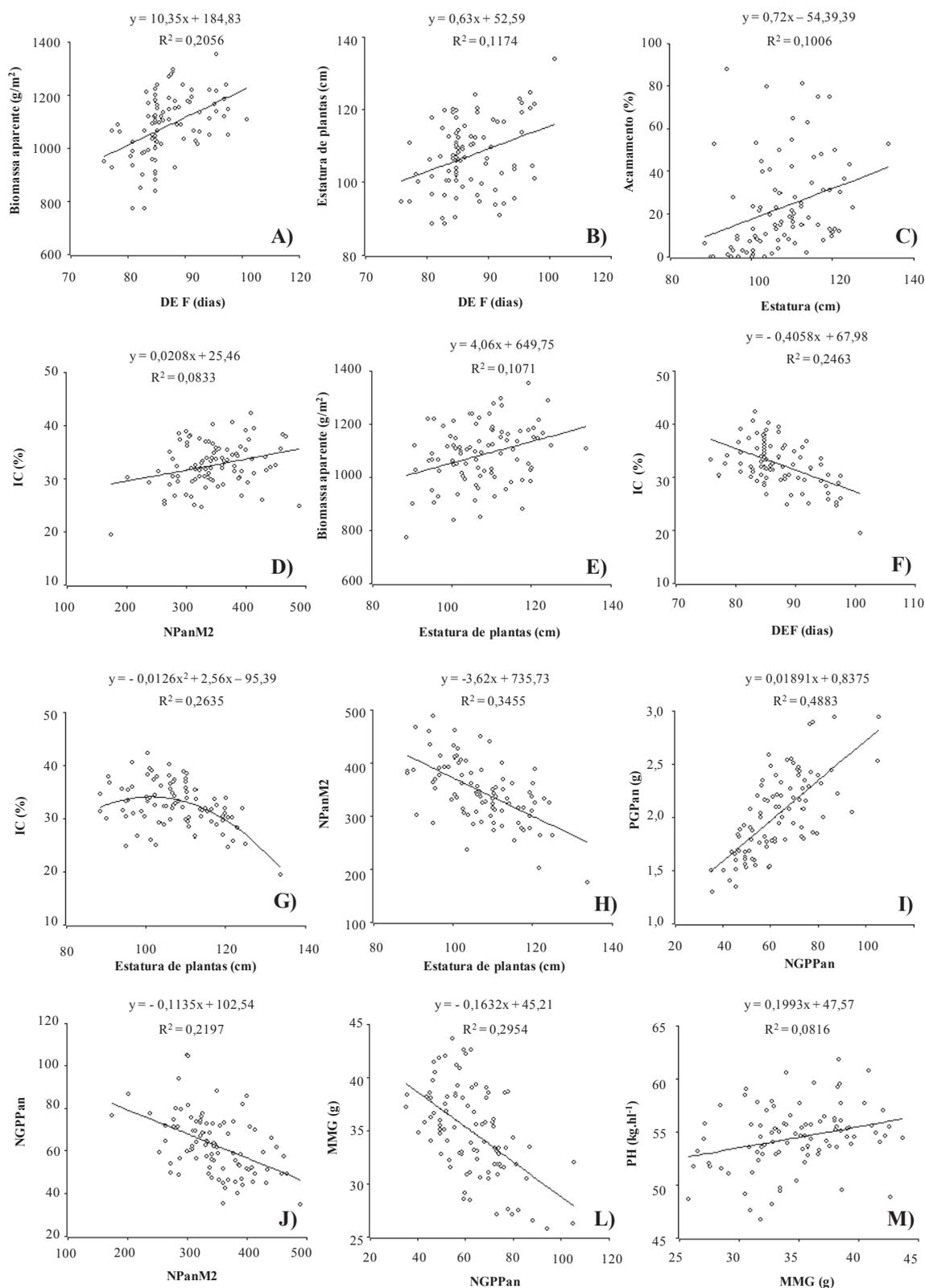
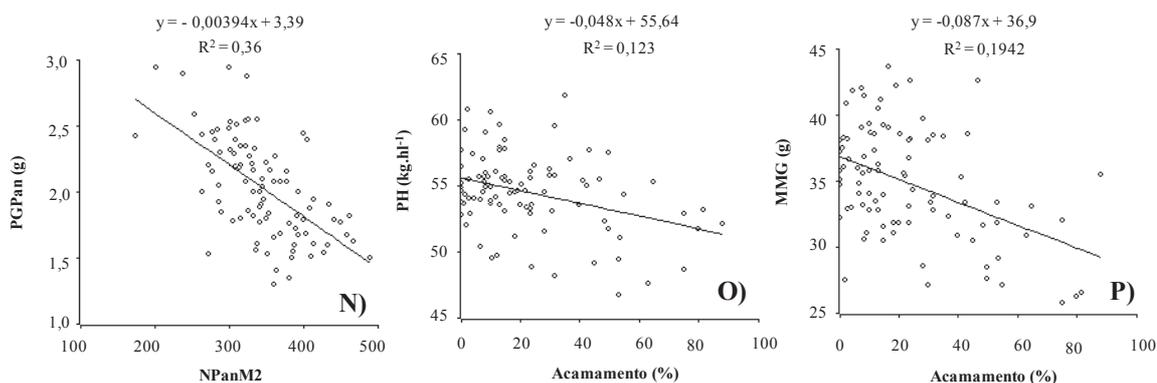


FIGURA 21. Associação entre diferentes características agrônômicas com fungicida (dias de emergência ao florescimento – DEF, número de panículas por metro quadrado – NPanM2, número de grãos por panícula – NGPPan, peso de grãos da panícula – PGPan, massa de mil grãos – MMG, peso do hectolitro – PH e índice de colheita – IC). Eldorado do Sul, RS, 2010.



continuação FIGURA 21. Associação entre diferentes características agrônômicas com fungicida (dias de emergência ao florescimento – DEF, número de panículas por metro quadrado – NPanM2, número de grãos por panícula – NGPPan, peso de grãos da panícula – PGPan, massa de mil grãos – MMG, peso do hectolitro – PH e índice de colheita – IC). Eldorado do Sul, RS, 2010.

o aumento na estatura de plantas teve associação linear negativa com o número de panículas por metro quadrado ($R^2 = 0,34$), sendo que pela análise de regressão linear estima-se que a cada 1 cm de aumento na estatura houve uma redução de 3,62 panículas por m² (Figura 21-H). A associação entre estatura de plantas e índice de colheita foi quadrática, com maior parte dos dados no lado de associação negativa entre os caracteres (Figura 21-G), similar à associação encontrada entre DEF e IC (Figura 21-F), sendo que o índice de colheita máximo estimado pela regressão foi de aproximadamente 34%, quando a estatura de plantas atingiu 101 cm.

No ano de 2010, com aplicação de fungicida, o peso de grãos da panícula dependeu, linear e positivamente ($R^2 = 0,49$), do número de grãos por panícula (Figura 21-I). Esse último caráter, por sua vez, teve associação linear negativa ($R^2 = 0,22$) com o número de panículas por m² (Figura 21-J), sendo que a cada 10 panículas a mais no metro quadrado houve uma redução de 1,135 grãos por panícula. O mesmo tipo de associação, linear e negativa, foi detectada entre o número de grãos por panícula e a massa de mil grãos (Figura 21-L), sendo que a cada incremento de 10 grãos na panícula ocorreu uma redução de 1,63 gramas na MMG. O peso do hectolitro mostrou associação fraca com a

massa de mil grãos ($R^2 = 0,06$), embora essa associação tenha sido linear e positiva (Figura 21-M), sendo que a cada aumento de 10 gramas na MMG ocorre um acréscimo de aproximadamente $1,55 \text{ kg.hl}^{-1}$ no PH.

No ano de 2010, o número de panículas por metro quadrado teve uma associação moderada ($R^2=0,36$) com o peso de grãos da panícula, onde o aumento de 100 panículas por metro quadrado reduziu o peso de grãos em 0,394 gramas (Figura 21-N). Por outro lado, o número de panículas por metro quadrado teve associação fraca ($R^2=0,083$), linear e positiva, com o índice de colheita, sendo que o aumento de 100 panículas por metro quadrado incrementou 2% no índice de colheita (Figura 21-D). O acamamento teve associação negativa com o peso do hectolitro, de forma fraca ($R^2=0,123$), sendo que o aumento de 10% no acamamento reduziu o PH em $0,48 \text{ kg.hl}^{-1}$ (Figura 21-O). Além disso, o acamamento reduziu a massa de mil grãos, com associação fraca ($R^2=0,19$), para cada aumento de 10% no acamamento a redução na MMG foi 0,87 gramas (Figura 21-P).

Como a biomassa aparente não teve efeito direto no índice de colheita, foi utilizada outra maneira para associar estas características. As análises realizadas neste trabalho indicaram que há comportamento diferenciado dos genótipos de aveia quanto a associação da biomassa aparente com o índice de colheita, sendo que para alguns genótipos o índice de colheita responde positivamente ao aumento da biomassa aparente, enquanto para outros responde negativamente e, ainda, há genótipos em que há independência entre biomassa aparente e índice de colheita. Desta forma, para cada genótipo de aveia da UFRGS foi realizada uma análise individual da interação entre a biomassa aparente e o índice de colheita, com base nas três repetições do ano de 2010.

Estes genótipos foram classificados dependendo da relação entre biomassa aparente e o índice de colheita, em: positivamente associados, negativamente associados e não associados. Desta forma, a Figura 22-A indica que em aproximadamente 63% dos

genótipos, o índice de colheita respondeu positivamente ao aumento da biomassa aparente, enquanto que a relação negativa só foi demonstrada em cerca de 27% dos genótipos.

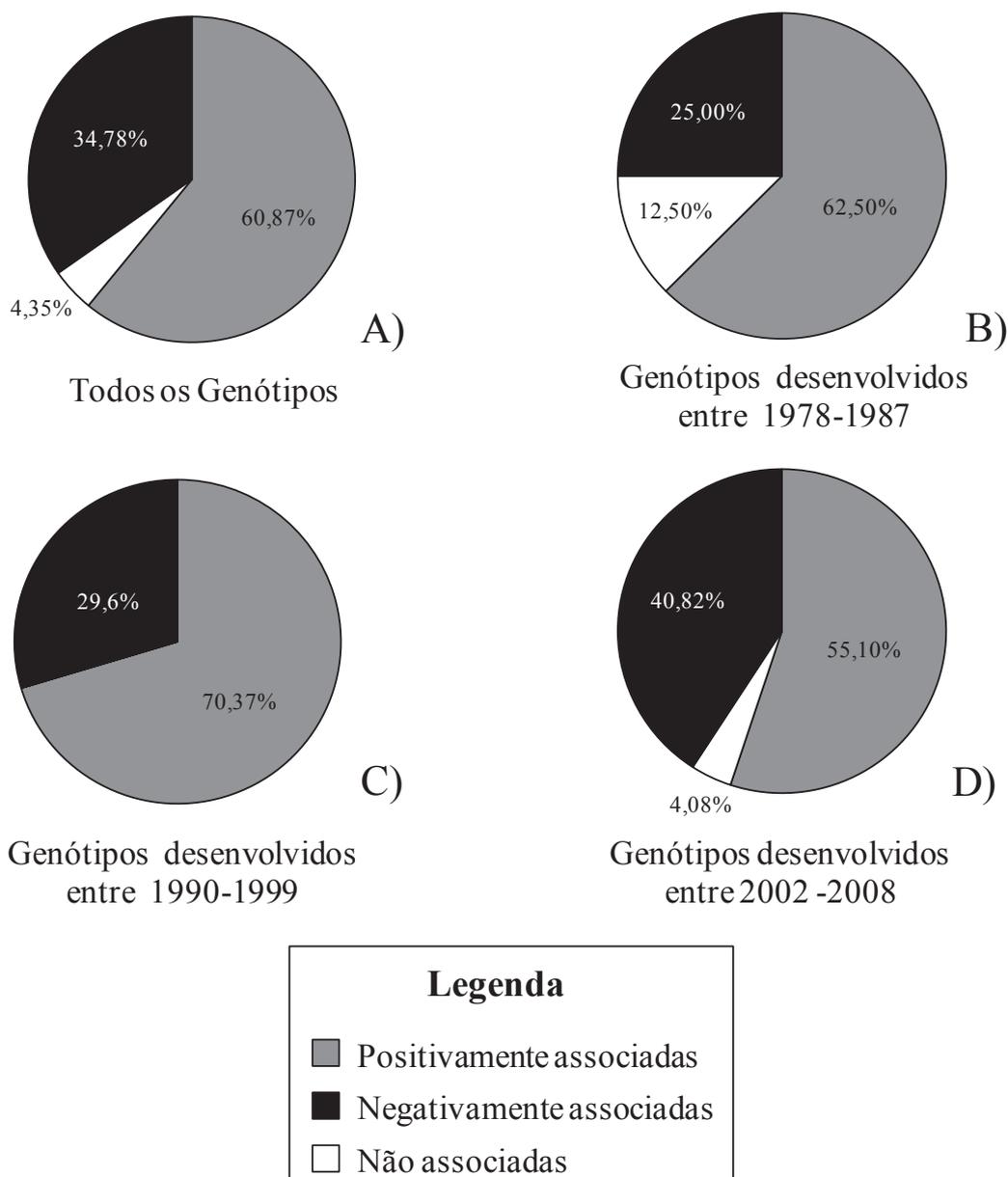


FIGURA 22. Frequência da associação entre biomassa aparente e índice de colheita em: A) todos genótipos; B) genótipos desenvolvidos durante os anos de 1978 a 1987; C) genótipos desenvolvidos durante os anos de 1990 a 1999; D) genótipos desenvolvidos durante os anos de 2002 a 2008. Eldorado do Sul, RS, 2010.

Somente em torno de 10% dos genótipos não foi verificada associação entre biomassa aparente e índice de colheita (Figura 22-A).

Além desta análise, foi realizada uma divisão de todos os genótipos observados na Figura 22-A em três épocas distintas, de forma cronológica. Através dos períodos de três anos de desenvolvimento das linhagens, foram agrupados os anos de 1978 à 1987, como sendo a primeira época, os anos de 1990 a 1999, como sendo a segunda época, e os anos 2002 a 2008 como sendo a terceira época. Desta forma, foi possível identificar a relação entre biomassa aparente e índice de colheita em diferentes épocas de desenvolvimento das linhagens.

No ano de 2010, a maioria dos genótipos desenvolvidos entre os anos de 1978 à 1987, tiveram associação positiva entre biomassa aparente e índice de colheita, ficando em aproximadamente 62,5% dos genótipos na primeira época. Enquanto que 25% tiveram relação negativa e somente 12,5% não tiveram associação entre biomassa aparente e índice de colheita (Figura 22-B).

Nos anos de desenvolvimento 1990 a 1999, ocorreu um aumento dos genótipos com relação positiva entre a biomassa aparente e o índice de colheita, em comparação com as linhagens de 1978 a 1987. Nesta segunda época, 70,37% dos genótipos tiveram relação positiva entre biomassa aparente e índice de colheita (Figura 22-C). E também ocorreu aumento dos genótipos com associação negativa entre biomassa aparente e índice de colheita, se comparado aos anos de desenvolvimento 1978 a 1987. Nesta época, a associação negativa foi observada em 29,6% dos genótipos (Figura 22-C). Enquanto que a independência na associação entre biomassa aparente e índice de colheita não foi vista em nenhum dos genótipos observados neste período (Figura 22-C).

No ano de avaliação 2010, para as linhagens desenvolvidas nos anos de 2002 a 2008, foi observado uma redução no número de genótipos com associação positiva entre biomassa aparente e índice de colheita, em comparação a segunda época. Sendo que 55,10% dos genótipos tiveram associação positiva entre biomassa aparente e IC (Figura 22-D). Por outro lado, os genótipos que possuem relação negativa entre biomassa aparente

e índice de colheita continuaram a aumentar durante os anos de seleção, chegando a 40,82% dos genótipos na terceira época (Figura 22-D). Novamente, foi visto um pequeno percentual de genótipos que não possuíam associação entre biomassa aparente índice de colheita, ficando representados por 4,08% de todos os genótipos (Figura 22-D).

4.3.2 Associação entre caracteres agronômicos sem aplicação de fungicida no ano de 2010

Devido ao aumento do número de aplicações de defensivos agrícola nas lavouras comerciais brasileiras, os custos de produção estão cada vez mais altos. Neste sentido, os programas de melhoramento têm observado estas tendências e procuram, não somente, a obtenção de genótipos com alto rendimento de grãos, mas também, uma maior resistência contra as principais doenças da cultura. Ou seja, os programas estão buscando genótipos com alto rendimento de grãos sem a aplicação de fungicidas.

Por sua grande importância no programa de melhoramento de aveia da UFRGS, o rendimento de grãos sem fungicida foi separado das demais associações. Primeiramente, serão apresentadas as associações entre o rendimento de grãos sem fungicida e as outras características avaliadas sem o tratamento fúngico, e em seguida, serão apresentadas as associações entre as demais características agronômicas, que foram avaliadas sem fungicida, excluindo o rendimento de grãos.

4.3.2.1 Associação do rendimento de grãos e os demais caracteres avaliados, sem aplicação de fungicida

Como comentado nos tópicos anteriores, para o rendimento de grãos sem fungicida e demais características avaliadas, foram realizadas dois tipos de regressões, uma análise separada de cada uma das variáveis com o rendimento de grãos sem fungicida, e a

segunda, uma análise de regressão linear múltipla, sendo o rendimento de grãos, a variável resposta, estas serão descritas nesta ordem.

Para melhor compreender a relação do progresso genético da resistência às duas principais moléstias da cultura da aveia, ferrugem da folha e manchas foliares, sobre o rendimento de grãos, foram realizadas análises de associação entre os caracteres severidade máxima de ferrugem da folha e de manchas foliares e ASCPFF com o rendimento de grãos. Também foi analisada a associação entre o rendimento de grãos com a massa de mil sementes e o peso de hectolitro, na ausência da aplicação de fungicida, a fim de determinar se há mudança na associação entre esses caracteres, em relação ao experimento com proteção de fungicida (Figura 23).

O rendimento mostrou estar associado negativamente à ASCPFF, sendo que a melhor explicação ($R^2 = 0,81$) para essa associação foi através de uma regressão linear bi-segmentada, cujo ponto de quebra ocorreu quando a ASCPFF atingiu o valor de 145,3 (Figura 23-A), uma ASCPFF relativamente pequena, uma vez que a maior ASCPFF média foi de 1210. Antes do ponto de quebra, para cada aumento de uma unidade de ASCPFF foi estimada uma redução de $12,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, após o ponto de quebra a redução estimada no rendimento de grãos foi bem menor, de $1,63 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para o aumento de uma unidade de ASCPFF (Figura 23-A).

A associação entre rendimento de grãos e severidade máxima de ferrugem da folha mostrou-se negativa e similar à encontrada para ASCPFF, sendo que a regressão linear bi-segmentada foi o modelo que gerou melhor explicação da associação ($R^2 = 0,79$). Antes do ponto de quebra da regressão (severidade de 7%) foi estimada uma redução de $255 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para o aumento de 1% na severidade de ferrugem da folha, ao passo que após o ponto de quebra foi estimada uma redução de $40 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ no rendimento de grãos para o aumento de 1% na severidade de ferrugem da folha (Figura 23-B). O ponto de quebra (7%) novamente ocorreu em níveis bastante baixos de severidade de ferrugem da folha, já que a média

máxima encontrada foi de 50%, indicando que o dano causado por essa doença ocorre em níveis baixos da moléstia.

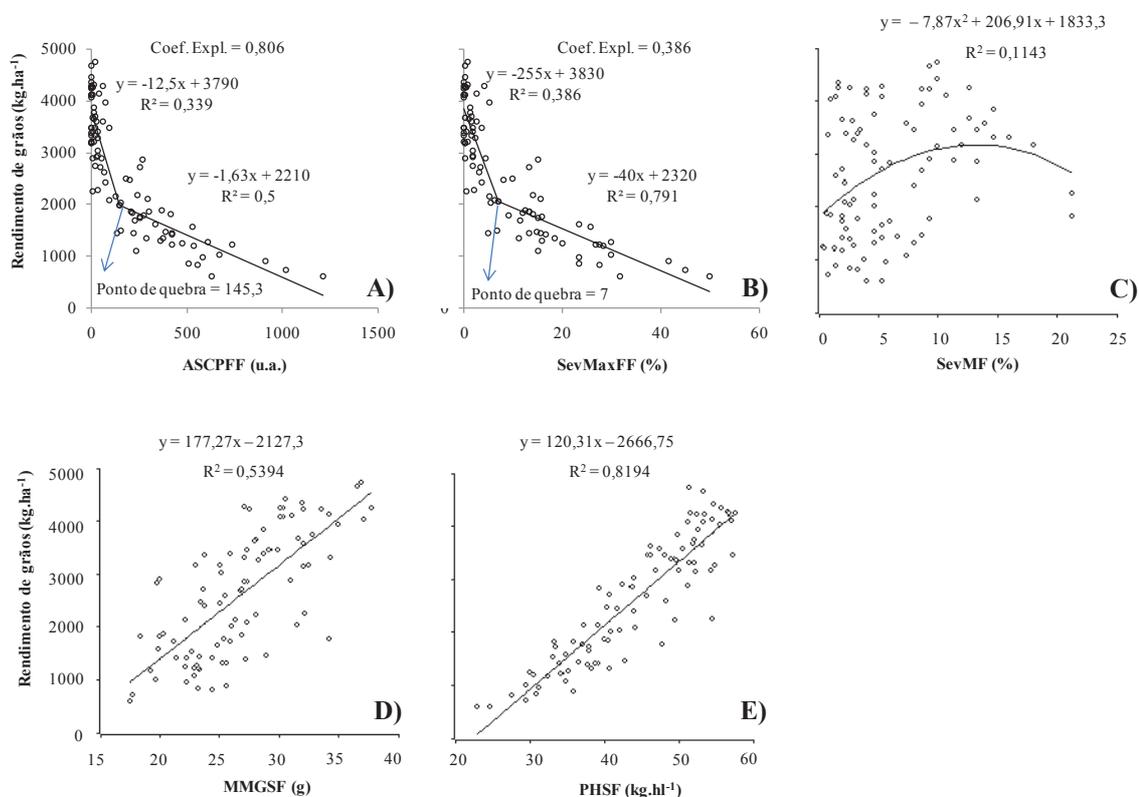


FIGURA 23. Associação do rendimento de grãos sem fungicida (variável dependente) com: A) área sob a curva de progresso da ferrugem da folha – ASCPFF; B) severidade máxima da ferrugem da folha – SevMaxFF; C) severidade de manchas foliares – SevMF; D) massa de mil grãos sem fungicida – MMGSF; E) peso do hectolitro sem fungicida – PHSF. Eldorado do Sul, RS, 2010.

O rendimento de grãos teve associação quadrática com a severidade de manchas foliares, sendo que entre 0 e 13,14% de severidade ocorreu um aumento de rendimento de grãos, chegando ao máximo estimado de $3193 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e ocorrendo redução do rendimento de grãos com severidades maiores que 13% (Figura 23-C). Este comportamento, de aumento de rendimento de grãos com aumento da quantidade de manchas foliares é reflexo do fato que os genótipos com menor severidade são aqueles com maior suscetibilidade à ferrugem da folha (Figura 25-B), moléstia de maior impacto sobre a redução do rendimento de grãos.

Com a presença de moléstias, ou seja, sem a proteção do fungicida, a associação do rendimento de grãos com a massa de mil grãos e com o peso do hectolitro, foram ambas lineares e positivas, além de tornaram-se mais robustas, em comparação com os resultados obtidos com a aplicação de fungicida, revelando coeficientes de determinação das regressões lineares de 0,54 e 0,82, respectivamente (Figuras 23-D e 23-E). Tal fato indica que, com a presença de moléstias, principalmente de ferrugem da folha, o rendimento de grãos depende, em maior grau, da capacidade do genótipo em encher melhor os grãos, em comparação com o tratamento com aplicação do fungicida. Sem a aplicação de fungicida, a capacidade de aumentar a massa de mil grãos em uma grama produziu um aumento estimado de 117 kg.ha^{-1} no rendimento de grãos (Figura 23-D), enquanto o aumento de um kg.hl^{-1} no peso do hectolitro, sem a aplicação de fungicida, resultou no acréscimo de 120 kg.ha^{-1} no rendimento de grãos (Figura 23-E).

Através da análise de regressão linear múltipla foi possível estudar a associação do rendimento de grãos com os demais caracteres medidos, em um ambiente onde não houve proteção das plantas com a aplicação de fungicida. Na Tabela 6 é apresentada a regressão linear múltipla que melhor explicou a variação encontrada para o rendimento de grãos sem fungicida, a qual obteve coeficiente de regressão de 0,88 (Figura 24).

A fim de permitir a linearização da regressão múltipla as variáveis explicativas elevadas ao quadrado também foram consideradas nos diferentes modelos testados, sendo que algumas revelaram ser significativamente associadas com o rendimento de grãos, de acordo com o teste *T* de Student. Desta forma, as variáveis significativamente associadas ao rendimento de grãos foram: ASCPFF, ASCPFF elevada ao quadrado (ASCPFF^2), severidade de manchas foliares elevada ao quadrado (SevMF^2), massa de mil grãos, massa de mil grãos elevada ao quadrado (MMG^2) e peso do hectolitro (Tabela 6).

Segundo a análise de regressão múltipla, o rendimento de grãos sem fungicida

TABELA 6. ANOVA e teste *T* de Student para a regressão linear múltipla do rendimento de grãos sem fungicida através dos valores estimados e padronizados. Eldorado do Sul, RS, 2010.

ANOVA				
Fonte de Variação	GL	QM	Valor-F	Valor de Probabilidade
Regressão	6	18209858	102,55	>0,0001
Erro	85	177578		

Teste <i>T</i> de Student				
Variável estimada*	Valor estimado	Valor padronizado	Valor-t	Valor de Probabilidade
Constante	4459,28	0,0000014	3,133	0,0024
ASCPFF	-3,63201	-0,779286	-5,002	>0,0001
ASCPFF ²	0,00205596	0,391681	3,424	0,001
SevMF ²	-1,10265	-0,0838386	-2,071	0,0414
MMG	-336,137	-1,39263	-3,326	0,0013
MMG ²	6,41534	1,45609	3,618	0,0005
PH	67,9162	0,510987	3,411	0,001

Coefficiente de determinação	0,878619
------------------------------	----------

*ASCPFF = Área sob a curva de progresso da ferrugem da folha, *SevMF = Severidade das manchas foliares, *MMG = Massa de mil grãos, *PH = Peso do hectolitro.

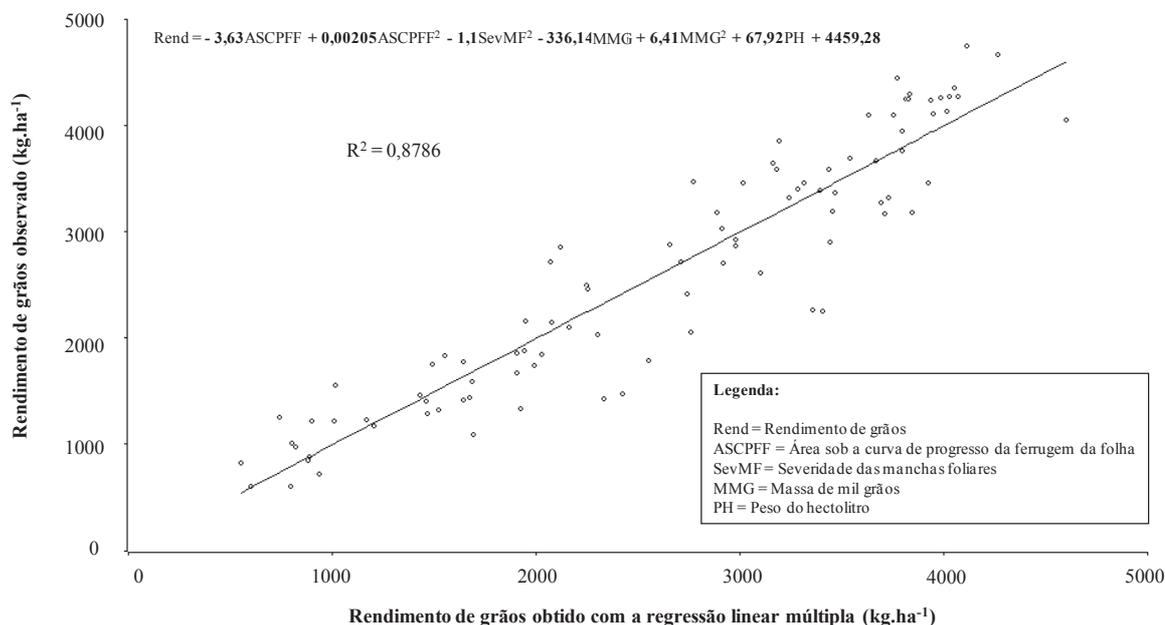


FIGURA 24. Associação entre valores preditos pelo modelo linear múltiplo e o rendimento de grãos sem fungicida observado. Eldorado do Sul, RS, 2010.

responde quadraticamente a ASCPFF, sendo que a cada unidade de área da ASCPFF ocorre uma redução de 3,63 kg.ha⁻¹ considerando uma curvatura quadrática de 0,00205.

Devido ao coeficiente de regressão da variável quadrática ASCPFF² ser positiva, a equação permite estimar um valor mínimo de rendimento de grãos, o qual é calculado através da equação $-\Delta/4a$, ou seja, $-(b^2-4ac)/(4a)$. Assim, foi obtido um mínimo de rendimento de 2852,34 kg.ha⁻¹ com uma ASCPFF de 10783,76 unidades de área, ASCPFF muito acima do máximo observado, que foi a média de 1210 unidades de área.

Uma vez que a regressão múltipla do rendimento de grãos com as diferentes características avaliadas sem a aplicação de fungicida não permite estimar o grau de importância relativo de cada característica para determinar o rendimento de grãos sem fungicida, foi realizada uma análise de regressão múltipla utilizando os dados padronizados.

Desta forma, a massa de mil grãos sem fungicida foi a variável que mais influenciou o rendimento de grãos sem fungicida no ano de 2010 (Tabela 6). A cada aumento de 1 desvio padrão no peso de mil grãos ocorreu uma redução de 1,39 desvios padrões no rendimento de grãos, porém quadraticamente este mesmo aumento de 1 desvio padrão no peso de mil grãos aumentou o desvio padrão do rendimento em 1,45 (Tabela 6).

O peso do hectolitro foi a segunda variável que mais influenciou o rendimento de grãos e a terceira foi a área sob a curva de progresso da doença da ferrugem da folha. Já a variável que menos influenciou o rendimento de grãos sem fungicida foi a severidade das manchas foliares (Tabela 6).

4.3.2.2 Associação entre os caracteres agronômicos sem aplicação de fungicida, exceto rendimento de grãos

O tratamento sem aplicação de fungicida, em 2010, permitiu verificar a associação entre os diferentes caracteres agronômicos, avaliados em ambiente com a presença de moléstias, assim como a relação destes caracteres agronômicos com as severidades de ferrugem da folha e de manchas foliares, assim como com a ASCPFF. Desta forma, é

possível também comparar se há modificação entre a associação entre os caracteres agrônômicos com e sem a aplicação de fungicida, além de verificar se há dependência do rendimento de grãos sem aplicação de fungicida em relação ao rendimento de grãos potencial, ou seja, com a aplicação de fungicida (Figura 25).

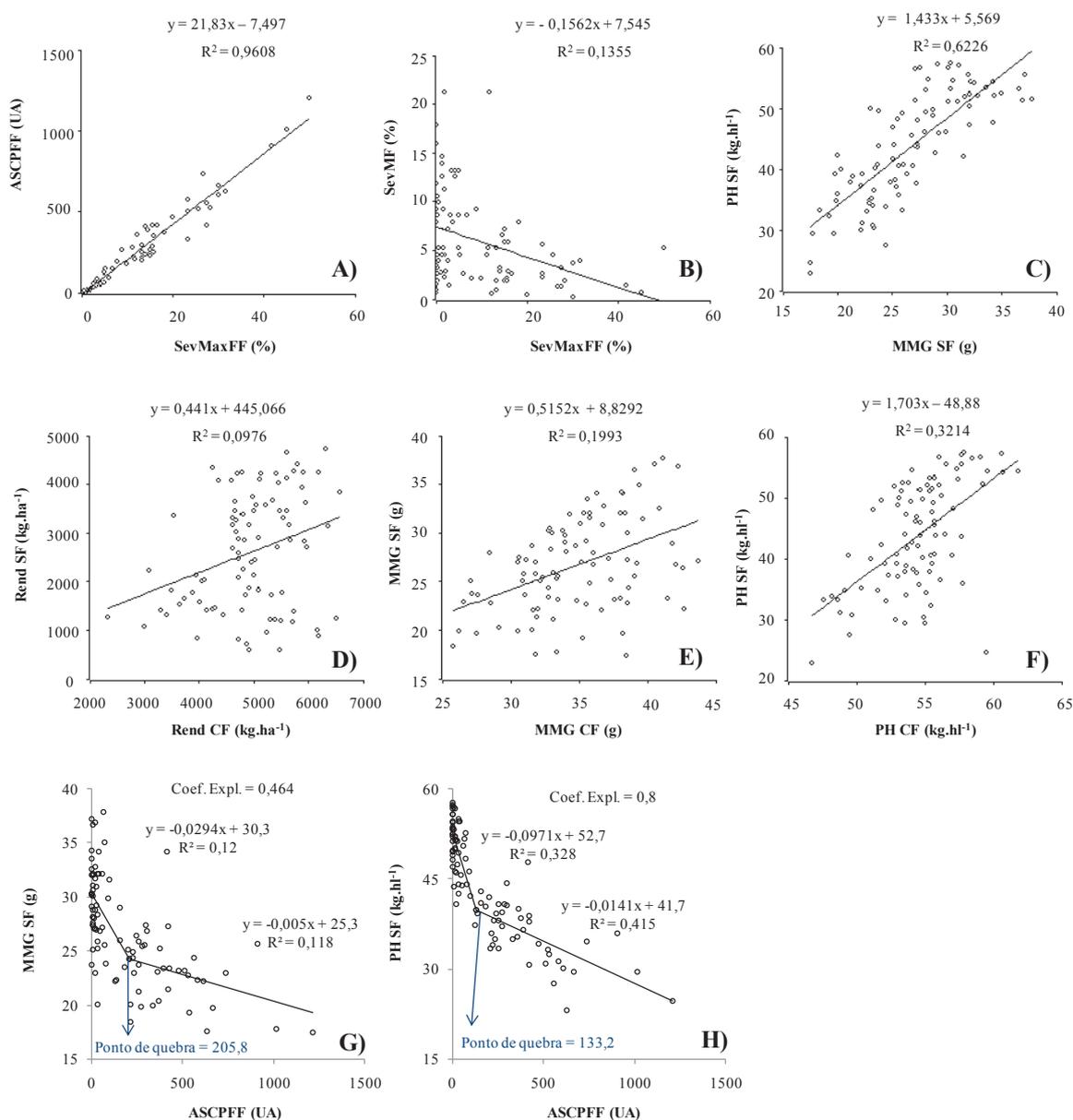


FIGURA 25. Associação entre diferentes características agrônômicas sem fungicida (área sob a curva de progresso da ferrugem da folha – ASCPFF, severidade máxima da ferrugem da folha – SevMaxFF, severidade de manchas foliares – SevMF, rendimento de grãos com fungicida – Rend CF, massa de mil grãos com fungicida – MMG CF, massa de mil grãos sem fungicida – MMG SF, peso do hectolitro com fungicida – PH CF e peso do hectolitro sem fungicida – PH SF). Eldorado do Sul, RS, 2010.

Como era esperada, a severidade máxima da ferrugem da folha apresentou associação linear e positiva de alta magnitude ($R^2 = 0,96$) com a ASCPFF (Figura 25-A), uma vez que a severidade da ferrugem da folha é a base da estimativa da ASCPFF. Fato bastante relevante foi a associação linear negativa entre severidade de manchas foliares e a severidade máxima de ferrugem da folha ($R^2 = 0,13$). A cada aumento de 1% na SevMaxFF há um decréscimo estimado de 0,8675% na severidade da mancha foliar (Figura 25-B), conforme comentado anteriormente, esta associação deve ser o resultado da maior ocorrência de manchas foliares em genótipos modernos do programa, os quais são também os mais resistentes para ferrugem da folha.

A ASCPFF afetou não somente o rendimento de grãos, conforme visto na Figura 23-A, mas também reduziu a massa de mil grãos ($R^2 = 0,46$) e o peso do hectolitro ($R^2 = 0,80$), conforme as Figuras 25-G e Figura 25-H, respectivamente. Em ambas as associações foram detectadas regressões lineares bi-segmentadas negativas entre a ASCPFF e os caracteres MMG e PH sem aplicação de fungicida, sendo o primeiro segmento da regressão, antes do ponto de quebra, a fase onde o efeito da ferrugem da folha sobre os caracteres foi mais pronunciado. Desta forma, para MMG sem fungicida, o aumento de 10 unidades de ASCPFF, antes do ponto de quebra (205,8), resultou numa redução estimada de 0,29 g da massa de mil grãos, e após o ponto de quebra numa redução estimada de 0,05 g (Figura 25-G). Para o PH sem fungicida, o aumento de 10 unidades de ASCPFF antes do ponto de quebra (133,2) originou uma redução estimada de 0,97 kg.h⁻¹, enquanto após o ponto de quebra a perda estimada era bem menor, de 0,14 kg.h⁻¹ (Figura 25-H) a cada aumento de 10 unidades de área da ASCPFF. As associações lineares e positivas entre MMG com e sem fungicida (Figura 25-E) e entre PH com e sem aplicação de fungicida (Figura 25-F), revelaram que tanto a MMG quanto o PH, sem aplicação de fungicida, não são apenas determinados pelo grau de infestação das moléstias, mas também pelo potencial genético de cada genótipo de aveia avaliado.

Também é digno de nota o fato de que o PH é mais fortemente influenciado pela MMG quando não há aplicação de fungicida, conforme revelado pelo R^2 (0,62) da regressão linear entre esses caracteres (Figura 25-C), que foi muito superior ao R^2 (0,06) verificado quando os dois caracteres foram medidos com aplicação de fungicida (Figura 21-M). Isto implica que sob estresse da presença de moléstias o PH é mais dependente da capacidade dos genótipos em manterem o enchimento de grãos, evitando a formação de grãos com proporção elevada de casca em relação a cariopse, do que sem esse estresse. Sob a aplicação de fungicida, o PH é dependente, em maior grau, do potencial genético do genótipo. Os grãos pequenos podem encher, produzir cariopse, e preencher os espaços vazios do volume de grãos, contribuindo para eventual aumento do PH.

O rendimento de grãos sem aplicação de fungicida também mostrou dependência do rendimento de grãos com fungicida, ou seja, do potencial genético de cada genótipo, embora em pequena magnitude, conforme revelado pelo R^2 de 0,10 (Figura 25-D). Para cada 1 kg.ha^{-1} de aumento no rendimento de grãos, com aplicação de fungicida, é esperado um acréscimo de $0,441 \text{ kg.ha}^{-1}$ no rendimento de grãos sem fungicida, embora 90% da variação deva-se a outros fatores (Figura 25-D).

4.3.3 Associação entre caracteres agronômicos com aplicação de fungicida no ano de 2011

Durante o ano de avaliação 2011, somente foi conduzido o experimento com tratamento fúngico. Desta forma, os dados avaliados para este ano foram iguais as 11 características observadas no experimento com fungicida para o ano de 2010.

A maioria das variáveis tiveram uma interação entre os anos de avaliação 2010 e 2011 com os genótipos do programa de melhoramento, assim, as associações foram separadas entre os dois anos. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos das associações entre o rendimento em função de cada característica avaliada no ano de 2011.

E em uma segunda etapa, serão abordadas as associações entre as demais características, excetuando o rendimento de grãos.

4.3.3.1 Associação do rendimento de grãos e os demais caracteres avaliados, com aplicação de fungicida

Como foi comentada nos tópicos anteriores, a associação entre o rendimento de grãos e demais características avaliadas, foi analisada através de dois tipos de regressão: (i) regressão linear entre cada uma das variáveis tendo o rendimento de grãos como variável resposta e (ii) regressão linear múltipla, onde foram incluídas todas as demais variáveis para explicar o rendimento de grãos, como sendo a variável resposta.

No ano de 2011, o número de dias da emergência ao florescimento foi associado fracamente com o rendimento de grãos ($R^2 = 0,1121$), de forma linear e negativa, sendo que, a cada aumento de 1 dia no DEF do genótipo ocorreu uma redução no rendimento de grãos de $53,13 \text{ kg.ha}^{-1}$ (Figura 26-A). A mesma relação linear e negativa foi observada para o rendimento de grãos em função da estatura, onde a cada aumento de 10 cm na estatura dos genótipos ocorreu uma redução de $334,4 \text{ kg.ha}^{-1}$ no rendimento de grãos, sendo considerada fracamente associada ($R^2 = 0,2125$), porém, mais alta que a anterior (Figura 26-B).

Associação semelhante foi observada no rendimento de grãos em função do acamamento, esta variável promoveu uma redução de $15,69 \text{ kg.ha}^{-1}$ a cada aumento de 1% no acamamento (Figura 26-D), esta foi a mais forte associação no ano de 2011 ($R^2 = 0,3$). Por outro lado, a biomassa aparente teve associação linear e positiva com o rendimento de grãos, sendo que para cada aumento de 10 g/m^2 da biomassa aparente, ocorreu um acréscimo de 13 kg.ha^{-1} no rendimento de grãos (Figura 26-C), esta foi a mais fraca associação observada para o ano de 2011 ($R^2 = 0,067$).

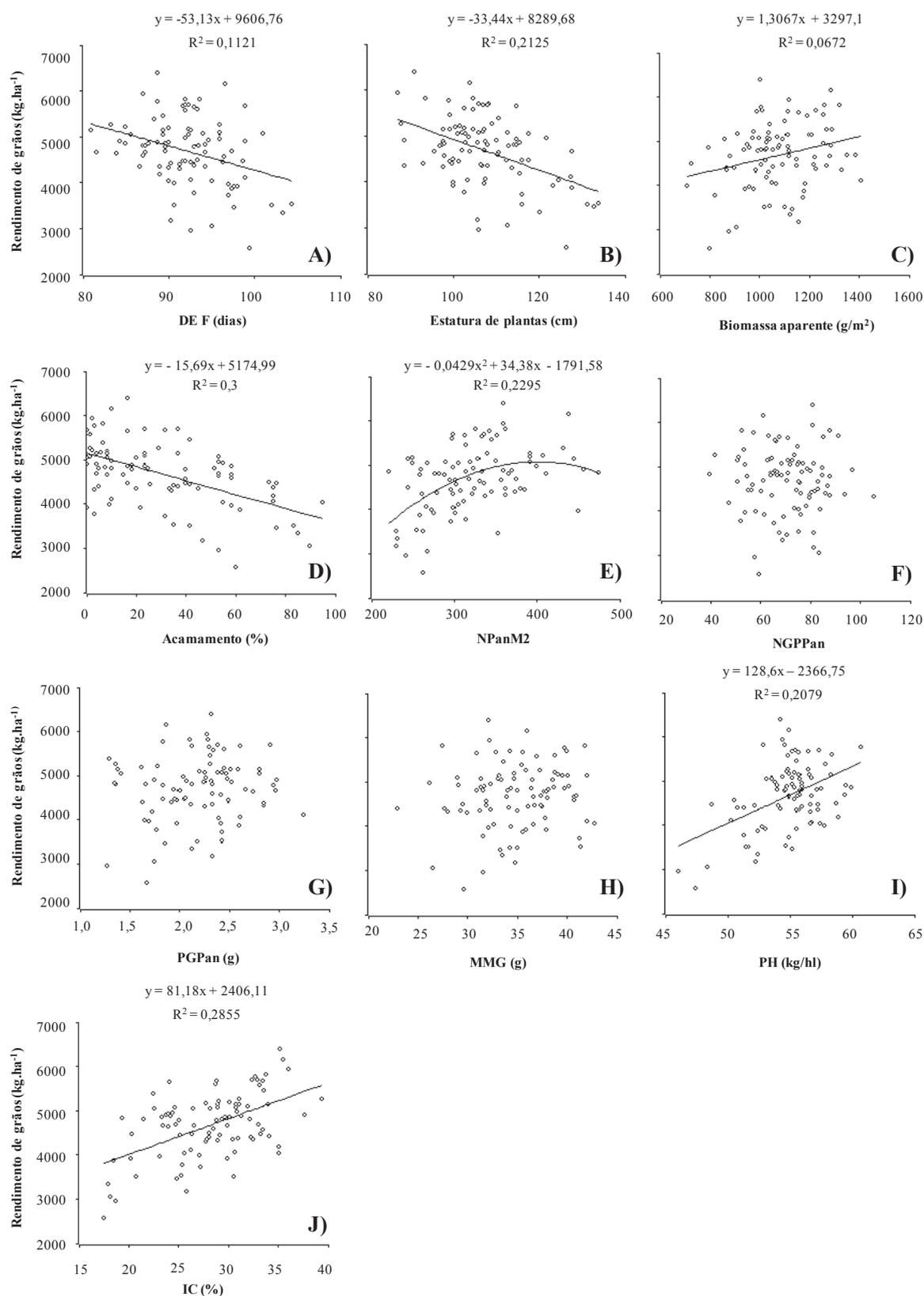


FIGURA 26. Associação do rendimento de grãos com fungicida (variável dependente) com: A) dias da emergência ao florescimento – DEF; B) estatura de plantas; C) biomassa aparente; D) acamamento; E) número de panículas por metro quadrado – NPanM2; F) número de grãos por panícula – NGPPan; G) peso de grãos da panícula – PGPan; H) massa de mil grãos – MMG; I) peso do hectolitro – PH; J) índice de colheita – IC. Eldorado do Sul, RS, 2011.

O rendimento de grãos também foi afetado pelo número de panículas por metro quadrado, no ano de avaliação 2011, esta associação teve comportamento negativo e quadrático, sendo fracamente associados ($R^2 = 0,2295$). Devido a curvatura quadrática da associação, o rendimento máximo de grãos estimado pela regressão foi de 5095 kg.ha^{-1} com um número de panículas por metro quadrado de aproximadamente 400 (Figura 26-E). Desta forma, o aumento de 250 para 251 panículas por metro quadrado provocou um acréscimo de aproximadamente 13 kg.ha^{-1} no rendimento de grãos, o que tende a diminuir quando se aproxima do número de 400 panículas/m². O aumento de 450 para 451 panículas/m² proporcionou uma redução de aproximadamente 4 kg.ha^{-1} no rendimento de grãos, e este decréscimo tende a aumentar a medida que o número de panículas se afasta de 400 panículas/m².

Para melhor entendimento da redução no rendimento de grãos observada pelo acréscimo do número de panículas por metro quadrado em valores acima de 400 panículas/m², foram realizadas associações com outras características agronômicas nos genótipos que apresentaram este decréscimo no rendimento de grãos, como destacado na Figura 27-A. À medida que se reduz a estatura das plantas aumenta-se o número de panículas por metro quadrado (Figura 27-B), os mesmos genótipos que tiveram alto valor de número de panículas por metro quadrado apresentaram baixos valores de estatura, ficando abaixo da linha de tendência desta associação (Figura 27-B). Esta baixa estatura, somada com o alto valor de panículas por área, reduziu o peso de grãos da panícula (Figura 27-C). Os valores destacados com alto número de panículas por área tiveram peso de grãos por panícula abaixo da linha de tendência na Figura 27-C.

No ano de 2011, algumas características não tiveram associação com o rendimento de grãos, como, número de grãos por panícula (Figura 26-F), peso de grãos da panícula (Figura 26-G) e a massa de mil grãos (Figura 26-H).

Diferentemente, o peso do hectolitro teve efeito no rendimento de grãos, de forma

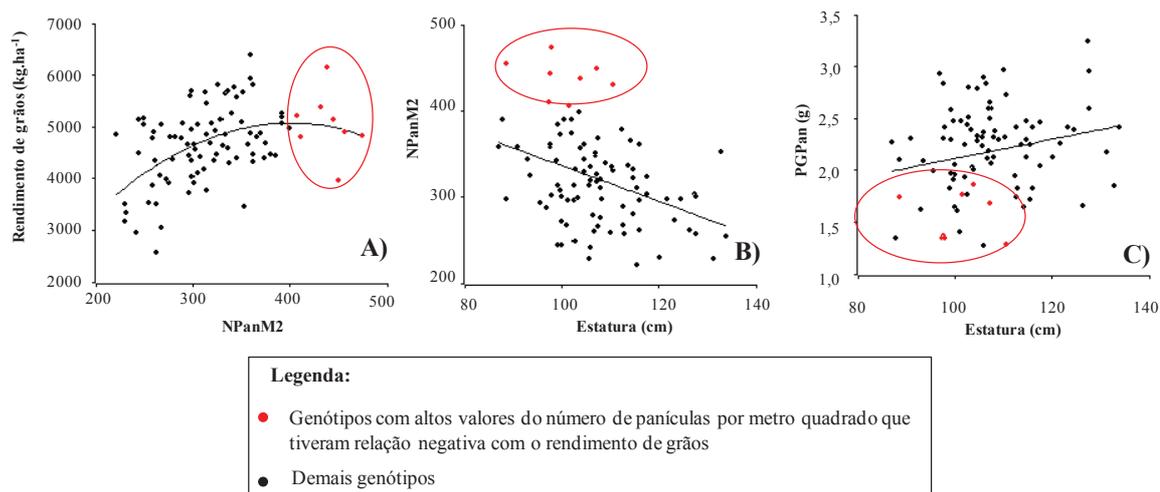


FIGURA 27. Associação entre: A) número de panículas por metro quadrado – NPanM2 e rendimento de grãos; B) estatura e número de panículas por metro quadrado – NPanM2; C) estatura e peso de grãos da panícula – PGPan. Eldorado do Sul, RS, 2011.

linear e positiva, sendo que a cada aumento de 1 kg.ha^{-1} no PH causa um acréscimo de $128,6 \text{ kg.ha}^{-1}$ no rendimento de grãos (Figura 26-I), esta associação foi fracamente relacionada ($R^2=0,21$). Da mesma forma, o rendimento de grãos foi influenciado, linear e positivamente, com o índice de colheita, onde para cada aumento de 1% no índice de colheita ocorreu um acréscimo de $81,18 \text{ kg.ha}^{-1}$ no rendimento de grãos (Figura 26-J). Esta relação apresentou uma fraca associação ($R^2 = 0,2855$), porém foi considerada a segunda associação com maior coeficiente de regressão do ano de 2011.

Depois de observado todas as variáveis associadas com o rendimento de grãos, foi realizada uma análise de regressão linear múltipla do rendimento em função das demais características avaliadas. A regressão utilizada foi aquela em que o maior número de variáveis explicava o rendimento de grãos, ou seja, um maior valor do coeficiente de explicação. Além disto, as variáveis explicativas deveriam ter coeficientes estimados significativos a 5% de probabilidade para o teste *T* de Student.

Desta maneira, a melhor forma de representar o rendimento de grãos no ano de 2011 com a regressão linear múltipla foi utilizando seis variáveis que foram representadas na Tabela 7. O acamamento foi associado linear e negativamente com o rendimento de

grãos, sendo que a cada aumento de 1% no acamamento ocorreu uma redução no rendimento de grãos de $9,57 \text{ kg.ha}^{-1}$ (Tabela 7). Semelhantemente, a estatura de plantas foi relacionada linear e negativamente com o rendimento de grãos, sendo que a cada aumento de 10 cm na estatura ocorreu uma redução de $165,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ no rendimento de grãos.

TABELA 7. ANOVA e teste *T* de Student para a regressão linear múltipla do rendimento de grãos com fungicida através dos valores estimados e padronizados. Eldorado do Sul, RS, 2011.

ANOVA				
Fonte de Variação	GL	QM	Valor-F	Valor de Probabilidade
Regressão	6	4826988	20,30	>0,0001
Erro	85	237744		
Teste <i>T</i> de Student				
Variável estimada*	Valor estimado	Valores padronizado	Valor-t	Valor de Probabilidade
Constante	-2940,78	-0.0895204	-1,489	0,1401
Acam	-9,57817	-0.29346	-4,196	0,0001
Estatura	-16,5506	-0.220968	-2,822	0,0059
NPanM2	21,4833	211.651	2,352	0,0210
NPanM2 ²	-0,0272406	-231.346	-1,989	0,0499
PGPan	375,271	0.201433	2,578	0,0116
PH	88,6427	0.561176	4,345	>0,0001
Coefficiente de determinação	0,589014			

*Acam = Acamamento, *NPanM2 = Número de panículas por metro quadrado, *PGPan = Peso de grãos por panícula, *PH = Peso do hectolitro.

Por outro lado, o número de panículas por metro quadrado teve uma associação linear e quadrática com o rendimento. Com baixos valores de panículas por área ocorre um aumento no rendimento de grãos com o aumento do número de panículas por área. Quando aumentou de 250 para 251 panículas por metro quadrado, o incremento no rendimento de grãos foi de $7,85 \text{ kg.ha}^{-1}$ (Tabela 7 e Figura 28), considerando que as demais variáveis se mantenham estáveis. Este incremento se torna cada vez menor a medida que atingir o valor de aproximadamente 394 panículas por metro quadrado, máximo rendimento em 1295 kg.ha^{-1} . Quando o número de panículas por metro quadrado foi aumentado de 450 para 451 o rendimento de grãos teve um decréscimo de 3 kg.ha^{-1} (Tabela 7).

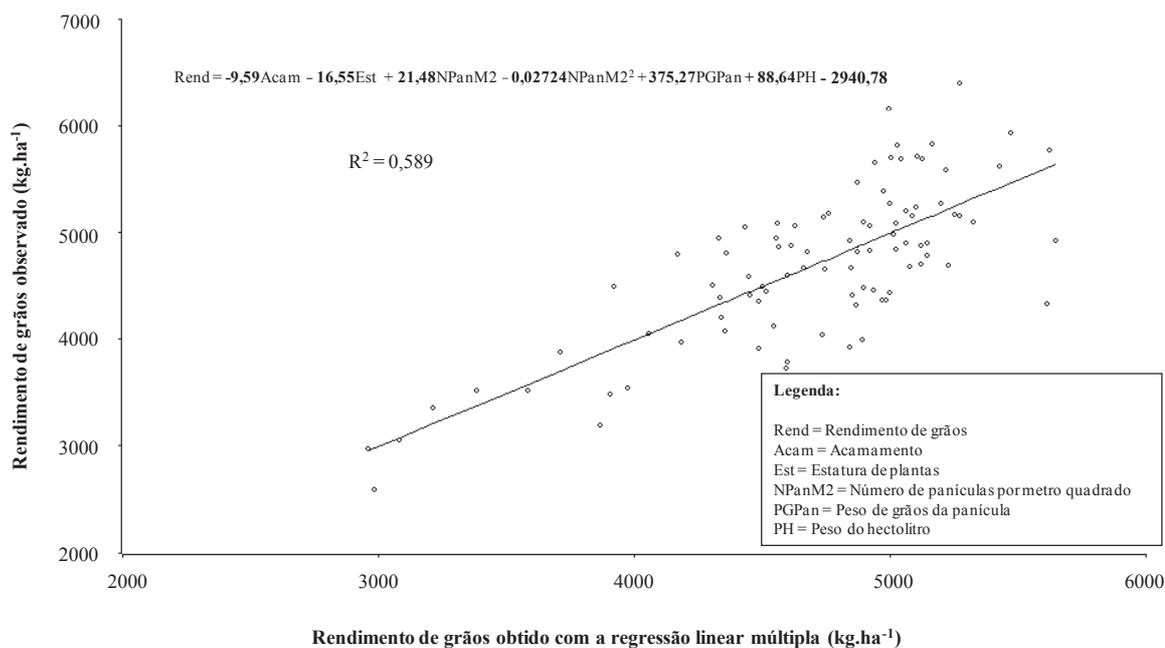


FIGURA 28. Associação entre valores preditos pelo modelo linear múltiplo e o rendimento de grãos com fungicida observado. Eldorado do Sul, RS, 2011.

O peso de grãos da panícula teve associação linear e positiva com o rendimento de grãos, sendo que a cada aumento de 1 grama por panícula apresentou um acréscimo de 375,27 kg.ha⁻¹ (Tabela 7). O peso do hectolitro teve associação semelhante ao peso de grãos da panícula, tendo uma associação linear e positiva, ou seja, o aumento de 1 kg no peso do hectolitro aumentou 88,64 kg.ha⁻¹ no rendimento de grãos (Tabela 7).

Através do rendimento de grãos obtido com a regressão linear múltipla, estes valores estimados foram associados com o rendimento de grãos observados no ano de 2011, estes dados estão ilustrados no gráfico da Figura 28, através desta associação foi possível obter um coeficiente de explicação de 0,589, isto significa que, praticamente, 41% de toda a variação observada do rendimento de grãos com fungicida, no ano de 2011, não foi possível explicar com a variação das demais variáveis avaliadas neste experimento.

As regressões anteriores foram obtidas com os valores absolutos de cada variável. Porém, no caso da regressão linear múltipla, estes valores não permitem estimar em que

grau as variáveis estão influenciando o rendimento de grãos, esta dificuldade ocorre pelas variáveis possuírem diferentes unidades de medida.

Para o melhor entendimento de quais variáveis mais influenciaram o rendimento de grãos no ano de 2011, foi realizada a mesma análise de regressão linear múltipla com os valores padronizados de cada variável como no ano de 2010, ou seja, os valores ficaram representados pelos desvios padrões da média.

Desta forma, a variável que mais influenciou o rendimento de grãos em 2011 foi o número de panículas por metro quadrado, sendo que o aumento de 1 desvio padrão do número de panículas por metro quadrado aumentou o rendimento de grãos em 211,65 desvios padrões. E o aumento de 1 desvio padrão do número de panículas por metro quadrado ao quadrado reduz o desvio padrão do rendimento em 231,34 (Tabela 7).

O peso do hectolitro foi a segunda variável que mais influenciou o rendimento de grãos em 2011, sendo que a cada aumento de 1 desvio padrão no peso do hectolitro ocorreu um acréscimo de 0,5611 desvios padrões do rendimento de grãos (Tabela 7). Seguindo a mesma análise, o acamamento foi a terceira variável que mais influenciou o rendimento de grãos em 2011, sendo que a cada aumento de 1 desvio padrão do acamamento ocorreu um decréscimo de 0,293 desvios padrões no rendimento de grãos (Tabela 7). Desta forma, as variáveis, estatura e peso de grãos da panícula foram a penúltima e última variável a influenciar o rendimento de grãos, respectivamente.

4.3.3.2 Associação entre os caracteres agronômicos com aplicação de fungicida, exceto rendimento de grãos

Além das características associadas ao rendimento de grãos, foram realizadas associações entre as demais características, para um melhor entendimento de como as variáveis são influenciadas umas pelas outras.

Desta forma, o número de dias da emergência ao florescimento não teve associação com a biomassa aparente dos genótipos (Figura 29-A). Diferentemente do que ocorreu com a estatura de plantas em função da biomassa aparente, nesse caso, a estatura teve um comportamento linear e positivo, aumentando 1,1 cm a cada acréscimo de um dia no ciclo da planta (Figura 29-B) com associação moderadamente fraca ($R^2 = 0,2565$). Além desta associação, os dias de emergência ao florescimento influenciaram o índice de colheita, de forma linear e negativa, com o acréscimo de três dias no ciclo ocorreu uma redução de aproximadamente 1% no índice de colheita (Figura 29- D), esta relação foi mais fracamente associada ($R^2 = 0,1318$), se comparada a anterior. De forma contrária, a biomassa aparente foi associada linear e positivamente com o índice de colheita, que mostrou uma das associações mais fracas dentro destas observadas no ano de 2011 ($R^2 = 0,0692$). Considerando a regressão, o valor estimado de aumento no índice de colheita foi de aproximadamente 1% a cada acréscimo de 100 g/m² de biomassa aparente (Figura 29-F).

A associação da estatura de plantas com o acamamento foi fracamente associada, com R^2 de 0,1884 (Figura 29-C), onde cada aumento de 1 cm na estatura ocorreu um aumento de 1,1% no acamamento. No entanto, a estatura não teve influencia na biomassa aparente, como ilustrado na Figura 29-E.

Contrariamente, a estatura de plantas teve associação negativa e linear com o índice de colheita, que apresentou uma das maiores associações no ano de 2011 ($R^2 = 0,3$), sendo que para cada acréscimo de 4 cm na estatura ocorreu uma redução de aproximadamente 1% no índice de colheita (Figura 29-G). Relação semelhante, linear e negativa, foi observada entre estatura de plantas e número de panículas por metro quadrado, onde a cada acréscimo de 1 cm na estatura ocorreu uma redução de aproximadamente 2 panículas por metro quadrado (Figura 29-H), esta associação foi muito baixa com R^2 de 0,014.

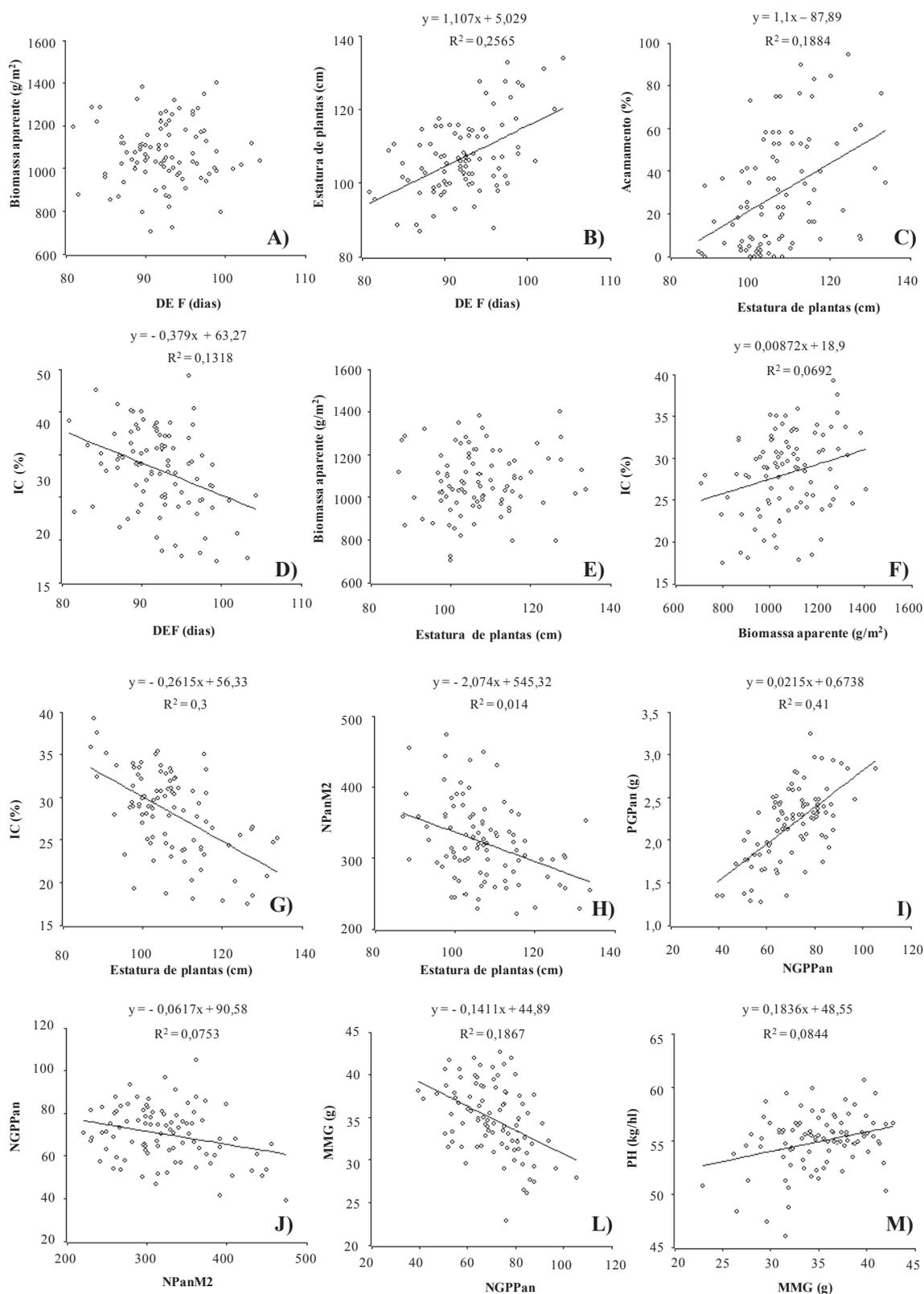
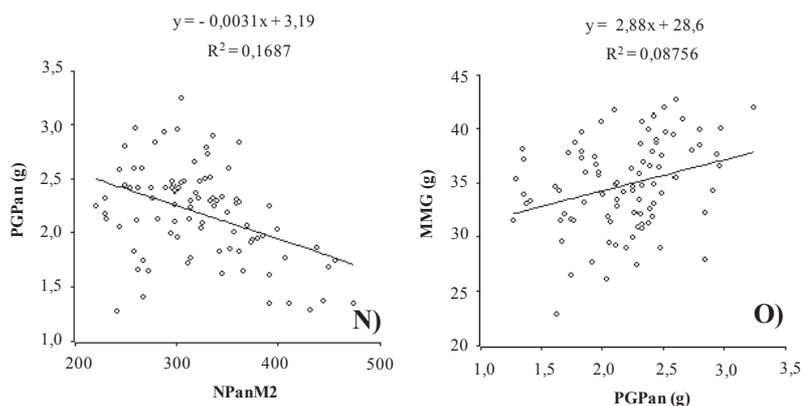


FIGURA 29. Associação entre diferentes características agrônômicas com fungicida (dias da emergência ao florescimento – DEF, número de panículas por metro quadrado – NPanM2, número de grãos por panícula – NGPPan, peso de grãos da panícula – PGPan, massa de mil grãos – MMG, peso do hectolitro – PH e índice de colheita – IC). Eldorado do Sul, RS, 2011.



continuação FIGURA 29. Associação entre diferentes características agronômicas com fungicida (dias da emergência ao florescimento – DEF, número de panículas por metro quadrado – NPanM2, número de grãos por panícula – NGPPan, peso de grãos da panícula – PGPan, massa de mil grãos – MMG, peso do hectolitro – PH e índice de colheita – IC). Eldorado do Sul, RS, 2011.

Enquanto isso, o número de grãos por panícula teve associação linear e positiva com o peso de grãos por panícula, sendo a maior associação vista no ano de 2011 ($R^2 = 0,41$), para cada acréscimo de 10 grãos por panícula ocorreu um aumento de 2,15 g por panícula (Figura 29-I).

Por outro lado, o número de grãos por panícula teve associação negativa e quadrática em função do número de panículas por metro quadrado, com R^2 de 0,1517. Como o coeficiente quadrático é negativo (-0,00086), o comportamento do número de grãos por panícula, em função do número de panículas por metro quadrado, foi observado aumentar até atingir 74 grãos por panícula com 304 panículas por metro quadrado, a partir deste ponto ocorreu uma queda a cada aumento do número de panículas por área. O aumento de 250 para 262 panículas por metro quadrado produziu um aumento estimado de 2 grãos por panícula, e quanto mais próximos do valor de 74 grãos, menores foram os acréscimos, porém após atingir o valor máximo a relação se tornou negativa, ou seja, o acréscimo de 400 para 412 panículas promoveu um decréscimo estimado de 2 grãos por panícula (Figura 29-J).

O número de grãos por panícula teve associação suavemente fraca com a massa de mil grãos ($R^2 = 0,1867$), sendo esta linear e negativa, onde o acréscimo de 7 grãos por panícula teve uma redução de 1 grama na massa de mil grãos (Figura 29-L). Enquanto que a massa de mil grãos tem um efeito linear e positivo no peso do hectolitro, estas variáveis foram fracamente associadas (R^2 de 0,0844), onde a cada aumento de 5 gramas na MMG ocorreu um acréscimo de 1 kg.hl^{-1} no PH (Figura 29-M).

No ano de 2011, o número de panículas por metro quadrado teve associação fraca ($R^2=0,169$) com o peso de grãos da panícula, sendo que a cada aumento de 100 panículas por metro quadrado ocorreu uma redução de 0,31 gramas no peso de grãos da panícula (Figura 29-N). Enquanto isso, o peso de grãos da panícula teve associação muito fraca ($R^2=0,087$) com a massa de mil grãos, onde o aumento de um grama causou o aumento de 2,88 gramas na massa de mil grãos (Figura 29-O).

Devido à associação entre biomassa aparente e o índice de colheita terem diferentes respostas para cada linhagem ou cultivar, no ano de 2011 os genótipos foram classificados, dependendo da relação existente entre biomassa aparente e IC, em: positivamente associadas, negativamente associadas e não associadas.

Desta forma, considerando todos os genótipos desenvolvidos pelo programa de melhoramento avaliados, no ano de 2011, foi verificado que 58,24% dos genótipos tiveram relação positiva entre biomassa aparente e índice de colheita. Enquanto que 37,36% apresentaram relação negativa e somente 4,40% não tiveram associação entre estas variáveis (Figura 30-A).

No mesmo ano de avaliação de 2011, dentre as linhagens desenvolvidas nos anos de 1978 a 1987, a maioria teve relação positiva entre biomassa aparente e índice de colheita, em torno de 68,75%. Enquanto que 31,25% dos genótipos tiveram uma relação negativa e nenhum genótipo teve independência para a associação entre estas duas características (Figura 30-B).

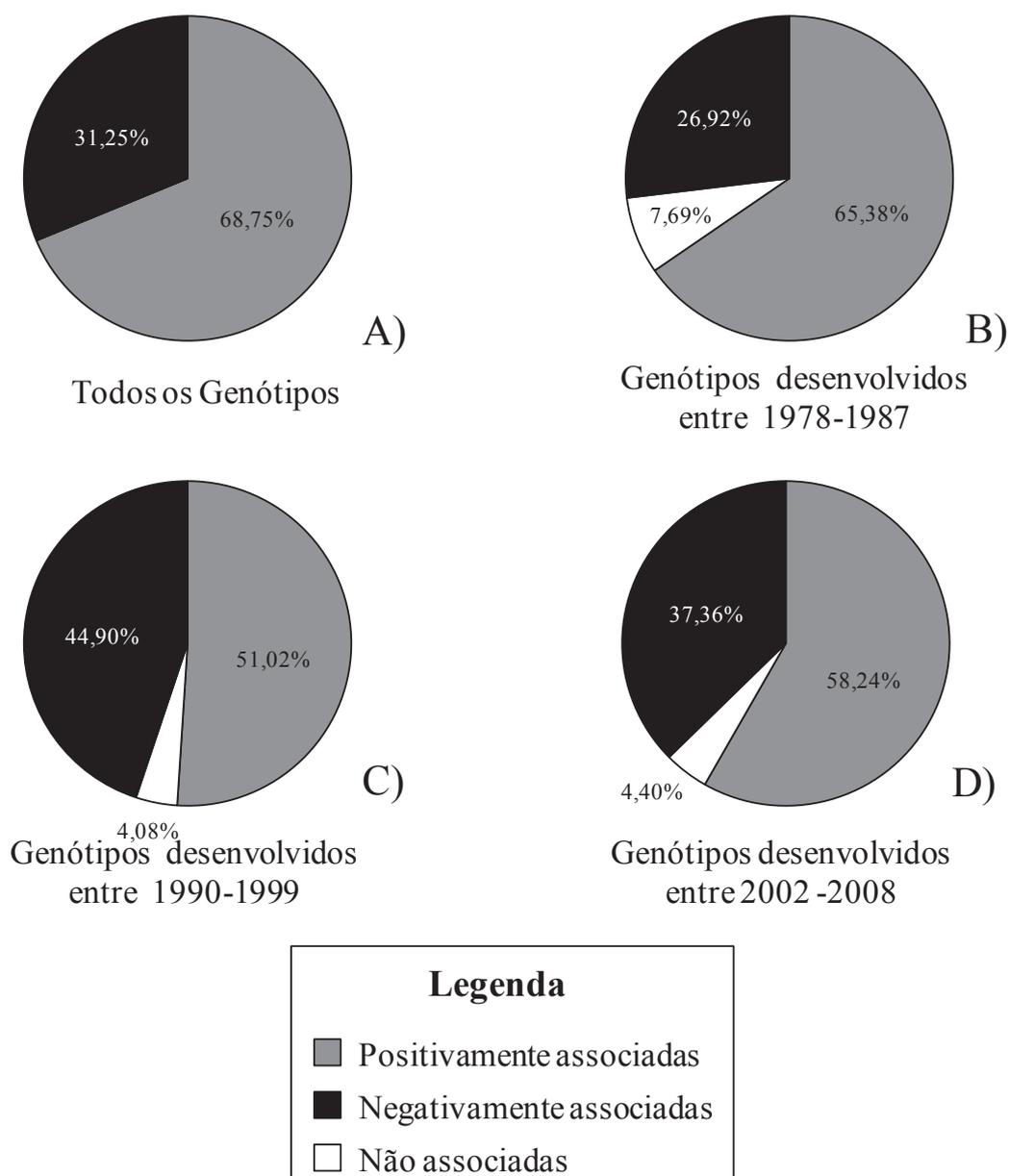


FIGURA 30. Frequência da associação entre biomassa aparente e índice de colheita em: A) todos genótipos; B) genótipos desenvolvidos durante os anos de 1978 a 1987; C) genótipos desenvolvidos durante os anos de 1990 a 1999; D) genótipos desenvolvidos durante os anos de 2002 a 2008. Eldorado do Sul, RS, 2011.

Para o mesmo ano de avaliação 2011, considerando as linhagens desenvolvidas nos anos de 1990 a 1999, o número de genótipos com relação positiva entre biomassa aparente e índice de colheita caiu para 65,38% (Figura 30-C), em comparação a época anterior de 1978 a 1987. Enquanto que, o número de genótipos com associação negativa teve um

incremento, se comparado ao período anterior, chegando a 26,92% dos genótipos. E apenas 7,69% dos genótipos não tiveram relação entre estas variáveis (Figura 30-C).

Nos genótipos desenvolvidos nos anos de 2002 a 2008, ocorreu uma redução ainda maior dos genótipos que possuíam uma relação positiva entre biomassa aparente e índice de colheita, chegando a 51% dos genótipos desenvolvidos nesta época (Figura 30-D). Enquanto que continuou aumentando os genótipos que possuem uma relação negativa entre estas duas variáveis, atingindo valores de 44,90% dos genótipos desenvolvidos neste período. E por fim, somente 4% dos genótipos não tiveram relação entre biomassa aparente e índice de colheita (Figura 30-D).

5 DISCUSSÃO

Para quase todas as variáveis avaliadas nos dois anos do experimento foi observada interação significativa genótipo x ano, excetuando o peso do hectolitro (Tabela 4). Isto mostra que os genótipos se comportaram de forma diferente nos anos agrícolas de 2010 e 2011. Por isso, foi necessário realizar as análises de progresso genético separadamente entre os anos. Estes dados estão de acordo com Redaelli *et al.* (2008), que encontraram interação genótipo x ano para as variáveis rendimento de grãos, dias de emergência ao florescimento, estatura de plantas e massa da semente, quando avaliados 14 cultivares de aveia da Itália para estimativa do progresso genético.

Mesmo ocorrendo interação significativa genótipo x ano, quando realizada a análise de progresso genético para as variáveis, considerando todos os genótipos avaliados e pertencentes a UFRGS, foi observado que o rendimento de grãos (Figura 2), DEF (Figura 3), estatura de plantas (Figura 4), biomassa aparente (Figura 5), número de panículas por metro quadrado (Figura 7), número de grãos por panícula (Figura 8), peso de grãos por panícula (Figura 10) e índice de colheita (Figura 15) apresentaram comportamentos semelhantes nos dois anos de avaliação. Fica evidente que a interação significativa genótipo x ano pode ter ocorrido em poucos genótipos, não afetando o comportamento do progresso genético. Isso pode ter ocorrido pelo grande número de genótipos que foram utilizados para esta análise (92 genótipos), sendo que seria necessário apenas dois genótipos apresentarem comportamento diferente nos dois anos de avaliação para a interação genótipo x ano ser considerada significativa. Desta forma, quanto maior for o

número de genótipos utilizados na análise, maior é a probabilidade de ocorrer interação significativa.

Vale ressaltar que nos dois anos de avaliação ocorreram algumas diferenças na condução do experimento, sendo que a época de semeadura não foi a mesma. No ano de 2010 a semeadura foi realizada no dia 03/07, enquanto que no ano de 2011 a semeadura foi antecipada para o dia 13/06.

Além disso, no ano de 2011, o experimento foi implantado em uma área mais irregular, comparado ao ano de 2010, com infestação de plantas daninhas, principalmente azevém, que competiu por luz, nutrientes e espaço com a aveia. Para reduzir esta infestação foi realizada capina manual, porém, devido ao grau avançado de competição as plantas de aveia do experimento tiveram comprometimento no perfilhamento pela competição de luminosidade e acabaram não se recuperando.

Devido a estas piores condições de estabelecimento da cultura no segundo ano, o rendimento de grãos para o ano de 2010, com média de 4944,13 kg.ha⁻¹ foi maior que o observado para o ano de 2011, com média de 4706,55 kg.ha⁻¹ (Tabela 5). Estes dados estão de acordo com Fleck *et al.* (2009), os quais observaram que as cultivares de aveia ALBASUL, CFT 1, UPFA 22 e URS 22 apresentaram média de rendimento de grãos de 4423 kg.ha⁻¹ sem competição, enquanto que em competição com o linho ocorreu uma redução no rendimento de grãos, com média de 4197 kg.ha⁻¹ e, em competição com trigo o rendimento de grãos reduziu para 3128 kg.ha⁻¹.

A época de semeadura pode ter influenciado, principalmente, o ciclo vegetativo da cultura, avaliado no experimento como dias de emergência ao florescimento, esta variável teve média de 87 dias em 2010, e devido à antecipação da semeadura em 2011 esta média foi maior, de aproximadamente 92 dias. A competição por espaço luz e nutrientes, provocada pelo azevém em 2011, pode ter influenciado o desenvolvimento da planta, incluindo a sua biomassa aparente, como foi visto na média desta variável, que no ano de

2011 foi de aproximadamente 1069 g/m^2 , enquanto que no ano anterior esta média foi maior, em torno de 1085 g/m^2 (Tabela 4). Devido à diferença nestas duas variáveis, foram realizadas algumas comparações, para o melhor entendimento dos anos agrícolas 2010 e 2011.

Como visto anteriormente, no ano de 2010 a média do rendimento de grãos foi maior que no ano de 2011, a sua associação com o número de dias da emergência ao florescimento (DEF), foi quadrática ($R^2 = 0,08$), para o primeiro ano, sendo que o aumento do número de DEF causou um acréscimo no rendimento de grãos até 88 dias, após este valor ocorre uma redução no rendimento de grãos em função dos DEF (Figura 19-A). A primeira parte da regressão, onde houve um aumento do rendimento de grãos com o aumento do número de DEF pode ser explicada pelo fato de que o aumento do número de DEF provoca um acréscimo na biomassa aparente (Figura 21-A), pois a planta tem um tempo maior para produzir biomassa. Enquanto que o aumento da biomassa aparente tem relação direta, linear e positiva com o rendimento de grãos (Figura 19-C), apresentando R^2 de 0,08. Desta forma, o aumento do número de DEF promoveu um aumento na biomassa aparente, enquanto que o aumento na biomassa aparente causou um aumento no rendimento de grãos.

Para a segunda parte da regressão, onde ocorreu uma redução no rendimento em função do DEF, esta associação pode ser explicada pelo fato que o aumento no DEF também está associado com um acréscimo na estatura da planta (Figura 21-B). Enquanto que o aumento na estatura provoca um acréscimo no acamamento, e este é associado negativamente com o rendimento de grãos (Figura 19-D).

Por outro lado, no ano de 2011, a relação entre DEF e rendimento de grãos foi negativa, isto pode ser explicado pela média mais alta vista para este ano nos DEF, que foi de 92 dias (Tabela 4), com amplitude de 80 a 105 dias (Figura 26-A), desta forma os baixos valores de DEF no ano de 2010, onde foi visto uma relação positiva com

rendimento de grãos (Figura 19-A), não foi observada para o ano de 2011 (Figura 26-A). Além disto, devido à competição com o azevém, no ano de 2011 não foi observada relação entre biomassa aparente e os DEF (Figura 29-A). A redução do rendimento de grãos em função do aumento do número de DEF, em 2011, provavelmente ocorreu devido ao aumento da estatura que esta relacionada com os DEF (Figura 29-B), e este aumento na estatura provoca um aumento no acamamento (Figura 29-C), que é negativamente associado com o rendimento de grãos (Figura 26-D).

Além das diferenças observadas na condução do experimento entre os anos de 2010 e 2011, principalmente ocorridas pela infestação de plantas daninhas e semeadura mais precoce no ano de 2011, outras características ambientais, tais como precipitação pluviométrica, velocidade do vento, temperatura média e radiação solar global diária, podem ter contribuído para as diferenças encontradas em algumas características agrônômicas entre os dois anos de avaliação. Estas variáveis ambientais foram gentilmente cedidas pelo professor Ricardo Wanke de Melo da Estação Experimental Agrônômica (EEA) da UFRGS, que permitiu compara-las com o ciclo da cultura da aveia observado no experimento atual. Devido a estes dados não fazerem parte da dissertação, somente utilizados como observações a cerca de diferenças meteorológicas dos anos de 2010 e 2011, os mesmos não foram incluídos nos resultados, apenas fazendo parte dos apêndices.

O acamamento apresentou diferença significativa entre os anos de avaliação (Tabela 4), sendo que ocorreu maior acamamento no ano de 2011, com média de 30%, em comparação ao ano de 2010, com média de 23,3%. Este maior acamamento no ano de 2011 pode ter ocorrido pela maior velocidade dos ventos neste ano, principalmente nos períodos vegetativo e de enchimento de grãos. Esta variável é avaliada próximo ao final do ciclo da cultura, ou seja, no final do enchimento de grãos, neste período ocorreu maior velocidade dos ventos no ano de 2011 com média próxima a 8 km.h^{-1} , enquanto que 2010 apresentou média próxima a $4,4 \text{ km.h}^{-1}$ para o mesmo estágio (Apêndice 1). No mesmo sentido, a

maior precipitação pluviométrica no segundo ano de avaliação pode ter contribuído para o maior acamamento neste ano, sendo que em 2011 choveu aproximadamente 70 mm e em 2010 apenas 20 mm durante o enchimento de grãos (Apêndice 2).

Além da incidência de plantas daninhas no ano de 2011, o maior rendimento de grãos em 2010 (Tabela 4) pode ter ocorrido pelas condições climáticas mais favoráveis para este ano. Durante o período vegetativo da cultura, uma maior radiação solar, mensurada através da variável radiação solar global diária, pode ter contribuído para aumentar a biomassa aparente e o número de panícula por metro. Apesar da biomassa aparente não apresentar diferença significativa (Tabela 4), esta variável foi maior no ano de 2010 do que no ano seguinte. Somado a isto, o número de panículas por metro quadrado apresentou diferença significativa entre os anos, com maior número de panículas no ano de 2010 (Tabela 4). Desta forma, a radiação solar global diária foi maior no ano de 2010, principalmente no início do período vegetativo, chegando a apresentar $50 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ acima do ano de 2011 (Apêndice 3) para este estádio. Com maior radiação solar no período vegetativo, pode ter ocorrido um aumento no perfilhamento dos genótipos de aveia, o que contribui para o incremento na biomassa aparente e no número de panículas por metro quadrado.

No ano de 2010 o período da semeadura até a emergência foi de 4 dias, enquanto que em 2011 foi de 11 dias. A maior velocidade de emergência no primeiro ano pode ter ocorrido pela temperatura média mais elevada durante este período, como é observado no Apêndice 4.

O objetivo central de um programa de melhoramento de uma espécie agrícola é desenvolver genótipos que possuam elevado rendimento de grãos, isto não é diferente para o programa de melhoramento da UFRGS (Federizzi & Pacheco, 2009). Esta variável é tão importante, que no teste de valor, cultivo e uso (VCU), teste necessário para lançamento comercial de uma nova variedade, a Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia (CBPA)

somente aceita a recomendação comercial deste, se o genótipo obtiver rendimento de grãos acima de 5% da melhor testemunha avaliada no VCU. Este teste é realizado através de três diferentes ensaios: Ensaio Preliminar (um ou dois locais, por um ano), Ensaio Regional (oito a nove locais, por um ano) e Ensaio Brasileiro (nove a dez locais, por dois anos). Para uma cultivar ser lançada comercialmente, a linhagem testada terá que apresentar rendimento de grãos acima de 5% da melhor testemunha em todos os locais nos últimos três anos (Ensaio Regional e Brasileiro). A cultivar poderá ser lançada regionalmente se apresentar rendimento de grãos acima de 5% da melhor testemunha nos últimos quatro anos de teste, porém somente será recomendada de forma regionalizada (Federizzi & Pacheco, 2009).

Conforme a importância vista do rendimento de grãos, o programa de melhoramento da UFRGS obteve progresso genético, com todos os genótipos avaliados, de 38,7 e 29,5 kg.ha⁻¹ a cada ano de seleção, nos anos de avaliação 2010 e 2011, respectivamente (Figura 2). Estas estimativas são menores do que as observadas por Barbosa Neto *et al.* (2000), que conseguiram estimativas de progresso genético do rendimento de grãos de 44 kg.ha⁻¹ ao ano, onde foram analisadas cultivares desenvolvidas no sul do Brasil entre os anos de 1982 a 1996. Os autores incluíram os genótipos Suregrain e Coronado em suas análises, os quais são de origem norte-americana e são mais antigos que as cultivares brasileiros. Utilizando estes genótipos norte-americanos que possuem menor adaptabilidade às condições sul brasileiras, o progresso genético observado por estes autores pode apresentar estimativas maiores que as observadas no atual experimento. Além disso, a utilização de cultivares que já passaram pelo teste de VCU pode ter aumentando as estimativas apresentadas por Barbosa Neto *et al.* (2000). Enquanto que no atual experimento, apenas linhagens e cultivares foram utilizadas para esta estimativa.

Com o mesmo objetivo, Redaelli *et al.* (2008) obtiveram progresso genético em genótipos de aveia da Itália de 36 kg.ha⁻¹ a cada ano de seleção, durante os anos de 1969 a

2004 em 8 ambientes diferentes. A estimativa de progresso genético foi praticamente a mesma quando observadas com tratamento de irrigação ou sem irrigação, apresentando valores de 34 e 31 kg.ha⁻¹ a cada ano de seleção, respectivamente.

Por outro lado, o progresso genético do rendimento de grãos para cultivares de trigo lançadas entre os anos de 1940 a 1992 no Sul do Brasil apresentaram um aumento de 17,27 kg.ha⁻¹ a cada ano de seleção, durante os 52 anos de melhoramento genético da EMBRAPA Trigo (Nedel, 1994). E para as cultivares de soja desenvolvidas no Sul do Brasil as estimativas de progresso genético variaram de 18,1 a 26,8 kg.ha⁻¹ ao ano para genótipos com ciclo tardio, de 18,5 a 71,5 kg.ha⁻¹ ao ano para genótipos de ciclo médio e não foi visto progresso genético para as cultivares de ciclo precoce (Lange & Federizzi, 2009).

No ano de 2010, considerando todos os genótipos avaliados e pertencentes a UFRGS, foi estimado um aumento no rendimento de grãos de 4170 kg.ha⁻¹, para 5331 kg.ha⁻¹, o que corresponde a um aumento de 28% no rendimento de grãos durante 30 anos de melhoramento genético da instituição. Enquanto que no ano de 2011, o aumento foi de 4200 kg.ha⁻¹ para 4959, correspondendo a um acréscimo no rendimento de grãos de 18% (Figura 2). Estes valores são semelhantes aos observados pelos autores Wych e Stuthman (1983), que estimaram um aumento de 43% no rendimento de grãos em genótipos de aveia desenvolvidos durante 56 anos de melhoramento em Minnesota, resultando em um aumento médio anual de 0,77% ao ano, enquanto o aumento observado no rendimento de grãos no germoplasma da UFRGS foi de 0,93% e 0,60% ao ano, nas estimativas de 2010 e 2011, respectivamente. É importante ressaltar que Wych e Stuthman (1983) incluíram somente cultivares lançadas em Minnesota, enquanto no atual experimento foram incluídas linhagens na análise, o que poderia reduzir a estimativa do progresso genético de rendimento de grãos, já que não passaram pelo teste de VCU.

Para os maiores valores de cada ano de desenvolvimento das linhagens, o rendimento de grãos teve progresso genético nos dois anos de avaliação (Figura 2). Indicando que ainda não se atingiu o potencial de rendimento de grãos para este germoplasma. Por outro lado, para os menores valores de cada ano de lançamento, o rendimento de grãos se manteve constante durante os 30 anos de melhoramento genético, tanto no ano de avaliação 2010, como em 2011 (Figura 3). Como a seleção é realizada para obter maiores rendimentos de grãos, os genótipos que possuem baixos valores, talvez, se mantiveram no germoplasma da UFRGS devido a outras características, como resistência a moléstias ou alta qualidade de grãos.

Os dias de emergência ao florescimento, considerando todos os genótipos avaliados pertencentes a UFRGS, tiveram um progresso genético de -0,292 e -0,255 dias a cada ano de melhoramento genético, nos anos de avaliação 2010 e 2011, respectivamente (Figura 3). Ficando abaixo dos valores estimados para as cultivares avaliadas no experimento de Barbosa Neto *et al.* (2000), que utilizaram genótipos desenvolvidos entre os anos de 1955 a 1996, com uma redução de 1,5 dias dos DEF. Como foram utilizados genótipos mais antigos como Suregrain e Coronado esta estimativa pode ter aumentado de magnitude, se comparada com os dados estimados para os genótipos da UFRGS. Por outro lado, Lynch e Frey (1993) não identificaram progresso genético para esta variável com cultivares de aveia norte-americanas do estado de Yowa.

A redução na variável DEF foi de 8% em 2010 e 6,5% em 2011 durante os 30 anos de melhoramento de aveia da UFRGS. Estes valores estão abaixo dos valores de redução nos DEF para as cultivares de aveia da Itália, que apresentaram redução de 9,5%, iniciando com 46 e atingindo 42 dias durante os anos de 1969 a 2004 (Redaelli *et al.*, 2008). De forma contrária, Nedel (1994) observou um incremento no ciclo do perfilhamento a antese de 91 para 95 dias em cultivares de trigo desenvolvidas durante os anos de 1940 a 1994, correspondendo a um aumento de 4,4% durante 52 anos de seleção. Esta característica

apresentou, na grande maioria dos trabalhos, uma alta herdabilidade, como observadas por Bertan *et al.* (2002), que encontraram valores de 0,6, enquanto Amaral *et al.* (1995) obtiveram valores de 0,19 a 0,59. Esta alta herdabilidade dos DEF permitiu uma seleção direta para a redução desta característica, tendo menor influência do ambiente.

A redução do ciclo da cultura da aveia sempre foi um dos objetivos do programa de melhoramento de plantas da UFRGS, porque uma maior precocidade permitiria fazer da cultura da aveia uma cultura rentável para a estação de inverno no Sul do Brasil (Federizzi, 2002), já que são realizados dois cultivos a cada ano nesta região, possibilitando o ajuste da cultura a sucessão com culturas de verão como a soja. Federizzi & Pacheco (2009) comentam que houve uma redução nos DEF de 190 para 130 dias durante os primeiros anos de melhoramento genético, entre as primeiras cultivares americanas e canadenses que se adaptaram as condições Sul-brasileiras e as primeiras cultivares desenvolvidas na região Sul do Brasil. No atual experimento, não foi possível verificar esta redução, uma vez que, foram utilizadas somente linhagens e cultivares desenvolvidas pela UFRGS. Porém os dados mostram que os valores superiores de cada ano de desenvolvimento das linhagens teve, em seu início, valor estimado de 93,6 e 103 dias em 2010 e 2011, respectivamente (Figura 3). Estes dados demonstram que a redução apontada por Federizzi & Pacheco (2009) ocorreu antes do desenvolvimento das primeiras cultivares da UFRGS.

Como observado anteriormente, a média de DEF em 2011 (92 dias) foi maior que a vista em 2010 (87 dias), fazendo com que as estimativas de progresso genético desta variável, para os menores valores de cada ano de desenvolvimento das linhagens, fossem maiores que as do ano de 2010 (Figura 3). No ano de 2010 ocorreu uma redução no número de DEF até o ano de 1995, mantendo-se constante após essa data, com média de 78,6 dias (Figura 3-A). Estes resultados indicam que o germoplasma existente atingiu o limite mínimo para esta variável em 1995 e se o objetivo ainda for a redução nos DEF será necessário a introgressão de materiais mais precoces nos cruzamentos. Por outro lado, a

seleção a partir de 1995 pode ter sido mais branda para a redução dos DEF, porque uma grande queda nos DEF causaria redução na biomassa aparente (Figura 21-A), provocando uma redução no rendimento de grãos (Figura 19-C).

Diferentemente, para o ano de 2011, considerando os valores inferiores de DEF, ocorreu uma redução durante os 30 anos de melhoramento genético (Figura 3-B), esta queda contínua foi observada porque os valores de DEF no ano de 2011 foram superiores aos observados em 2010, não atingindo o valor mínimo estimado de 78,6 dias, valor este observado somente no primeiro ano de avaliação.

Todas essas reduções vistas para a variável DEF foram influenciadas pela seleção de genótipos mais precoces além de cruzamentos com cultivares ou linhagens que possuíam genética favorável para atingir este objetivo. Foram identificadas duas cultivares dentro do germoplasma da UFRGS que apresentavam genes dominantes para precocidade. A cultivar UFRGS 8 possui um gene de grande efeito para esta característica sendo conhecido como um gene de insensibilidade ao fotoperíodo, enquanto a cultivar UFRGS 7 possui dois genes de menor efeito para precocidade (Locatelli *et al.*, 2008). Observando a genealogia dos materiais estudados no atual experimento (Tabela 1), foi possível identificar linhagens desenvolvidas durante os anos de 1991 a 2001 que derivam de cruzamentos com UFRGS 8 ou UFRGS 7. Sendo que foram avaliadas 31 linhagens ou cultivares desenvolvidas durante os anos de 1991 a 2001, das quais 10 possuíam genealogia direta com UFRGS 8 ou UFRGS 7. Estas observações mostram que estes dois genótipos ajudaram a reduzir o DEF durante os anos de melhoramento genético da instituição.

A redução no DEF durante os 30 anos de seleção poderia causar uma redução na biomassa aparente, visto que esta relação foi linear e positiva para o ano de 2010 (Figura 21-A). Porém, considerando todos os genótipos avaliados e pertencentes a UFRGS, a biomassa aparente não foi alterada durante 30 anos de seleção, tanto para o ano de

avaliação 2010 quando em 2011 (Figura 5). Estes dados estão de acordo com Barbosa Neto *et al.* (2000), que avaliaram a biomassa aparente das cultivares do sul do Brasil e também não verificaram diferenças desta variável durante os anos de 1955 a 1996. Por outro lado, cultivares de trigo desenvolvidas pela EMBRAPA Trigo durante os anos de 1940 a 1992 apresentaram um leve incremento de 122,4 para 127,4 g.m⁻², correspondendo a um aumento de apenas 4% em 52 anos de melhoramento genético (Nedel, 1994).

Isto ocorre porque, no melhoramento, a seleção não é realizada apenas para uma característica agrônômica. A biomassa aparente pode ter se mantido porque a seleção também foi realizada para o rendimento de grãos, que apresenta associação positiva com a biomassa aparente (Figura 19-C). Desta forma, mesmo a seleção para reduzir o DEF, que poderia reduzir a biomassa aparente durante os anos, e a seleção para aumentar o rendimento de grãos, que poderia aumentar a biomassa aparente, provocou a estabilização da biomassa aparente durante os anos de melhoramento da instituição.

Outra característica que pode ter influenciado na estabilidade da biomassa aparente ao longo dos anos foi o índice de colheita, esta variável foi associada positivamente com o rendimento de grãos, nos dois anos de avaliação (Figura 19-J e Figura 26-J). O índice de colheita é a relação entre massa de grãos produzida pela planta e sua biomassa aparente, no ano de 2010 não foi visto associação entre estas variáveis, porém quando avaliados cada genótipo individualmente, foi observado que a maioria dos genótipos possuía relação positiva entre as duas características (22-A). Portanto, o aumento que foi visto no índice de colheita, durante os 30 anos de seleção (Figura 15), deveria provocar aumento na biomassa aparente, mas isto não foi observado, com o passar dos anos de seleção, a relação negativa entre biomassa aparente e índice de colheita, levando em consideração cada genótipo, foi aumentada de 25% nos anos de 1978 a 1987, para 29,6% nos anos de 1990 a 1999, até atingir 40,82% nos anos de 2002 a 2008 (Figura 22-B, Figura 22-C e Figura 22-D). O aumento na proporção destes genótipos, nos quais o aumento da biomassa aparente resulta

em redução do índice de colheita, pode ter provocado a estabilização da biomassa aparente durante os anos de seleção.

Por outro lado, em genótipos de trigo introduzidos entre os anos de 1977 a 1991 na Irlanda do Norte, White e Wilson (2006) estimaram o progresso genético da biomassa aparente em $3,4 \text{ g.m}^{-2}$ ao ano, sendo a principal característica que incrementou o rendimento de grãos em 37 kg.ha^{-1} a cada ano. Enquanto o índice de colheita teve um incremento até o ano de 1984 e uma redução após esta data. Os autores comentam que um aumento no índice de colheita é necessário para um incremento no rendimento de grãos, já que possuíam associação positiva ($R^2=0,36$), no entanto, esta variável possui um limite superior biológico, não permitindo maiores incrementos. White & Wilson (2006) sugerem que após atingir este máximo do índice de colheita, que para o trigo está próximo de 50%, a seleção deveria focar o aumento da biomassa aparente já que esta variável apresentou uma alta associação com o rendimento de grãos ($R^2=0,71$). Comparando estas observações com os dados do atual experimento observa-se que o índice de colheita ainda não atingiu seu máximo para os genótipos de aveia, o que pode justificar a falta de progresso genético para a biomassa aparente.

Além disso, a estagnação da biomassa aparente pode ter sido provocada pela seleção realizada para aumentar o vigor inicial e reduzir a estatura das plantas. Com a consolidação do plantio direto durante a segunda metade da década de 90, os programas de melhoramento precisaram focar a sua seleção em genótipos que apresentavam maior vigor inicial para romper a camada superficial do solo juntamente com a palha em decomposição (Luiz Carlos Federizzi & Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal). O que pode ter causado um aumento da biomassa aparente, já que o vigor inicial é selecionado através de nota visual das plantas que apresentam maior velocidade para produzir biomassa e cobrir de forma rápida as entre linhas das parcelas. Enquanto que a seleção realizada para reduzir a estatura das plantas, devido a suscetibilidade ao acamamento de plantas mais altas,

poderia ter causado uma redução na biomassa aparente, pois estas duas características agrônômicas são associadas de forma linear e negativa (Figura 21-E). Estas duas seleções, de forma independente, porém com forças opostas, podem ter causado a estagnação da biomassa aparente durante os 30 anos de melhoramento genético (Figura 5-A e B).

A estatura de plantas teve uma relação quadrática com o rendimento de grãos (Figura 19-B), no ano de 2010, sendo que entre a estatura de aproximadamente 88 até 102 cm, o aumento na estatura promoveu acréscimo no rendimento de grãos. Isto pode ser explicado pela relação positiva da estatura de plantas com a biomassa aparente, no ano de 2010 (Figura 21-E). Desta forma, o acréscimo da estatura promoveu aumento na biomassa aparente, e esta aumentou o rendimento de grãos (Figura 19-C). Porém, para o mesmo ano de avaliação, o incremento na estatura, de 102 cm até 135 cm, teve relação negativa com o rendimento de grãos (Figura 19-B), pois plantas com estatura mais elevada são mais suscetíveis ao acamamento, como base na associação negativa entre estas duas características (Figura 21-C), refletindo na redução do rendimento de grãos, uma vez que foi observado associação linear negativa entre acamamento e rendimento de grãos em 2010 (Figura 19-D). Estes valores estão de acordo com Redaelli *et al.* (2008), em que observaram uma redução no rendimento de grãos em função do aumento da estatura das plantas, em aveia.

Em comparação com o ano de 2010, que apresentou uma associação positiva entre a estatura e o rendimento de grãos até a altura de 102 cm, no ano de 2011, a associação foi somente negativa (Figura 26-B). Isto ocorreu por não ter havido associação entre a estatura de plantas e a biomassa aparente neste ano (Figura 29-E). Desta forma o aumento na estatura não promoveu acréscimo na biomassa aparente, o que não incrementou no rendimento de grãos (Figura 21-C). Conforme comentado anteriormente, a biomassa aparente foi afetada em 2011 pelo efeito da competição com o azevém, repercutindo em uma associação muito fraca com o rendimento de grãos ($R^2 = 0,0672$). Além disso, na

regressão linear múltipla do rendimento de grãos, em 2010, a biomassa aparente teve um coeficiente de regressão positivo e significativo pelo teste *T* de Student (Tabela 5), enquanto que esta variável não teve efeito significativo no rendimento de grãos no ano de 2011 (Tabela 7).

Em 2011, a associação negativa entre estatura e rendimento de grãos, pode ser explicada pelo mesmo motivo que em 2010, sendo que plantas mais altas tendem a acamar (Figura 29-C) e o acamamento teve associação negativa com o rendimento de grãos (Figura 26-D). A redução no rendimento de grãos pelo aumento da estatura também pode ser visto no experimento de Dumlupinar *et al.* (2012), onde estas duas variáveis tiveram correlação de -0,28 em genótipos de aveia desenvolvidos na Turquia.

O progresso genético da estatura de plantas estimado para o ano de 2010, considerando todos os genótipos de aveia avaliados e pertencentes ao germoplasma da UFRGS, foi de -0,156 cm a cada ano de seleção, enquanto que no ano de 2011 esta estimativa foi de -0,238 cm a cada ano de melhoramento genético (Figura 4). Redução inferior aquela apresentada no trabalho de Barbosa Neto *et al.* (2000), quando é feita uma análise dos dados das cultivares desenvolvidos no Sul do Brasil durante os anos de 1982 a 1996, sendo verificado uma redução de 1,68 cm ou de 0,60 cm na estatura de plantas, dependendo do ambiente de teste.

A redução da estatura de plantas para o ano de 2010 foi de 101 para 90,6 cm, correspondendo a uma redução de 11,5%, enquanto que para o ano de 2011 a redução foi de 112 para 105 cm, correspondendo a 6,8% de redução. Estes valores estão próximos ao observado por Redaelli *et al.* (2008), onde verificaram redução de 12% na estatura de cultivares de aveia italianas durante os anos de 1969 a 2004. O que também ocorreu em cultivares de trigo desenvolvidas na EMBRAPA Trigo entre os anos de 1940 a 1992, onde a redução na estatura foi de 107,4 para 95,1 cm, correspondendo a uma redução de 13% na estatura, durante 52 anos de melhoramento genético (Nedel, 1994).

Parte da redução na estatura de plantas, durante os anos de seleção, pode ter sido devido à sua associação positiva com a suscetibilidade ao acamamento (Figura 21-C e Figura 29-C), não permitindo com que os genótipos de maior estatura expressassem o seu potencial de rendimento de grãos (Figura 19-D e Figura 26-D). A redução na estatura de plantas durante os anos de melhoramento genético deve também ter sido alcançada pela seleção direta de genótipos com menores valores deste caráter, uma vez que apresenta uma alta herdabilidade. Nava *et al.* (2010) estimaram herdabilidade em torno de 0,79 para estatura de plantas, em uma população de linhagens recombinantes desenvolvida a partir do cruzamento entre UFRGS 17 e UFRGS 930598-6.

Para os valores inferiores de estatura em cada ano de desenvolvimento das linhagens, a estatura de plantas teve redução linear ao longo dos 30 anos de melhoramento, nos anos de 2010 (Figura 4-A) e 2011 (Figura 4-B). Esta redução contínua verificada para os valores inferiores mostra que a estatura não chegou ao limite mínimo da variabilidade existente no germoplasma e, também, que a estatura baixa não compromete outras características como o rendimento de grãos, pelo contrário, tendendo a aumentar estes valores.

Os valores superiores de estatura em cada ano de desenvolvimento das linhagens não teve modificação durante os 30 anos de melhoramento, considerando os dados estimados no ano de 2010 (Figura 4-A), enquanto que para o ano de 2011, os valores estimados tiveram uma redução de 0,373 cm ao ano (Figura 4-B). Estas diferenças verificadas para os anos de avaliação podem ter ocorrido porque no ano de 2011, devido ao plantio mais antecipado, as plantas tiveram maior ciclo, e ficaram mais tempo no campo, podendo expressar a máxima estatura de cada genótipo, já que existiu uma associação linear e positiva entre DEF e estatura, nos dois anos de avaliação (Figura 21-B e Figura 29-B).

Observando as médias de estatura de plantas para cada ano de avaliação, os genótipos apresentaram valores similares de aproximadamente 107 cm. Por outro lado, devido ao maior ciclo no ano de 2011, com média de 92 dias da emergência ao florescimento (Tabela 4), as plantas tiveram maior tempo para expressar o potencial de estatura, como mostra a estimativa dos valores superiores no ano de 2011, que mostrou redução de, aproximadamente, 130 cm para 120 cm após 30 anos de melhoramento (Figura 4-B). Enquanto que no ano de 2010, com menor tempo para expressar a sua máxima estatura, estes valores mantiveram-se constantes durante os anos de seleção, com média estimada em torno de 120 cm (Figura 4-A). Outra observação que comprova esta expressão maior da estatura no ano de 2011 é verificada na estimativa do progresso genético da estatura para cada ano de avaliação. No ano de 2010, quando foram utilizados somente os valores inferiores de cada ano de desenvolvimento das linhagens, o progresso genético foi de -0,346 cm a cada ano de seleção (Figura 4-A), enquanto que para o ano de 2011 a estimativa foi de -0,435 cm a cada ano de melhoramento genético (Figura 4-B), comprovando que a amplitude na estatura, para o ano de 2011, foi superior ao ano de 2010.

Além da seleção realizada para reduzir a estatura de plantas, alguns cruzamentos entre genótipos com menor estatura podem ter ajudado a diminuir esta característica durante os 30 anos de melhoramento genético da instituição. Dentro do germoplasma da UFRGS foram observados dois sistemas distintos governando estatura de plantas, onde o primeiro é baseado em dois genes dominantes para baixa estatura vistos nas linhagens UFRGS 884095 e UFRGS 884077 (Federizzi *et al.*, 1996b; Milach & Federizzi, 2001). Estes autores sugerem que estes genes deveriam ser os genes *Dw6* e *Dw7*. O segundo sistema foi observado nas cultivares UFRGS 7 e UFRGS 15, contendo genes de menor efeito e recessivos. Os mesmos autores observaram que os dois sistemas estão próximos no genoma tendo uma dificuldade para recombiná-los. Estes quatro genótipos e suas linhagens irmãs são observados dentro da genealogia de diferentes linhagens e cultivares

desenvolvidas no programa de melhoramento da instituição (Tabela 1), o que comprova a utilização destes genes para a redução da estatura durante os anos de melhoramento genético.

O acamamento de plantas é uma das principais variáveis indesejáveis em um programa de melhoramento genético de espécies agrícolas com finalidade na produção de grãos, pois um aumento no acamamento provoca redução no rendimento de grãos, o que foi verificado na associação negativa entre estas duas variáveis, tanto no ano de avaliação 2010 (Figura 19-D) quanto no ano de 2011 (Figura 26-D).

O acamamento reduz o rendimento de grãos indiretamente, pois o efeito direto é observado na qualidade dos grãos. Neste experimento foram avaliadas duas variáveis que fazem parte das características de qualidade de grãos, uma delas é a massa de mil grãos, que tem direta associação com o enchimento do grão, enquanto que a segunda, é o peso do hectolitro, que representa o peso dos grãos em um determinado volume, muito associado com o rendimento industrial (Peterson *et al.*, 2005).

No ano de 2010, o aumento do acamamento acarretou redução na massa de mil grãos (Figura 21-P), e no peso do hectolitro (Figura 21-O). Estas duas variáveis, que representam características de qualidade dos grãos, tiveram associação fraca entre si ($R^2 = 0,08$) (Figura 21-M). Uma redução nestas duas variáveis provoca uma redução no rendimento de grãos, uma vez que a associação da massa de mil grãos e peso do hectolitro com o rendimento de grãos também foi positiva (Figuras 19-H e 19-I). Por estas observações pode-se dizer que o aumento no acamamento provoca uma redução no rendimento de grãos, de forma indireta, pelo efeito causado na massa de mil grãos e no peso do hectolitro.

No ano de avaliação 2011, foi observada a mesma relação entre acamamento e rendimento de grãos, onde o aumento no acamamento reduziu o rendimento de grãos (Figura 26-D), apresentando maior associação ($R^2=0,3$) dentre as relações obtidas para o

rendimento de grãos neste ano, o que comprova sua importância dentro do programa de melhoramento.

Considerando todos os genótipos avaliados, o valor estimado do progresso genético do acamamento, para o ano de 2010, foi de -0,684% a cada ano de melhoramento genético (Figura 6-A). Enquanto que no ano de 2011, ocorreu uma redução rápida na ordem de 4,25% a cada ano de seleção até o ano de 1990, a partir desta data ocorreu um aumento do acamamento na ordem de 1,47% (Figura 6-B). O aumento do acamamento verificado para o ano de 2011 ocorreu em função da maior estatura de plantas observada neste ano. Estando de acordo com a relação entre acamamento e estatura, observada nos dois anos de avaliação, onde o aumento na estatura acarreta maior acamamento (Figura 21-C e Figura 29-C), além do aumento de competição provocada pelas plantas daninhas em 2011. Peltonen-Sainio e Jäirvinen (1995) observaram que cultivares modernas de aveia apresentaram um aumento no acamamento de 3 para 68%, quando a densidade de semeadura foi aumentada de 200 para 700 sementes por metro quadrado.

Porém, se forem considerados apenas o primeiro e o último ano de desenvolvimento das linhagens, o acamamento teve uma redução parecida ao longo dos 30 anos de seleção, para os anos de 2010 e 2011. Sendo que, no ano de 2011, a redução no acamamento foi de 41%, partindo de 63,7% de acamamento em 1978 e atingindo 37,5% em 2008 (Figura 6-B), o que corresponde a uma queda de 1,37% a cada ano de seleção. Enquanto que em 2010, a redução foi de 55,46%, partindo de 37% em 1978 e atingindo 16,5% em 2008 (Figura 6-A), o que corresponde a uma redução de 1,85% ao ano. Estes valores estão de acordo com Mladevov *et al.* (2011), que observaram um progresso genético do acamamento de -1,56% a cada ano de seleção para cultivares de trigo lançadas entre os anos de 1955 a 2006 na Sérvia.

Como a seleção é realizada para reduzir o acamamento, quando observados os genótipos com valores inferiores de acamamento, para cada ano de desenvolvimento das

linhagens, a redução ocorreu até atingir o valor mínimo desta variável, que nos dois anos ficou próximo de zero. Por outro lado, os valores superiores de cada ano de desenvolvimento das linhagens permaneceram constantes nos dois anos de avaliação, durante os 30 anos de seleção, estes genótipos podem ter sido selecionados por possuírem outras características agronômicas importantes.

A redução no acamamento deve ter sido realizada, em parte, pela seleção direta contra as plantas que possuem altos valores desta característica, pelas observações já destacadas, em que o acamamento reduz o rendimento de grãos. Mas também, de forma indireta, pela redução na estatura de plantas ao longo dos 30 anos de seleção (Figura 4). Com estaturas mais altas, as plantas têm maior suscetibilidade ao acamamento (Figura 21-C e Figura 29-C). Estas observações estão de acordo com Mladevov *et al.* (2011), os quais encontraram uma correlação elevada (0,873) entre acamamento e estatura, no estudo do progresso genético de algumas características agronômicas em cultivares de trigos sérvios, desenvolvidos entre 1955 a 2006, obtendo uma redução na estatura de 0,48 cm a cada ano de seleção, além de um decréscimo do acamamento de 1,56% a cada ano de melhoramento. De Vita *et al.* (2007) enfatizam que para cereais de inverno a seleção na redução da estatura e do ciclo da cultura ajudam na redução do acamamento, além de aumentar o IC, fazendo com que aumente o rendimento de grãos e a qualidade destas sementes. Porém, a utilização da seleção indireta deve ser realizada de forma cautelosa, pois cada uma destas características associadas possui um limite, na qual poderão reduzir o rendimento de grãos. Um exemplo é a redução na estatura que pode causar prejuízos a biomassa aparente, acarretando em baixo potencial produtivo.

Normalmente, o índice de colheita não é selecionado de forma direta dentro do programa de melhoramento genético, devido à necessidade de maior tempo e mão de obra, para realizar esta atividade. Levando em consideração que as populações segregantes são grandes, a mensuração desta variável se torna impossível, até mesmo para as linhagens

puras do programa de melhoramento, quando estas, estão nos ensaios de rendimento de grãos. Assim, a seleção é realizada de forma indireta, com as mudanças realizadas para as outras características agronômicas. A seleção também se torna difícil, de forma direta, porque o ambiente tem grande influência na expressão desta característica. Índices de colheita baixos podem ser causados por condições climáticas favoráveis durante a fase vegetativa e condições climáticas desfavoráveis na fase de enchimento de grãos (Peltonen-Sainio *et al.*, 2008).

O índice de colheita, de modo geral, apresentou aumento durante os anos de melhoramento genético para os genótipos avaliados pertencentes à instituição. Sendo que, quando foram considerados todos os genótipos do programa avaliados neste experimento, o progresso genético do IC foi estimado em 0,175% a cada ano de melhoramento para o ano de 2010 (Figura 15-A), enquanto que para o ano de 2011 este valor foi de 0,167% a cada ano de seleção (Figura 15-B). Estes valores não estão de acordo com a estimativa do IC realizada para as cultivares lançadas no Sul do Brasil entre os anos de 1982 a 1996, onde Barbosa Neto *et al.* (2000) não verificaram diferenças no índice de colheita durante os 14 anos de melhoramento. Os genótipos mais modernos desenvolvidos durante os anos de 2000 a 2008 pela UFRGS, além do maior número de genótipos avaliados neste experimento, podem ter contribuído para identificar o incremento nesta variável.

Apenas os genótipos que possuíam valores inferiores de IC, para cada ano de desenvolvimento das linhagens, apresentaram um aumento inicial muito superior no índice de colheita até o ano de 1981, no ano de avaliação 2010 (Figura 15-A). Como o aplicativo computacional SegReg (Oosterbaan, 2010), utilizado para análise, buscava um ponto de quebra na regressão, os valores altos vistos para os anos de 1978 e 1981, no ano de avaliação 2010 propiciaram um aumento aquém do esperado para o período, já que foram considerados apenas dois anos de seleção. Este resposta não se confirmou no ano de

avaliação 2011 (Figura 15-B), mostrando que o progresso genético do índice de colheita é contínuo durante os anos de melhoramento genético.

O índice de colheita teve uma associação positiva com o rendimento de grãos, tanto para o ano de 2010 (Figura 19-J) como para o ano de 2011 (Figura 26-J). Isto também foi visto na análise múltipla do rendimento de grãos, sendo que o acréscimo de 1% no IC aumentou 62,99 kg.ha⁻¹ no rendimento de grãos, no ano de avaliação 2010, estes dados comprovam a importância do aumento do índice de colheita.

Como comentado anteriormente, o índice de colheita é selecionado de forma indireta, através da seleção para outras características agronômicas. Desta forma, o IC teve associação quadrática com a estatura de plantas, na análise dos dados obtidos no ano de 2010, sendo que entre 90 cm e aproximadamente 100 cm, o aumento na estatura acarreta um aumento no índice de colheita. O que pode ser explicado pelo fato de que um aumento na estatura promove um acréscimo na biomassa aparente (Figura 21-E). A maioria dos genótipos avaliados neste experimento tiveram uma relação positiva entre biomassa aparente e índice de colheita (Figura 22-A e Figura 30-A), ou seja, quanto mais biomassa aparente a planta consegue acumular maior probabilidade haverá desta biomassa aparente se transformar em grãos. Isto até um determinado limite, pois, a medida que a estatura aumenta, entre 100 cm e 135 cm, ocorreu uma queda no índice de colheita (Figura 21-G), observado também no trabalho de Barbosa Neto *et al.* (2000), onde o índice de colheita e a estatura apresentaram correlação de -0,28.

A redução do índice de colheita com aumento da estatura, a partir de 100 cm, pode ser explicada pela associação negativa entre estatura e número de panículas por metro quadrado (Figura 21-H e Figura 29-H). Sendo que, quanto menor o número de panículas por metro quadrado menor é o índice de colheita (Figura 21-D). Isto também foi observado em genótipos de aveia cultivados na Finlândia, onde Peltonen-Sainio *et al.* (2008)

mostraram correlação direta de 0,36 entre o número de panículas por metro quadrado e o índice de colheita.

Em alguns casos, principalmente cereais de inverno, o aumento no perfilhamento pode não estar associado com o aumento no índice de colheita, porque nem todo perfilho produz grãos, assim, um elevado aumento no perfilhamento poderia aumentar a biomassa aparente sem aumento na produção de grãos, o que reduziria o índice de colheita. Porém, ao considerar o número de panículas por metro quadrado ou número de perfilhos férteis como a característica de perfilhamento, as variáveis IC e NPanM2 apresentam relação positiva (Figura 21-D). Estas observações estão de acordo com Nedel (1994), que estudou o progresso genético de trigo durante 52 anos de melhoramento e observou uma associação linear e positiva entre IC e espigas por metro quadrado. Enquanto não foi observada relação entre número de afilhos e o índice de colheita.

Para o ano de 2011, não foi vista associação entre biomassa aparente e estatura (Figura 29-E), provavelmente, devido à competição entre os genótipos do experimento com as plantas daninhas existentes, reduzindo a biomassa aparente destes genótipos. A falta de associação entre a estatura de plantas e a biomassa aparente deve ter contribuído para que a associação entre estatura e índice de colheita não fosse quadrática, fazendo com que os baixos valores de estatura não tivessem acréscimo no IC. A associação entre estatura e índice de colheita foi apenas linear e negativa, e relativamente forte, com R^2 igual a 0,30 (Figura 29-G). Desta forma, a redução na estatura de plantas promove aumento no número de panículas por metro quadrado (Figura 29-H) e no índice de colheita.

O aumento do índice de colheita nos 30 anos de melhoramento genético (Figura 15) foi alcançado através de seleção indireta para este caráter, sendo que a redução na estatura de plantas durante os anos de seleção contribuiu, em muito, para isto (Figura 4). Estas observações também foram vistas no trabalho de Mladenov *et al.* (2011), que mostraram

uma redução na estatura juntamente com incremento no IC durante 51 anos de melhoramento genético de trigo na Sérvia, apresentando uma correlação de -0,787 entre estas duas variáveis. Ender *et al.* (1994) estudaram a herança do índice de colheita em cultivares de trigo com diferentes estaturas de plantas e observaram que a herdabilidade ampla para o caráter era baixa, com grande influência do ambiente, porém a variância aditiva foi alta, permitindo a seleção direta para esta característica. No entanto, estes autores sugerem que a seleção deve ser realizada em populações segregantes avançadas, e que a estatura mais baixa ajudou a incrementar o índice de colheita durante os anos de melhoramento genético.

A redução na estatura sem alteração da biomassa aparente durante os anos de seleção (Figura 5) pode ter melhorado a arquitetura da planta, permitindo maior penetração de luz no dossel das plantas, o que pode ter contribuído para o incremento no número de panículas por metro quadrado com a redução da estatura (Figura 21-H e Figura 29-H). A melhor penetração de luz no dossel pode também contribuir para aumentar a capacidade de enchimento dos grãos, também explicando parte do aumento do índice de colheita com a redução da estatura. O aumento verificado no número de panículas por área (Figura 7), durante os 30 anos de melhoramento genético, colaborou para o incremento no rendimento de grãos (Figura 2). Estes dados estão de acordo com os resultados de Austin *et al.* (1989), que observaram um incremento no índice de colheita em torno de 0,0014% a cada ano de seleção em cultivares de trigo do Reino Unido que foram lançadas entre os anos de 1930 a 1983. Neste estudo, os autores mostraram que a não alteração da biomassa aparente e o incremento do índice de colheita favoreceram o progresso genético do rendimento de grãos, com um aumento de $23,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a cada ano de seleção. De forma diferente, Nedel (1994) observou um incremento no índice de colheita em cultivares de trigo durante 52 anos de melhoramento, onde ocorreu um pequeno aumento da biomassa aparente, porém, justifica que o aumento no IC ocorreu principalmente pela redução na estatura.

Para as cultivares de trigo e cevada, o índice de colheita ficou acima da grande maioria dos genótipos de aveia, principalmente no ano de 2011 (Figura 15-A e B), apresentando valores de 35 a 44% nos dois anos de avaliação, enquanto que apenas dois genótipos de aveia tiveram valores acima de 40% no ano de 2010 e apenas um no ano de 2011. Porém, os valores de trigo e cevada obtidos no atual experimento estão abaixo dos encontrados na literatura, onde White & Wilson (2006) comentam que o índice de colheita do trigo e cevada está próximo a 50% e Peltonen-Sainio e Jäirvinen (1995) encontraram índice de colheita acima de 50% para cevada, abaixo de 50% para aveia em genótipos da Finlândia. Considerando que o índice de colheita da aveia está abaixo dos demais cereais e que no atual experimento foram observados alguns genótipos de aveia com biomassa aparente de 1400 gramas por metro quadrado (Figura 5-B), o potencial produtivo da aveia poderia ser alcançado com um incremento no índice de colheita, chegando este a 50%, o que proporcionaria rendimento de grãos de aproximadamente 7000 kg.ha⁻¹.

O número de panículas por metro quadrado é uma variável que expressa o perfilhamento da planta e a capacidade de manter os afilhos vivos e férteis sob uma mesma densidade de semeadura, sendo que, durante a seleção de populações segregantes são selecionadas plantas que possuam maior número de colmos férteis, variável que mostrou uma associação positiva com o rendimento de grãos, embora fraca ($R^2 = 0,08$), como observada no ano de avaliação de 2010 (Figura 19-E). Com plantas que perfilhem mais, as desuniformidades de semeadura ou irregularidades na aplicação de fertilizantes são menos percebidas, pois as poucas plantas existentes na área compensarão com maior número de perfilhos e não permitirão a redução no rendimento de grãos.

Desta forma, o aumento na capacidade de perfilhamento, ou o aumento no número de panículas por metro quadrado, pode dar mais estabilidade de rendimento de grãos para a cultura. Federizzi *et al.* (1993), procurando identificar genótipos de aveia com maior estabilidade de grãos na região Sul do Brasil, testaram cultivares desenvolvidas pela

Universidade de Passo Fundo e UFRGS, onde foram incluídas as cultivares Suregrain, Coronado, UFRGS 1, UFRGS 2, UFRGS 4, UFRGS 7, UFRGS 8, UFRGS 9 e UFRGS 10. Dentre estes materiais, a UFRGS 7 foi a que se destacou com um maior rendimento de grãos e maior estabilidade, respondendo pouco à melhoria dos ambientes, com um coeficiente de regressão de 0,66, quando foram realizadas aplicações de fungicida. Nos resultados obtidos nesta dissertação, levando em consideração os genótipos citados acima, a cultivar UFRGS 7 foi a que apresentou maior número de panículas por metro quadrado, com média de 353,33 no ano de 2010 e de 345 em 2011. Mostrando que a maior estabilidade de rendimento de grãos da cultivar UFRGS 7 pode ter sido causada pelo maior número de panículas por área que este genótipo possuía em comparação aos demais.

Enquanto que, no ano de 2010 a associação entre rendimento de grãos e número de panículas por m² foi linear e positiva, embora fraca (Figura 19-E). No ano de 2011, a relação entre esses caracteres foi quadrática ($R^2 = 0,23$), sendo que o acréscimo de 225 a 400 panículas por metro quadrado teve uma relação positiva com o rendimento de grãos (Figura 26-E). Para os valores entre 400 e 475 panículas por metro quadrado foi encontrada associação negativa com o rendimento de grãos. Neste sentido, foi determinado que estes genótipos, com elevado número de panículas por metro quadrado tiveram uma estatura reduzida, sendo destacados na Figura 27-B. Devido à competição de plantas daninhas, no ano de 2011, genótipos que possuíam baixa estatura e elevado número de panículas por aérea podem ter reduzido o enchimento de grãos, pois foram observados que estes genótipos tiveram valores de peso de grãos da panícula abaixo da linha de tendência estimada, conforme verificado na Figura 27-C. O aumento do peso de grãos da panícula contribuiu para o aumento no rendimento de grãos, como foi observado na regressão linear múltipla (Tabela 7), onde o número de panículas por metro quadrado também foi associado significativamente com o rendimento de grãos, tanto linear como de forma quadrática.

O progresso genético no número de panículas por metro quadrado, considerando todos os genótipos pertencentes a UFRGS avaliados, foi estimado em 2,07 panículas por metro quadrado a cada ano de seleção em 2010 (Figura 7-A), enquanto que para o ano de avaliação 2011, esta estimativa foi de 1,1 panículas para cada ano de melhoramento genético (Figura 7-B). Estes dados foram similares ao encontrado por Mladenov *et al.* (2011), que estudando o progresso genético da cultura do trigo em regiões semiáridas, observaram um incremento de 0,8 espigas por metro quadrado a cada ano de seleção, durante os anos de 1955 a 2006, e este aumento foi o que mais incrementou o rendimento de grãos com uma correlação de 0,967, permitindo um progresso genético para o rendimento de grãos de trigo na ordem de 41 kg.ha⁻¹ a cada ano de seleção.

Este aumento do número de panículas por metro quadrado pode ter ocorrido em parte pela seleção direta, buscando genótipos que tivessem maior capacidade de perfilhamento, porém outras variáveis podem ter colaborado para este aumento. A redução na estatura durante os 30 anos de seleção, pode ter contribuído para o acréscimo no número de panículas por metro quadrado, já que a associação entre estas variáveis foi linear e negativa, nos dois anos de avaliação (Figuras 21-H e 29-H). Porém, somente a redução na estatura poderia provocar uma redução na biomassa aparente, pois estas possuem relação positiva (Figura 21-E), o que poderia causar uma redução no rendimento de grãos, visto que a associação é linear e positiva (Figura 19-C). No entanto, durante os anos de seleção, não foi observada redução na biomassa aparente, considerando todos os genótipos avaliados e pertencentes a UFRGS (Figura 5).

Os componentes do rendimento de grãos são conhecidos como as variáveis que contribuem na construção do rendimento de grãos, sendo que estas são divididas de forma cronológica. As variáveis pertencentes aos componentes do rendimento de grãos, que foram avaliados no experimento, são: número de panículas por metro quadrado, número de grãos por panícula, peso de grãos por panícula e massa de mil grãos. Além de ajudarem a

entender como o rendimento de grãos foi constituído, a determinação de alguns deles, tais como, número de panículas por área, número de grãos produzido por estas panículas e a massa de mil grãos, possibilita a estimativa do rendimento de grãos de uma determinada área.

Como as variáveis citadas possuem desenvolvimento cronológico e fazem parte da determinação do rendimento de grãos, as suas associações são compensatórias, ou seja, quando se aumenta o número de panículas por metro quadrado, a tendência é de redução no número de grãos por panícula, e a redução no número de grãos por panícula poderia causar aumento na massa de mil grãos. Estas associações foram vistas nos dois anos de avaliação, sendo que um aumento no número de panículas reduziu o número de grãos por panícula (Figura 21-J e Figura 29-J) e um aumento no número de grãos por panícula reduziu a massa de mil grãos (Figura 21-L e Figura 29-J). Estes dados estão de acordo com os observados por Barbosa Neto *et al.* (2000), que encontraram uma correlação de -0,25 entre número de panículas por metro quadrado e número de grãos por panícula, enquanto foi estimada uma correlação de -0,18 entre número de grãos por panícula e a massa de mil grãos.

Como observado anteriormente, nos dois anos de avaliação ocorreu aumento no número de panículas por metro quadrado, durante os 30 anos de melhoramento genético, quando foram considerados todos os genótipos da UFRGS avaliados neste experimento (Figura 7). Por este acréscimo do número de panículas por aérea, era esperado que o número de grãos por panícula tivesse uma redução, devido aos efeitos compensatórios no rendimento de grãos. Porém esta variável se manteve constante durante os anos de seleção, tanto no ano de avaliação 2010 (Figura 8-A), como no ano de 2011 (Figura 8-B). De forma diferente, foi observado um progresso genético positivo para o número de grãos por panícula em cultivares de aveia desenvolvidas na República Tcheca, que apresentaram um incremento de 71,9 para 76,9 grãos por panícula, o que correspondeu a um aumento de 7%

em 83 anos de melhoramento genético, enquanto o número de panículas por metro quadrado se manteve constante, com média de aproximadamente 370 panículas por metro quadrado (Nedomva, 2008).

Como o objetivo principal do melhoramento é o aumento do rendimento de grãos, os dados indicam que a seleção foi realizada para aumentar o número de panículas por metro quadrado, mas também, para manter o mesmo número de grãos por panículas para minimizar os efeitos compensatórios, pois do contrário, o rendimento de grãos poderia sofrer uma queda drástica durante os anos de melhoramento. Porém, no Programa de Melhoramento Genético da UFRGS, tem sido praticada seleção direta e forte para aumentar o peso do grão e o número de grãos por panícula, o que pode ter contribuído para que não ocorresse redução do número de grãos por panícula com o aumento do número de panículas por área. Por outro lado, Khodarahmi *et al.* (2010) observaram um incremento do 28,6 grãos para 38 grãos por espiga de trigo durante 65 anos de melhoramento genético, sem interferir no progresso genético do rendimento de grãos da cultura. O que também ocorreu com cultivares de trigo da Sérvia, desenvolvidas nos anos de 1955 a 2006, onde foi observado um aumento do número de espigas por metro quadrado e um aumento no número de grãos por panícula, o que possibilitou um incremento no rendimento de grãos durante os anos de melhoramento genético (Mladenov *et al.*, 2011).

Além disso, a seleção para o aumento do número de grãos por panícula é dificultado pelos valores baixos a médios de herdabilidade observadas para esta característica, apresentando grande influência do ambiente. Federizzi *et al.* (1993) e Bertan *et al.* (2002) encontraram herdabilidade variando de 0,14 a 0,47.

Estas observações são referentes ao que ocorreu com a linha de tendência para todos os genótipos avaliados pertencentes a UFRGS. De forma diferente, quando considerados os genótipos que apresentaram valores inferiores e superiores para o caráter número de panículas por metro quadrado, dentro de cada período de desenvolvimento das

linhagens, os efeitos compensatórios tiveram maior influência sobre o número de grãos por panícula. Para melhor entendimento, foram selecionados os genótipos com valores superiores do número de panículas por metro quadrado de cada período de desenvolvimento das linhagens. Para estes genótipos, o número de panículas por metro quadrado teve uma redução durante os 30 anos de melhoramento genético (Figura 9-A) e foram os mesmos que tiveram baixos valores do número de grãos por panícula. Estes baixos valores do número de grãos por panícula apresentaram uma redução ao longo dos anos de seleção (Figura 9-B). Comprovando a compensação existente através da relação negativa entre estas duas variáveis (Figura 9-C). Fica evidente que o aumento excessivo do número de panículas por metro quadrado para os valores superiores resultou em redução no número de grãos por panícula para os valores inferiores.

O peso de grãos da panícula também é um dos componentes do rendimento de grãos que foi avaliado neste experimento, sendo que a multiplicação entre o número de panículas por metro quadrado com o peso de grãos por panícula possibilita realizar a estimativa do rendimento de grãos de uma determinada aérea.

Da mesma forma que ocorreu uma associação negativa entre os componentes do rendimento de grãos anteriormente citados, o peso de grãos da panícula teve relação negativa com o número de panículas por metro quadrado, vistos nos dois anos de avaliação do experimento (Figura 21-N e Figura 29-N). Com estas observações é possível afirmar que ocorreu compensação das plantas para os dois componentes do rendimento de grãos.

Em virtude dos componentes do rendimento de grãos fazerem parte da constituição do rendimento de grãos, era esperada associação entre o rendimento de grãos e seus componentes, porém não foi observada relação entre o rendimento de grãos e o peso de grãos da panícula (Figura 19-G e Figura 26-G). Por outro lado, nos dois anos de avaliação, utilizando a regressão linear múltipla para explicar o rendimento de grãos, o peso da panícula foi significativamente associado ao rendimento de grãos (Tabela 5 e Tabela 7),

mas somente quando as demais características agronômicas avaliadas foram incluídas no modelo de regressão linear. Esta é outra observação que mostra a compensação das variáveis que fazem parte dos componentes do rendimento de grãos.

Portanto, um aumento no peso da panícula poderia aumentar o rendimento de grãos aumentando o número de grãos e a massa de mil grãos. Desta mesma forma, Cairão *et al.* (2001) buscando aumentar o rendimento de grãos da aveia de forma indireta, ou seja, selecionado para outra característica agronômica, observaram que o peso da panícula apresentava maior correlação com o rendimento de grãos, em torno de 0,72. Porém, sua relação direta com o rendimento de grãos foi somente de 0,15. Mesmo não conseguindo uma relação satisfatória, estes autores sugerem que a seleção indireta de aveia, para o aumento do rendimento de grãos deveria ser realizada através da seleção do peso de panícula, considerando o número de grãos por panícula e a massa de mil grãos.

Nos dois anos de avaliação, o número de panículas por metro quadrado teve aumento durante os 30 anos de seleção, considerando todos os genótipos avaliados pertencentes a UFRGS (Figura 7). Com a associação negativa entre o número de panículas por metro quadrado e o peso de grãos da panícula, era esperado que, durante os anos de melhoramento genético, o peso de grãos da panícula tivesse uma redução, quando analisado todos os genótipos do programa. No entanto, este componente do rendimento de grãos se manteve estável com média de 2,03 gramas no ano de avaliação 2010 (Figura 10-A) e de 2,19 no ano de 2011 (Figura 10-B), durante os 30 anos de melhoramento genético realizados. Possivelmente, devido à seleção direta para maior número de grãos por panículas e para grãos maiores e cheios. Estes dados foram diferentes daqueles observados por Khodarahmi *et al.* (2010), que encontraram um incremento no peso de grãos da espiga em cultivares de trigo lançadas no Irã entre os anos de 1942 a 2007, este incremento foi de 1,12 gramas para 1,81 gramas em 65 anos de melhoramento genético. Através de outro tipo de análise, Nedomova (2008) observou um acréscimo de 2,1 para 2,4 gramas no peso

de panículas de aveia entre os anos de 1920 a 2003, correspondendo a um aumento de 14,3% em 83 anos de melhoramento genético na República Tcheca e Tchecoslováquia. Porém, sua análise foi diferente da realizada no presente trabalho, onde esta autora dividiu as cultivares lançadas anteriormente e posteriormente ao ano de 1945, testando a diferença entre as médias pelo teste *T* de Student. O que pode ter contribuído para identificar este aumento durante os anos de seleção.

O comportamento observado neste trabalho pode ter ocorrido devido à seleção de plantas segregantes realizada em duas etapas no Programa de Melhoramento Genético da UFRGS. A primeira é realizada a campo, buscando plantas que tenham maior número de perfilhos e demais características agronômicas desejáveis, o que deve ter contribuído para o aumento no número de panículas por metro quadrado. Já a segunda etapa é realizada após a colheita de panículas das plantas segregantes que foram selecionadas a campo. Estas panículas são trilhadas manualmente e passam por uma triagem visual onde são selecionadas as panículas que apresentam um número de grãos elevado e com maior enchimento de grãos, que é diretamente relacionado com a massa de mil grãos. Por mais que os melhoristas não mensurem o peso de grãos por panícula para sua seleção, ao analisar estas duas características após a colheita das panículas, acabam realizando indiretamente a leitura desta variável. Por estes motivos, mesmo que sejam colhidas panículas de plantas com maior número de perfilhos férteis, o que tenderia a reduzir o peso de grãos da panícula, devido aos efeitos compensatórios, a segunda seleção, para os maiores pesos de grãos da panícula, acabou fazendo com que esta variável não tivesse redução durante os anos de melhoramento genético (Federizzi & Pacheco, 2009).

A seleção para maiores pesos de grãos da panícula, mesmo que de forma indireta, poderia aumentar o número de grãos por panícula e a massa de mil grãos, já que o peso de grãos da panícula expressa a interação entre as duas variáveis, minimizando os efeitos da compensação. Isto fica mais evidente quando observada a associação entre peso de grãos

da panícula e o número de grãos por panícula, que foi positiva para os dois anos de avaliação (Figura 21-I e Figura 29-I). Estas associações apresentaram R^2 de 0,49 e 0,41, correspondendo a uma correlação de 0,7 e 0,64 nos anos de 2010 e 2011, respectivamente. Enquanto que o peso de grãos por panícula e massa de mil grãos também foram associados de forma positiva em 2011 (Figura 29-O), com R^2 de 0,087, correspondendo à uma correlação de 0,3. Estes dados estão de acordo com Dumlupinar *et al.* (2012) que observaram correlação de 0,7 entre peso de grãos por panícula com o número de grãos e também correlação de 0,42 entre peso de grãos por panícula com a massa de mil grãos.

Na análise de regressão linear múltipla do rendimento de grãos, realizada em 2010, o número de panículas por metro quadrado não foi incluído no modelo, devido a estimativa do seu coeficiente de regressão não ser significativa. Enquanto que o peso de grãos da panícula reduziu o rendimento de grãos em 113 kg.ha^{-1} a cada aumento de 0,1 gramas no PGPan (Tabela 5). Enquanto que o peso de grãos da panícula causou um aumento no rendimento de grãos de $37,52 \text{ kg.ha}^{-1}$ a cada aumento de 0,1 grama no PGPan em 2011 (Tabela 7), portanto havendo menor influência do caráter peso de grãos por panícula na formação do rendimento de grãos. Isto pode ter ocorrido porque, no ano de 2011, o número de panículas por metro quadrado foi incluído no modelo de regressão linear múltipla, por ser significativo. Estes resultados indicam que a seleção de plantas segregantes, baseadas em variáveis dos componentes do rendimento de grãos, deve ser realizada de forma conjunta, tanto para aumentar o número de panículas por área, quanto para aumentar o peso da panícula. Pois, se for realizada seleção somente para o aumento do peso de grãos da panícula, pode haver redução indireta do número de panículas por metro quadrado, resultando em redução do rendimento de grãos.

Isto pode ter ocorrido em cultivares de aveia desenvolvidas na República Tcheca, onde foi observado um aumento do peso da panícula de 0,3 gramas a cada ano de seleção entre 1920 e 2003. Enquanto se manteve estável o número de panículas por área, em torno

de 370 panículas por metro quadrado, resultando em incremento no rendimento de grãos de apenas 6,9 kg.ha⁻¹ a cada ano de melhoramento genético durante estes 83 anos (Nedomova, 2008). Estes valores de progresso genético do rendimento de grãos foram muito abaixo se comparados ao presente trabalho, 38,7 e 29,5 kg.ha⁻¹ a cada ano de seleção, nos anos de avaliação 2010 e 2011, respectivamente (Figura 2).

No ano de avaliação 2010, considerando os genótipos com valores superiores do peso de grãos por panícula, em cada período de desenvolvimento das linhagens, ocorreu um aumento desta variável entre os anos de 1978 a 1990, e um decréscimo entre os anos de 1990 a 2008 (Figura 10-A). Estas estimativas seguiram comportamento inverso ao número de panículas por metro quadrado, considerando os valores inferiores de cada período de desenvolvimento das linhagens, dentro do mesmo ano avaliação (Figura 7-A).

Para comprovar esta associação, foram selecionados os valores superiores do peso de grãos por panícula, em cada ano de desenvolvimento das linhagens, destacados em vermelho no gráfico da Figura 11-A. Estes mesmos genótipos, de um modo geral, foram os que apresentaram valores inferiores para o número de panículas por metro quadrado durante os anos de melhoramento genético (Figura 11-B), provando o comportamento inverso, observado para o ano de 2010 entre os caracteres peso de grãos por panícula e número de panículas por metro quadrado, foi devido à associação negativa destes dois componentes do rendimento de grãos (Figura 11-C). Estas observações demonstram que a seleção para componentes do rendimento de grãos, visando maior produtividade, deve ser realizada de forma cautelosa, com uma menor pressão de seleção, não visando os valores máximos de um único componente do rendimento, porque do contrário, as compensações terão um efeito marcante no rendimento de grãos, sem atingir o objetivo central do melhoramento de plantas, ou seja, o aumento no rendimento de grãos.

A massa de mil grãos foi associada com o rendimento de grãos no ano de 2010 (Figura 19-H) e também influenciou o rendimento de grãos quando observado a análise de

regressão linear múltipla (Tabela 5). Estes dados estão de acordo com Redaelli *et al.* (2008) que observaram correlação de 0,68 entre estas variáveis em cultivares de aveia italianas. Por outro lado, no ano de 2011, a massa de mil grãos não teve associação com o rendimento de grãos (Figura 26-H), nem mesmo na regressão linear múltipla (Tabela 7). No ano de 2011, os genótipos tiveram uma maior competição com o azevém, isto reduziu o número de panículas por aérea no ano de 2011, como pode ser observado nas médias para os anos de 2010 e 2011, com 346 e 322 panículas por metro quadrado (Tabela 4), respectivamente. A redução no número de panículas pode ter aumentado o número de grãos por panícula, devido à compensação das plantas, como visto na associação negativa do número de panículas por metro quadrado com o número de grãos por panícula, nos dois anos de avaliação (Figura 21-J e Figura 29-J). Devido ao aumento no número de grãos por panícula, no ano de 2011, a massa de mil grãos pode ter sido reduzida, pelo menor enchimento de grãos. Desta forma, o rendimento de grãos não teve associação com a massa de mil grãos, em 2011.

Além da importância para o aumento no rendimento de grãos, a massa de mil grãos possui um papel importante na qualidade de grãos, tendo uma associação alta com o enchimento de grãos (Forberg & Reeves, 1992). No ano de 2010, considerando todos os genótipos avaliados e pertencentes ao germoplasma da UFRGS, a massa de mil grãos teve um progresso genético de 0,194 g a cada ano de seleção, ocorrida entre os anos de 1978 a 1996 (Figura 12-A). A partir desta data, os genótipos tiveram uma queda abrupta, voltando a ter um progresso genético de 0,261 g a cada ano de melhoramento genético, até o ano de 2008 (Figura 12-A). Barbosa Neto *et al.* (2000) analisaram o progresso genético das cultivares de aveia lançadas no Sul do Brasil entre os anos de 1982 a 1996, e estimaram um aumento de 0,5 gramas a cada ano de seleção. Este valor ficou acima do estimado nesta dissertação. Além disso, o trabalho de Barbosa Neto *et al.* (2000) avaliou somente cultivares lançadas até o ano de 1996, quando foi verificada uma redução abrupta na

massa de mil grãos, no germoplasma de aveia da UFRGS, observada na avaliação de 2010 (Figura 12-A). Progresso genético semelhante ao encontrado no atual experimento foi vista para a massa de mil grãos em cultivares de trigo desenvolvidas na EMBRAPA Trigo, onde foi observado um aumento de 37,8 para 38,4 gramas na massa de mil grãos entre os anos de 1940 a 1977, e uma queda para 37,6 gramas no ano de 1992 (Nedel, 1994).

O aumento inicial da massa de mil grãos, considerando todos os genótipos avaliados e pertencentes a UFRGS, ocorreu pela seleção empregada para o aumento desta característica, já que possui alta relação com a qualidade de grãos, sendo um dos objetivos do programa de melhoramento genético da UFRGS, de tornar a aveia uma produtora de grãos de alta qualidade para alimentação humana (Federizzi & Pacheco 2009). Porém, a queda abrupta no ano de 1996, que foi estimada de 36,45 para 32,67 gramas na massa de mil grãos (Figura 12-A), parece ter ocorrido por mudanças no germoplasma. Após a queda abrupta, a massa de mil grãos voltou a aumentar linearmente com o passar dos anos de seleção na ordem de 0,261 gramas a cada ano (Figura 12-A), os genótipos posteriores ao ponto de quebra, possuem genealogia com materiais mais adaptados às condições Sul-brasileiras, desta forma foi possível realizar seleção para o aumento da massa de mil grãos durante estes últimos anos, do ano de 1996 até o ano de 2008.

Analisando a genealogia das linhagens desenvolvidas durante os anos de 1995 a 2003 (Tabela 1), é possível observar que os genótipos obtidos nos períodos de 1996 a 2002 foram desenvolvidos a partir de cruzamentos com genótipos menos adaptados às condições Sul brasileiras, alguns destes com resistência à ferrugem da folha. No atual experimento foram avaliadas 25 linhagens e cultivares desenvolvidas durante este período, sendo que somente 11 tiveram sua genealogia formada exclusivamente por genótipos selecionados nas condições do Sul do Brasil. Utilizando-se os dados de 2010, com fungicida, a massa de mil grãos dos genótipos desenvolvidos nas eras de 1990 e 1993 era de 34 g, na média dos 17 genótipos do período. No período seguinte, nas eras de 1996 a 2002, que engloba 25

genótipos, foi encontrada massa de mil grãos média muito semelhante, de 34,5 g. Porém, quando são considerados somente os 11 genótipos que apresentam na genealogia apenas genótipos desenvolvidos no Brasil, a massa de mil grãos média subiu para 36,4 g, enquanto os outros 14 genótipos, que incluem germoplasma menos adaptado na sua genealogia, apresentaram massa média de mil grãos igual a 32,9 g (análises não apresentadas nos resultados da dissertação). Estes resultados indicam que estes genótipos, com genealogia menos adaptada, contribuíram para a redução da massa de mil grãos no período mais moderno do programa de melhoramento da UFRGS (Figura 12).

No ano de 2011, considerando todos os genótipos desenvolvidos pelo programa da UFRGS que foram avaliados no experimento, a linha de tendência para a massa de mil grãos foi diferente da vista no ano de 2010, com um aumento até 1990 e uma redução linear depois desta data, sem queda abrupta na massa de mil grãos (Figura 12-B). Doehlert *et al.* (2001) avaliaram 12 genótipos de aveia em diferentes condições ambientais e observaram que as características de qualidade dos grãos foram afetadas de forma acentuada pelas mudanças de ambiente. Considerando estas observações, a redução na segunda parte da regressão do ano de 2011 pode ter ocorrido por dois fatores diferentes, a mudança no germoplasma somado com o aumento do acamamento visto para este mesmo grupo de genótipos no ano de avaliação 2011 (Figura 6-B).

Além disso, esta variável apresenta baixa herdabilidade, o que dificulta sua seleção ao longo dos anos de melhoramento genético. Em um experimento realizado por Cabral *et al.* (2002), procurando compreender a herança do peso de grãos primários e secundários em genótipos de aveia da UFRGS, os autores observaram que as variáveis tiveram efeito aditivo e de dominância, com herdabilidade no sentido restrita baixa, variando de 14 a 21% para peso de grãos primários e de 17 a 42 % para peso de grãos secundários. Devido à baixa herdabilidade e o elevado efeito de dominância nas populações segregantes, os

autores recomendaram que a seleção para estas características, em gerações iniciais, deveria ser amena.

Para os valores superiores da massa de mil grãos em cada período de desenvolvimento das linhagens, no ano de avaliação 2010, foi observado que ocorreu um aumento de 0,717 gramas a cada ano de melhoramento genético, até atingir um máximo de 41,5 gramas no ano de 1987 (Figura 12-A), permanecendo constante até o ano de 2008. Linha de tendência semelhante foi vista para o ano de avaliação 2011, com um aumento de 0,565 gramas a cada ano de seleção, atingindo o máximo em 1987, com estimativa de 41,6 gramas (Figura 12-B).

Estes dados comprovam a seleção realizada para aumentar a qualidade de grãos, proposta como um dos objetivos do programa de melhoramento de aveia da UFGRS (Federizzi & Pacheco, 2009). Porém, para os valores superiores da massa de mil grãos, não ocorreu aumento após 1987. É provável que a mudança de germoplasma, vista anteriormente, não tenha contribuído para a estagnação no valor máximo da massa de mil grãos encontrada. Pois a maior introdução de germoplasma menos adaptado, que apresentava maior resistência à ferrugem da folha foi iniciada em 1995, enquanto que as primeiras linhagens foram selecionadas entre 1997 e 1998 (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal). É possível que a massa de mil grãos atingiu o máximo para este germoplasma, com média estimada de aproximadamente 41 gramas, embora valores ao redor de 44 gramas tenham sido encontrados. Outra possibilidade é que a seleção para outras características pode não ter permitido incrementos nos valores superiores da massa de mil grãos.

No ano de 2010, para os valores inferiores da massa de mil grãos em cada período de desenvolvimento das linhagens, foi observado que esta característica começou com valores constantes de 29 gramas e caiu abruptamente para um valor constante de 27 gramas no ano de 1993, que se manteve até o ano de 2008 (Figura 12-A). Esta redução ocorreu

justamente próxima à mudança do germoplasma da UFRGS, com linhagens desenvolvidas a partir de cruzamentos com cultivares menos adaptadas as condições Sul-brasileiras. Os 5 genótipos que representaram esta queda no ano de 2010 foram as linhagens: UFRGS 953195, UFRGS 006110-3, UFRGS 017116-2, UFRGS 04B8017-1-1 e UFRGS 076052-3. Analisando a genealogia destes materiais, os quatro primeiros foram desenvolvidos a partir de cruzamentos com genótipos não adaptados, e o último foi desenvolvido somente a partir de linhagens da UFRGS. Porém, esta linhagem possui em sua genealogia cruzamentos com genótipos menos adaptadas. Portanto, estas observações indicam que a redução no patamar inferior de massa de mil grãos pode ter sido influenciada pela mudança no germoplasma da UFRGS.

Mesmo com os pontos de quebra e as reduções vistas para a massa de mil grãos, durante alguns anos do melhoramento genético da UFRGS, na avaliação realizada em 2010, os valores estimados do início do programa até o ano de 2008 mostraram um aumento de 32,9 para 35,73 gramas, correspondendo a um acréscimo de 8,6% no ano de avaliação 2010 (Figura 12-A). No experimento de 2011 o aumento foi de 30,7 para 33,8 gramas, correspondendo a um incremento de 10% em 30 anos de seleção (Figura 12-B). Estes valores foram superiores ao progresso genético da massa de mil grãos para cultivares de aveia lançadas entre os anos de 1969 a 2004 na Itália, onde Redaelli *et al.* (2008) estimaram um aumento de 31 para 33 gramas, correspondendo a 6,5% de incremento em 35 anos de melhoramento genético.

O peso do hectolitro é outra variável que tem relação com a qualidade de grãos, sendo importante para a comercialização destes, já que apresenta íntima associação com a quantidade de flocos produzidos, devido a relação peso/volume que representa. Apesar do rendimento industrial mostrar-se apenas fracamente correlacionado com o peso do hectolitro (0,052), no trabalho de Peterson *et al.* (2005). O peso do hectolitro teve uma das mais altas associações com o rendimento de grãos para este experimento, tanto no ano de

2010 ($R^2 = 0,17$) como para o ano de 2011 ($R^2 = 0,21$), sendo linear e positiva (Figuras 19-I e 26-I). Além disso, foi uma das variáveis explicativas que apresentou do rendimento de grãos na regressão linear múltipla com nível de significância à 5% de probabilidade, nos dois anos de avaliação (Tabelas 5 e 9), e em 2011 teve uma das maiores contribuições para formação do rendimento de grãos (Tabela 10). Estas observações mostram que o peso do hectolitro, além de caracterizar a qualidade de grãos, teve alta associação com o rendimento de grãos, o que pode ter auxiliado na seleção para aumentar esta característica durante os 30 anos de melhoramento genético da UFRGS.

Outra variável que teve associação com o peso do hectolitro foi a massa de mil grãos, com relação linear e positiva nos dois anos de avaliação (Figura 21-M e Figura 29-M). Da mesma forma, Peterson *et al.*, (2005) observaram uma associação linear e positiva com correlação de 0,432 para diferentes genótipos de aveia desenvolvidos no Canadá, Estados Unidos e Holanda.

Como a associação entre massa de mil grãos e o peso do hectolitro foi linear e positiva, levando em consideração a queda abrupta na massa de mil grãos devido a mudança no germoplasma (Figura 12), era esperado que ocorresse uma redução do peso do hectolitro durante os anos de melhoramento. No entanto, no ano de avaliação de 2010, não foi observada qualquer redução no peso do hectolitro, pelo contrário, foi detectado um aumento de $0,171 \text{ kg.hl}^{-1}$ a cada ano de seleção, durante os 30 anos de melhoramento genético, considerando todos os genótipos avaliados e pertencentes a UFRGS (Figura 13-A). Este valor estimado de progresso genético do PH foi similar a estimativa realizada sobre os dados apresentados por Barbosa Neto *et al.* (2000), que foi de $0,18 \text{ kg.hl}^{-1}$ a cada ano de seleção em Eldorado do Sul – RS, para as cultivares lançadas entre 1982 e 1996. Porém, quando o experimento foi conduzido em Ponta Grossa – PR, a estimativa foi de $0,28 \text{ kg.hl}^{-1}$ a cada ano de seleção. O reduzido aumento do peso do hectolitro pode ter ocorrido porque a herdabilidade desta característica é moderada, conforme um

experimento realizado por Nava *et al.* (2010), que estimaram herdabilidade de 0,51 para o caráter, em linhagens desenvolvidas a partir do cruzamento entre UFRGS 17 e UFRGS 9305986.

Para entender como o peso do hectolitro foi selecionado durante os anos, e o porquê não ocorreu queda no PH durante a introdução de genótipos com resistência a ferrugem da folha, foram realizadas algumas observações dentro das associações. Como a queda abrupta na MMG foi estimada no ano de 1996 e neste período foi observada a mudança no germoplasma, o peso do hectolitro em função dos anos de desenvolvimento das linhagens foi dividido entre os períodos de 1978 a 1996 e 1999 a 2008 (Figura 14-A). A associação entre massa de mil grãos e peso do hectolitro esta ilustrada na Figura 14-B, indicando que os genótipos desenvolvidos nos anos de 1978 a 1996 apresentam valores de PH abaixo da linha de tendência para estas duas variáveis, enquanto que os genótipos desenvolvidos entre os períodos de 1999 a 2008 possuíram valores de PH acima da mesma linha de tendência. Isto mostra uma diferença de patamar alcançado pelo peso do hectolitro, ou seja, com a mesma massa de mil grãos os genótipos de 1978 a 1996 apresentaram menores valores de PH, do que os genótipos desenvolvidos nos anos de 1999 a 2008, indicando que a relação cariopse/casca deve ser maior para genótipos desenvolvidos após 1999. A mudança deste patamar, observado para o PH, pode ter ocorrido pela seleção realizada em busca de grãos mais uniformes, fazendo com que um maior número de grãos caibam em um mesmo volume e com menor espaço entre os grãos, causando um aumento no peso do hectolitro.

Quando observada separadamente, a massa de mil grãos teve associação linear e positiva com o PH durante os anos de 1978 a 1996 (Figura 14-C), por outro lado, não houve associação nos anos de 1999 a 2008 (Figura 14-D). Estes resultados mostram que durante os anos em que ocorreu aumento, tanto para massa de mil grãos, quanto para peso

do hectolitro, estas duas variáveis tiveram associação positiva, indicado que a seleção foi eficiente tanto para aumentar a massa de mil grãos como o peso do hectolitro.

A falta de associação entre a massa de mil grãos e o peso do hectolitro, para os anos em que ocorreram mudanças no germoplasma, indica que o peso do hectolitro não foi afetado pelas introduções de genótipos menos adaptados. De acordo com Forsberg & Reeves (1992), elevado peso do hectolitro e alto rendimento de engenho são associados com bom enchimento de grãos, mas nem sempre podem ser causados pelo aumento da massa de mil grãos. Portanto, é provável que associação positiva entre massa de mil grãos e peso do hectolitro, nos anos entre 1978 a 1996, tenha ocorrido devido a uma seleção de grãos bem cheios, melhorando a relação cariopse/casca. Já a falta de associação entre esses caracteres, entre 1999 e 2008, pode ter ocorrido pela seleção de grãos maiores e mais pesados, sem melhorar a relação cariopse/casca. Além disso, grãos muito grandes tendem a ter menor peso do hectolitro do que grãos menores, mas com mesma relação cariopse/casca, em virtude da pior acomodação dos grãos maiores em um mesmo volume, deixando mais espaço entre eles, com consequente redução no peso do hectolitro.

Para o ano de avaliação 2011, considerando todos os genótipos avaliados pertencentes a UFRGS, foi observado um aumento no PH de $0,453 \text{ kg.hl}^{-1}$ a cada ano de seleção até o ano de 1992, a partir desta data o peso do hectolitro permaneceu constante com média de $55,8 \text{ kg.hl}^{-1}$ (Figura 13-B). Neste ano de avaliação, por ter sido um ano mais desfavorável ao cultivo da aveia devido à competição com plantas daninhas, os genótipos podem ter apresentado um menor potencial desta variável, como foi observado nas linhas de tendência dos genótipos com valores superiores e inferiores de cada período de desenvolvimento das linhagens, sendo que no ano de 2011 os valores estimados para o peso do hectolitro dos genótipos inferiores e superiores tiveram uma amplitude menor do que no ano de 2010 (Figura 13). Estas observações estão de acordo com Doehlert *et al.*

(2001) que avaliaram 12 genótipos de aveia em Dakota do Norte, E.U.A., e verificaram que o ambiente exerce grande influência nos valores de peso do hectolitro.

O aumento no rendimento de grãos foi alcançado pela seleção de praticamente todas as variáveis avaliadas, algumas apresentando aumento e outros com redução. Porém, os cruzamentos realizados com o objetivo de aumentar rendimento de grãos também tiveram grande importância. Um dos genitores que teve sucesso em cruzamentos foi a cultivar UFRGS 8, desenvolvida como linhagem em 1982, sendo que foram observados muitos cruzamentos, envolvendo esta cultivar, que deram origem a linhagens do programa, durante os anos de 1991 a 2001 (Tabela 1). Em um estudo com o objetivo de identificar QTLs associados com características agrônômicas, Cover *et al.* (2011) encontraram na cultivar UFRGS 8 um QTL para aumento de peso de panícula, um QTL para o aumento do número de espigas por panícula e um QTL para aumento do número de grãos por panícula. Mostrando que esta cultivar teve importância para o incremento no rendimento de grãos.

A ferrugem da folha da aveia é a principal doença da cultura, sendo responsável pela queda no rendimento de grãos quando não utilizado tratamento fúngico para seu controle. Neste experimento, o nível de resistência à ferrugem da folha do germoplasma da UFRGS foi avaliado através da severidade máxima da ferrugem da folha e da área sob a curva do progresso da ferrugem da folha (ASCPFF), no ano de 2010, em parcelas sem a aplicação de fungicida. Como as duas variáveis são fortemente associadas (Figura 25-A), foi verificada associação muito similar da severidade máxima e ASCPFF com o rendimento de grãos. O efeito desta moléstia foi extremamente devastador sobre a aveia, valores baixos de severidade causaram grandes reduções no rendimento de grãos. O aumento de zero para 7% de severidade máxima da doença causou uma redução de 3830 kg.ha⁻¹ para 2000 kg.ha⁻¹, ou seja, a redução foi de aproximadamente 50% do rendimento de grãos com queda de 255 kg.ha⁻¹ a cada aumento de 1% de severidade máxima da

ferrugem da folha. Enquanto que valores mais elevados de severidade ou ASCPFF também resultaram em reduções no rendimento de grãos, porém, em menor escala. A cada aumento de 1% na severidade máxima o rendimento de grãos teve redução de 40 kg.ha^{-1} , quando a severidade variou de 7 a 50% (Figura 23-B). Esta característica de acentuada redução no rendimento de grãos com baixa severidade da doença ainda não tinha sido identificada na literatura, porém produtores rurais comentavam da necessidade de aplicação de fungicidas imediatamente após a identificação das primeiras pústulas de ferrugem da folha, pois esta doença causava grande dano à cultura da aveia quando utilizados genótipos suscetíveis (Luiz Carlos Federizzi & Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal).

Como apontado anteriormente, ASCPFF e severidade de ferrugem da folha foram fortemente associadas, com R^2 igual a 0,96 (Figura 25-A), em virtude de a ASCPFF incluir na sua estimativa a severidade máxima, sendo esta a leitura da severidade que mais contribui para o valor da ASCPFF. Porém, quando observadas associações com o rendimento de grãos, a ASCPFF teve maior associação do que a severidade máxima. A relação entre ASCPFF com o rendimento de grãos foi negativa, com coeficiente de explicação de 0,806 (Figura 23-A), enquanto que a associação com a severidade máxima da ferrugem da folha teve coeficiente de explicação de apenas 0,386 (Figura 23-B). Fato reforçado na análise de regressão linear múltipla do rendimento de grãos sem fungicida (Tabela 6), na qual somente a ASCPFF foi significativamente associada com o rendimento de grãos. Estes resultados demonstram que a área sobre a curva de progresso da ferrugem da folha é a variável que melhor explica o rendimento de grãos, comparado com a severidade máxima, porque em seu cálculo são inseridas as severidades iniciais. Genótipos que são infectados mais cedo podem ter maiores reduções no rendimento de grãos, comparados com genótipos que conseguem atrasar o início da moléstia, mesmo que a severidade final de ferrugem da folha nos dois genótipos seja igual. Isto devido ao grande

efeito da ferrugem da folha sobre a redução do rendimento de grãos em baixas severidades da moléstia.

Além disso, o aumento linear da severidade máxima da ferrugem da folha e da ASCPFF entre os anos de 1978 a 1990 pode ter sido observado neste experimento devido à frequência de inóculo de diferentes raças no campo. No ano de 1987 a estimativa de severidade máxima da ferrugem da folha foi de 8,25%, enquanto que em 1990 a estimativa aumentou para 13,7% (Figura 16-A), estes dados indicariam que os genótipos mais antigos são mais resistentes que os desenvolvidos no ano de 1990. Porém, sempre foi objetivo do Programa de Melhoramento de aveia da UFRGS aumentar a resistência dos genótipos a esta doença. Sendo assim, acredita-se que pode ter ocorrido uma maior frequência das raças virulentas aos genótipos desenvolvidos no período de 1987 a 1990 e uma menor frequência das raças virulentas aos genótipos desenvolvidos no período de 1978 a 1981, já que estes últimos genótipos são antigos e praticamente não são mais cultivados pelos produtores.

Esta observação também foi encontrada por Wesp (2005) que estudou a herança da resistência quantitativa à ferrugem da folha com linhagens recombinantes dos progenitores UFRGS 7 (suscetível) e UFRGS 910906 (resistente) em condições de campo. Em seu trabalho a autora encontrou maior área sob a curva de progresso da doença no genótipo resistente e menor no suscetível, argumentando que as raças que afetam UFRGS 7 (suscetível) poderiam estar em menor frequência, já que esta cultivar deixou de ser cultivada em larga escala há muitos anos. Cabe ressaltar que a linhagem UFRGS 910906 (considerada resistente) foi desenvolvida no ano de 1991, próxima ao ano em que foi observado a maior ASCPFF no atual experimento (Figura 16-B), corroborando com esta evidência.

E no sentido opostos, os genótipos mais antigos que foram desenvolvidos entre os períodos de 1978 a 1981 apresentaram menor severidade máxima da ferrugem da folha

com média estimada de 8,25 e 13,7%, respectivamente, apresentando um fenótipo com maior resistência do que os genótipos desenvolvidos entre 1987 a 1990.

Quando observados todos os genótipos de aveia avaliados no experimento e pertencentes a UFRGS, ocorreu um aumento da ferrugem da folha até 1990, após esta data houve uma redução abrupta, e durante os anos de 1990 a 2008 uma redução linear da ferrugem da folha, sendo que este comportamento foi observado tanto para a severidade máxima da ferrugem da folha (Figura 16-A), como para a ASCPFF (Figura 16-B). O aumento inicial da ferrugem da folha em função do período de desenvolvimento das linhagens ocorreu pela superação da resistência a esta doença nos genótipos mais antigos, uma vez que todas as linhagens e cultivares avaliadas neste trabalho mostraram, no passado, algum nível de resistência à ferrugem da folha, sendo que muitos eram completamente imunes à ferrugem da folha quando foram obtidos (Marcelo Teixeira Pacheco, comunicação pessoal).

A redução abrupta na quantidade de ferrugem da folha no período de 1990 (Figura 16-A e Figura 16-B) pode ter ocorrido devido a maior pressão de seleção de genótipos com maior nível de resistência à ferrugem da folha, mas também que não tivessem sua resistência superada tão rapidamente. A maioria dos genótipos utilizados neste trabalho devem apresentar vários genes de resistência vertical à ferrugem da folha, porém todos superados pela moléstia quando presentes sozinhos ou em combinações já superadas, uma vez que a ferrugem da folha apresenta enorme complexidade de raças no Sul do Brasil (Leonard & Martinelli, 2005; Vieira et al., 2006). Cruz *et al.* (2001) estudaram a herança da resistência da ferrugem da folha em genótipos de aveia desenvolvidos pela UFRGS, sendo utilizados como genitores resistentes os genótipos UFRGS 15, UFRGS 881920 e UFRGS 86A1194-2, enquanto que os genitores suscetíveis foram UFRGS 7, UFRGS 8 e UFRGS 14. A avaliação foi realizada através da ausência ou presença da doença, caracterizando uma resistência vertical nestes genótipos. Estes autores encontraram poucos

genes efetivos envolvidos com a resistência, sendo que foi observado um gene dominante na linhagem UFRGS 881920 e dois genes complementares na cultivar UFRGS 15. Os genótipos com resistência vertical UFRGS 15, UFRGS 881920 e UFRGS 86A1194-2, foram observados em genealogias de linhagens e cultivares desenvolvidas nos anos de 1991 a 1995 (Tabela 1), sendo que foram avaliados 17 genótipos desenvolvidos neste período, dos quais 9 apresentaram genealogia direta com pelo menos um dos três genótipos resistentes. Nenhum destes genótipos continua completamente resistente, porém não devem ser suscetíveis a todas as raças que ocorrem atualmente nos ambientes Sul-brasileiros, devendo expressar algum grau de resistência frente às raças de maior frequência nas condições Sul-brasileiras. Considerando que o ano de 1991 representou o período de 1990 na análise de progresso genético da resistência, pode-se comprovar que a resistência vertical, mesmo não sendo completamente efetiva, ajudou a reduzir, de forma abrupta, a ferrugem da folha no período de 1990.

Somente a utilização da resistência vertical poderia causar uma superação da resistência em poucos anos de cultivo. Isto não ocorreu porque durante os períodos de 1996 a 2002, foram utilizados genótipos que provavelmente contenham genes de resistência parcial à ferrugem da folha, que reduzem o progresso da doença, não impondo pressão de seleção intensa na população do patógeno, reduzindo a possibilidade de superação da resistência por patógenos virulentos (Martinelli *et al.*, 2009).

A redução linear da ferrugem da folha foi observada após o período de 1990 (Figura 16-A e Figura 16-B), onde foram desenvolvidos genótipos como a URS 21 (UFRGS10 x CTC84B993), que apresentam em sua genealogia linhagens desenvolvidas pela Universidade de Minnesota nos Estados Unidos que devem possuir resistência parcial à ferrugem. Estes genótipos são nomeados com o prefixo MN e um sufixo numérico, consideradas as principais fontes de resistência parcial à ferrugem da folha e mais efetivas frente às diferentes raças do patógeno. Leonard *et al.* (2002), testando algumas linhagens

com resistência parcial da Universidade de Minnesota, observaram que a maioria dos genótipos apresentaram menor ASCPFF que a cultivar Starter, conhecida como uma fonte de resistência vertical, e que está presente na maioria das linhagens UFRGS modernas, desenvolvidas entre 1998 e 2008. Além disso, as linhagens de Minnesota não apresentaram resistência à raça específica de ferrugem da folha, reduzindo o número de pústulas por planta e o avanço da doença. São observados dados de mais de 30 anos sem ocorrência de superação desta resistência, em algumas destas linhagens como a MN841801, mostrando que são fontes duráveis de resistência à ferrugem da folha em aveia (Leonard *et al.*, 2002).

Em estudos de herança genética, Martinelli *et al.* (2009) encontraram dois genes independentes controlando a resistência parcial no cruzamento de Noble (suscetível) e MN841801 (resistente), sugerindo que a resistência parcial ou quantitativa pode ser governada por poucos genes. Por outro lado, utilizando as mesmas linhagens, porém se valendo da associação com marcadores moleculares, Portyanko *et al.* (2005) encontraram quatro QTLs com maior efeito em MN841801, nomeados de Prq1a, Prq1b, Prq2 e Prq7 e três QTLs de menor efeito nomeados de Prq3, Prq5 e Prq6. Além disso, observaram herdabilidade baixa (0,3) para essa característica, sugerindo que a herança desta característica é complexa.

Outros genótipos desenvolvidos no programa de melhoramento genético da UFRGS podem ter colaborado com a redução linear vista após o período representado pelo ano de 1990. Genótipos contendo em sua genealogia as linhagens PC68/5*Starter ou AMAGALON, que são resistentes à ferrugem da folha, podem ter contribuído para esta redução. Várias linhagens incluídas neste estudo, e desenvolvidas entre 1997 e 2002, são descendentes diretos de uma dessas fontes de resistência à ferrugem da folha, são eles: UFRGS 97021-2, UFRGS 995088-3, UFRGS 006110-3, UFRGS 01B6200-5, UFRGS 017061-5, UFRGS 017116-2, UFRGS 01B7121-2-4, UFRGS 01B7150-4, UFRGS 017150-4, UFRGS 02B6173-4-4 (Tabela 1). Outros genótipos, incluídos neste trabalho,

também tem as mesmas fontes de resistência à ferrugem da folha na sua genealogia, porém de forma indireta. As 10 linhagens citadas acima apresentaram média da ASCPFF de 3,5 unidades de área, enquanto que os demais genótipos desenvolvidos no mesmo período apresentaram média da ASCPFF de 296,51 unidades de área, mostrando que estas linhagens contribuíram para redução da ferrugem da folha.

O genótipo *Pc68/5*Starter* possui um tipo de resistência à raça específica, que se caracteriza pela morte celular rápida, a qual impede a colonização das populações causadoras da ferrugem da folha, conforme demonstrado por Grainchen *et al.* (2011). Esta hipersensibilidade, juntamente com o acúmulo de compostos fenólicos promovendo a morte celular programada nos tecidos atacados, não permitindo a colonização destes, podendo ser eficazes no controle genético da doença.

As manchas foliares são principalmente causadas pelo patógeno *Pyrenophora chaetomioides*, que desencadeia a doença conhecida como mancha-preta, porém, como existem vários fungos com mesmas lesões na aveia, neste experimento foram considerados manchas foliares como o complexo de fungos causadores destes sintomas. Considerando todos os genótipos do programa de melhoramento que foram avaliadas no experimento, a severidade das manchas foliares teve uma média constante de 4% durante os anos de 1978 a 1999. Após esta data ocorreu um aumento abrupto para aproximadamente 8% que se manteve até o ano de 2008 (Figura 16-C). Observando os dados, acredita-se que o aumento abrupto das manchas foliares em 1999 pode ter ocorrido devido à redução encontrada para a ferrugem da folha (Figura 16-B) no ano de 1990.

As manchas foliares, de um modo geral, não causam danos tão severos como a ferrugem da folha, isso pode ser observado na relação entre severidade das manchas foliares com o rendimento de grãos, que apresentou associação quadrática, reduzindo o rendimento de grãos após atingir altas severidades das manchas foliares, entre os valores de 12,5% a 20% (Figura 23-C). O aumento do rendimento de grãos em função do aumento

da severidade das manchas foliares, entre a severidade de 0 a 12,5%, ocorreu devido a alta severidade da ferrugem da folha nos genótipos que apresentaram baixas severidades das manchas foliares (Figura 25-B), fazendo com que estes genótipos tivessem um menor rendimento de grãos. A associação quadrática entre rendimento de grãos e severidade de manchas foliares foi devido, principalmente, pelo fato de que os genótipos de maior rendimento de grãos sem aplicação de fungicida são genótipos modernos desenvolvidos entre 2001 e 2008, com elevada resistência à ferrugem da folha e suscetíveis às manchas foliares (análise não apresentada). O aumento abrupto da severidade de manchas foliares no ano de 1999 (Figura 16-C), provavelmente, ocorreu em função da introdução de germoplasma exótico para incorporar genes de resistência à ferrugem da folha, porém suscetíveis às manchas foliares.

Foram avaliadas 25 linhagens desenvolvidas durante os anos de 1995 a 2003, que fizeram parte do período de 1996 a 2002 para a análise do progresso genético no atual experimento. As quais, oito linhagens possuíam genealogia com o genótipo *Pc68/5*Starter* (Tabela 1), que apresenta resistência de hipersensibilidade à ferrugem da folha, estes genótipos tiveram média da severidade da mancha foliar de 8,9%, enquanto as demais apresentaram média de severidade da mancha foliar de 6,11%. Estas observações indicam que as linhagens desenvolvidas neste período, não possuíam genes efetivos de resistência às manchas foliares. Além da competição existente entre os patógenos pelo hospedeiro, as manchas foliares conseguem colonizar mais eficiente os genótipos com área foliar livre de ferrugem folha, isto também pode ter contribuído para os resultados obtidos, onde genótipos mais resistentes à ferrugem da folha são também mais suscetíveis às manchas foliares.

Estas observações estão de acordo com o trabalho realizado por Silva *et al.* (2012) que observaram as lesões provocadas por *Pyrenophora chaetomioides* em alguns genótipos do programa de aveia da UFRGS. Estes autores observaram que a severidade máxima da

mancha foliar foi maior para o genótipo UFRGS 9912002-1, esta linhagem foi desenvolvida no ano de 1999, justamente o ano onde ocorreu o aumento abrupto desta doença na análise do progresso genético. Além disso, cultivares como UFRGS 15 e UFRGS 17 apresentaram baixos valores de severidade, sendo estes desenvolvidos nos anos de 1987 e 1990, respectivamente. A linhagem UFRGS 9912002-1 não tem qualquer parentesco com as fontes mais modernas de resistência à ferrugem da folha (Tabela 1). Portanto, germoplasma mais antigo da UFRGS também deve possuir genes de suscetibilidade às manchas foliares.

De forma contrária, os valores inferiores das manchas foliares para cada ano de desenvolvimento das linhagens tiveram uma redução de aproximadamente 1% de severidade a cada ano de melhoramento genético, ocorrendo até o ano de 1982, que se manteve com uma média de 1% de severidade até 2008 (Figura 16-C). Isto indica que genótipos resistentes as manchas foliares também foram selecionados durante os anos de melhoramento genético da UFRGS, talvez de forma menos intensa que os genótipos com resistência à ferrugem da folha, por apresentaram menores danos ao rendimento de grãos.

Além da utilização de genótipos com alta resistência à ferrugem da folha em cruzamentos do programa de melhoramento, como o caso da linhagem *Pc68/5*Starter*, que apresenta suscetibilidade às manchas foliares, o aumento da severidade desta última doença pode ter sido causado por mudanças no manejo da cultura durante os anos. Considerando que o aumento de 4 para 8% na severidade das manchas foliares ocorreu no ano de 1999 (Figura 16-C) o manejo cultural de semeadura direta pode ter contribuído para este aumento, já que este sistema teve sua consolidação na região Sul do Brasil próximo da segunda metade da década de 90 (1995 a 2000). O sistema plantio direto (SPD) consiste da semeadura direta realizada nos restos culturais ou de cobertura vegetal morta. Este manejo pode ter aumentado as populações dos patógenos que causam as manchas foliares, conhecidos como fungos emibiotróficos, que conseguem se desenvolver em tecidos mortos

e plantas em decomposição. A pressão de seleção elevada das populações dos patógenos pode ter superado a resistência dos genótipos mais modernos do programa.

Prestes *et al.* (2002) observaram um aumento de incidência de manchas foliares nas cultivares de trigo BR-23 e EMBRAPA 16 sob plantio direto. Na fase de afilhamento, os autores observaram que a incidência de mancha foliar foi de 13% no SPD e de 7% no plantio convencional (com revolvimento do solo) e durante o estágio de alongamento a incidência de mancha foliar foi de 18% no plantio direto e de 12 a 13% no sistema convencional. Porém, a incidência não teve diferença estatística no período da floração, com média de 61% no plantio direto e 62 a 60% no sistema convencional. Mesmo com este aumento das manchas foliares, principalmente nas fases iniciais da cultura, os autores argumentaram que o SPD permitiu o incremento em produtividade, sendo que o rendimento de grãos foi de 2727 kg.ha⁻¹ neste manejo e de 2412 a 2463 kg/ha⁻¹ no sistema convencional, o que justifica sua adoção em praticamente todo o Sul do Brasil, com menores perdas de nutrientes por lixiviação e erosão.

Devido ao aumento do número de aplicações de defensivos agrícola nas lavouras comerciais brasileiras, os custos de produção estão cada vez mais altos. Neste sentido, os programas de melhoramento têm observado as transformações ocorridas no setor agrícola e procuram, não somente, a obtenção de genótipos com alto rendimento de grãos, mas também, uma maior resistência contra as principais doenças da cultura. Desta forma, com a obtenção de genótipos mais resistentes às doenças, o rendimento de grãos de uma lavoura poderia ser mantido sem a necessidade de aplicações de fungicidas, não encarecendo os custos da produção. Dentro do Programa de Melhoramento da Aveia da UFRGS, a resistência de genótipos contra as principais doenças da cultura é um dos objetivos específicos (Federizzi & Pacheco, 2009).

Quando observados todos os genótipos avaliados e pertencentes à instituição, o rendimento de grãos sem fungicida teve uma redução nos primeiros anos de melhoramento

genético na ordem de $63,8 \text{ kg.ha}^{-1}$, a cada ano de desenvolvimento das linhagens, até o ano de 1990 (Figura 17-A). Esta queda ocorreu pela falta de genótipos resistentes a principal doença da aveia, a ferrugem da folha. Os genótipos desenvolvidos durante esses anos não tiveram associação entre o rendimento de grãos com fungicida e o rendimento de grãos sem fungicida (Figura 18-C). Após esta queda no rendimento de grãos sem fungicida ocorreu um aumento nesta variável de 167 kg.ha^{-1} a cada ano de melhoramento genético até o ano de 2008 (Figura 17-A). Este período ficou marcado pelo desenvolvimento das linhagens com resistência parcial a ferrugem da folha, que já foram comentadas anteriormente. Durante este período de aumento no rendimento de grãos sem fungicida, as variáveis rendimento de grãos sem fungicida e rendimento de grãos com fungicida apresentaram associação positiva (Figura 18-D), enquanto que durante o período de redução no rendimento de grãos sem fungicida ao longo dos anos de seleção não foi visto associação entre rendimento de grãos com fungicida e sem fungicida (Figura 18-C).

Tal fato pode ter ocorrido em função da preocupação atual em selecionar genótipos que apresentem resistência mais durável, combinando genes de resistência vertical e resistência parcial, genótipos que mesmo após a superação da resistência vertical completa ainda apresentem algum nível de resistência à ferrugem da folha, sendo capazes de ainda expressarem parte do seu potencial de rendimento. Portanto, genótipos mais modernos deveriam apresentar associação positiva entre o seu potencial de rendimento de grãos, medido com a aplicação de fungicida, e o rendimento de grãos sem fungicida, o que de fato ocorreu (Figura 18-D).

A utilização ou a não utilização do tratamento fúngico para seleção de genótipos sempre foi uma questão controversa, Mattioni *et al.* (2009) observaram diferenças em caracteres agrônômicos com e sem fungicida, comentando que a seleção em ambientes com o tratamento fúngico permite expressar o potencial produtivo, o que facilita a seleção. Por outro lado, não permite a identificação de genótipos resistentes às doenças, podendo

ser realizado somente sem a aplicação de fungicida. No atual experimento, os genótipos antigos não apresentavam resistência à ferrugem da folha (Figura 16-A e B) e acabaram não apresentando associação entre rendimento de grãos sem fungicida e com fungicida (Figura 18-C). Nestas condições é preferível realizar a seleção em ambientes com aplicação de fungicida, buscando genótipos com alto potencial produtivo. No caso observado para os genótipos mais recentes, que apresentam resistência à ferrugem da folha (Figura 16-A e B) e associação linear positiva entre o rendimento de grãos com e sem fungicida (Figura 18-D), qualquer um dos dois tratamentos poderiam ser utilizados para a seleção, mas a seleção realizada sem a aplicação fúngica poderia ser mais lucrativa, identificando genótipos mais resistentes e que apresentem maior potencial produtivo.

A massa de mil grãos sem fungicida teve uma associação moderada ($R^2 = 0,5394$) com o rendimento de grãos sem fungicida, relacionando-se de forma positiva (Figura 23-D), enquanto que Holland & Munkvold (2001) observaram correlação de 0,34 entre estas duas variáveis. Por esta forte associação, a massa de mil grãos sem fungicida apresentou linhas de tendência muito similar aquelas apresentadas pelo rendimento de grãos sem fungicida, nas três diferentes formas de análise do progresso genético. Considerados todos os genótipos avaliados no experimento, os genótipos da UFRGS apresentaram uma redução na massa de mil grãos sem fungicida de 0,23 gramas a cada ano de seleção, entre os anos de 1978 a 1991. A partir desta data, a massa de mil grãos sem fungicida aumentou 0,581 gramas a cada ano de melhoramento genético, durante os anos de desenvolvimento das linhagens (Figura 17-B).

O incremento na massa de mil grãos sem fungicida e no rendimento de grãos sem fungicida apresentaram progresso genético concomitantemente, indicando associação entre estas características. A queda inicial na massa de mil grãos, ao longo dos anos de melhoramento, foi decorrente do aumento da ferrugem da folha, que ocorreu neste mesmo período (Figura 16-A e Figura 16-B). Como a massa de mil grãos tem grande relação com

o enchimento de grãos, os genótipos que apresentam valores de severidades da ferrugem da folha altas acabam perdendo muita área fotossintética, devido à colonização e toxinas deste fungo, não permitindo um enchimento de grãos satisfatório. Isto fica mais claro, quando observada a associação linear e negativa entre a massa de mil grãos sem fungicida com a ASCPFF (Figura 25-G). O que também foi visto por Holland & Munkvold (2001), onde a correlação foi de -0,63 entre estas duas variáveis.

De forma semelhante, quando considerados todos os genótipos avaliados e pertencentes a UFRGS, o peso do hectolitro sem fungicida apresentou uma redução durante os primeiros anos de seleção até o ano de 1991, nesta data ocorreu um aumento abrupto 31,5 para 36 kg.hl⁻¹, e a partir desta data o aumento foi linear na ordem de 0,945 kg.hl⁻¹ a cada ano de melhoramento genético até o ano de 2008 (Figura 17-C). Estes dados estão de acordo com o que foi observado para o progresso da resistência da ferrugem da folha (Figura 16-A e Figura 16-B), porém de forma inversa. Já que foi visto uma associação forte, linear e negativa entre peso do hectolitro sem fungicida com a severidade máxima e ASCPFF, com coeficiente de explicação da regressão linear igual a 0,8 (Figura 25-G e Figura 25-H). Para Holland & Munkvold (2001) a associação entre ASCPFF também foi linear e negativa, porém, menos associada com um coeficiente de correlação de -0,42. Desta forma, como também ocorrera com o rendimento de grãos e a massa de mil grãos sem fungicida, o peso do hectolitro teve um aumento após o desenvolvimento de linhagens e cultivares que apresentam níveis mais elevados de resistência à ferrugem da folha. A relação linear e positiva entre peso do hectolitro com fungicida e sem fungicida, com $R^2 = 0,3214$ (Figura 25-F), encontra explicação similar a apresentada anteriormente para as associações positivas entre rendimento de grãos com e sem fungicida, em genótipos mais modernos do programa.

O peso do hectolitro sem fungicida apresentou a associação mais forte com o rendimento de grãos sem fungicida, com R^2 de 0,82 (Figura 23-E). Esta alta relação entre

as duas características também foi observada por Battisti *et al.* (2009), que encontraram correlação maior do rendimento de grãos com o peso do hectolitro (0,79), seguido do peso de grãos (0,53) e do peso de panícula (0,64) em um ambiente sem a aplicação fúngica. Estes dados suportam a possibilidade de utilização do PH como seleção indireta para genótipos com resistência às doenças em aveia, pois os patógenos reduzem o enchimento de grãos, que são fortemente relacionados com o PH.

6 CONCLUSÕES

1. Houve progresso genético do rendimento de grãos com fungicida, considerando os genótipos avaliados e pertencentes ao Programa de Melhoramento da UFRGS, sendo que a estimativa foi de $38,7 \text{ kg.ha}^{-1}$ ao ano em 2010 e de $29,5 \text{ kg.ha}^{-1}$ ao ano em 2011.

2. O progresso genético do rendimento de grãos sem aplicação de fungicida teve uma redução na ordem de $63,8 \text{ kg.ha}^{-1}$ ao ano, entre 1978 a 1990, correspondendo a um acréscimo da severidade máxima da ferrugem da folha de 2,67% ao ano. Neste mesmo período foi demonstrando a superação da resistência à ferrugem da folha, principal doença da cultura, nos genótipos mais antigos do programa de melhoramento. Entre os anos de 1990 a 2008, o progresso genético do rendimento de grãos sem fungicida foi de 167 kg.ha^{-1} ao ano, auxiliado pela redução na severidade da ferrugem da folha ao longo dos anos de 1990 a 2008, na ordem de 2,38% ao ano.

3. O aumento do rendimento de grãos com fungicida durante os anos de melhoramento genético foi alcançado pela seleção direta para este objetivo, mas também auxiliada pelo progresso genético em outras características. Desta forma, as principais mudanças observadas foram:

- a redução no ciclo vegetativo juntamente com o decréscimo na estatura de plantas permitiu uma redução no acamamento;

- a redução na estatura de plantas, sem mudança da biomassa aparente, e aumento no número de panículas por metro quadrado permitiu incremento no índice de colheita;

- o aumento do número de panículas por metro quadrado, sem mudar o peso de grãos da panícula e o número de grãos por panícula permitiu um aumento de potencial e estabilidade do rendimento de grãos;

- o incremento da massa de mil grãos e o aumento no peso do hectolitro contribuíram para aumentar a qualidade dos grãos.

4. As variáveis, rendimento de grãos, número de dias de emergência ao florescimento, estatura e número de panículas por metro quadrado tiveram progresso genético contínuo. Por outro lado, variáveis como acamamento, massa de mil grãos e peso do hectolitro tiveram descontinuidade do progresso durante os anos de seleção.

5. Existiram diversas associações significativas entre as variáveis, mas a grande maioria apresentou associação fraca com o rendimento de grãos, havendo efeitos compensatórios importantes entre os componentes do rendimento de grãos, indicando que a seleção indireta para o aumento do rendimento de grãos não deve ser feita utilizando uma única característica de forma isolada, sendo que o aumento do rendimento de grãos é o somatório da seleção para todas as características de importância para o bom desempenho da cultura em condições de lavoura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. F. B. et al. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e alto Paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 105-112, 1994.

ALI, R.; OWEN, G. M.; SCHANBAKER, L. M. Role of dietary fiber in geriatric nutrition: a review. In: VANHAOUNY, G. V.; KRITCHEVSKY, D. (Ed.). **Dietary fiber**. New York: Plenum Press, 1986. p. 373-387.

ALMEIDA, M. L.; MUNDSTOCK, C. M.; SANGOI, L. Conceito de ideotipo e seu uso no aumento do rendimento potencial de cereais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 325-332, 1998.

ALVES, A. C.; MUNDSTOCK, C. M.; MEDEIROS, J. D. Iniciação e emergência de afilhos em cereais de estação fria. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 1, p. 35-45, 2005.

AMARAL, A.L. et al. Estimativa da herdabilidade para os caracteres adaptativos ciclo e estatura de planta em aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, p. 33-37, 1996.

ARIAS, E. R. A.; RAMALHO, M. A. P. Progresso genético em milho no estado de Mato Grosso do Sul, no período de 1986/87 a 1993/94. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1549-1554, 1998.

AUSTIN, R. B. et al. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated to physiological changes. **Journal of Agricultural Sciences**, Cambridge, v. 94, p. 675-689, 1980.

AUSTIN, R. B.; FORD, A.; MORGAN, C. L. Genetic improvement in the yield of winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 94, p. 675-689, 1989.

BARBOSA NETO, J. F. et al. Progresso genético no melhoramento da aveia-branca no Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n.8, p. 1605-1612, 2000.

BARBOSA, M. M. et al. Molecular mapping and identification of QTL's associated to oat crown rust partial resistance. **Euphytica**, Wageningen, v. 150, p. 257-269, 2006.

BARBOSA, M. M. et al. Controle genético da resistência parcial á ferrugem da folha em aveia (*Avena sativa* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 308-314, 2008.

BATTISTI, G. K. et al. Expressão dos caracteres correlacionados na presença e ausência de fungicida em aveia branca (*Avena sativa* L.). In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 29., 2009, Porto Alegre. **Resultados experimentais...** Porto Alegre: UFRGS, 2009. p. 229-231.

BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma Press, 2002. 369 p.

BERTAN, I. et al. Estimativa de herdabilidade em diferentes caracteres de aveia através do método de regressão genitor-progênie. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DA AVEIA, 22., 2002, Passo Fundo. **Resultados experimentais...** Passo Fundo: UPF, 2002. p. 331-332.

BONNETT, O. T. Morphology and development. In: COFFMAN, F. A. **Oats and oat improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1961. p. 41-74.

CABRAL, C. B. et al. Herança do peso de grãos primários e secundários de aveia. Pesquisa **Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 1, p. 73-80, 2002.

CAIERÃO, E. **Peso da panícula como estratégia de incremento no rendimento de grãos em aveia, a partir da seleção indireta**. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitomelhoramento, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2000.

CAIERÃO, E. et al. Seleção indireta em aveia para o incremento no rendimento de grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 2, p. 231-236, 2001.

CAIRÃO, E.; CARVALHO, F. I. F.; FLOSS, E. L. Seleção indireta para o incremento do rendimento de grãos em aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1126-1131, 2006.

CARVALHO, F. I. F. et al. **Estimativas e implicações da herdabilidade como estratégia de seleção**. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 2001. 99 p.

CARVALHO, F. I. F. de; BARBOSA NETO, J. F.; FLOSS, E. L. Potencial genético da aveia, como produtora de grão, no sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 71-82, 1987.

CAUSSE, M. et al. Sucrose phosphate synthase: an enzyme with heterotic activity correlated with maize growth. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 995-1011, 1995.

CHAPKO, L. B.; BRINKMAN, M. A. Interrelations between panicle weight, grain yield on grain yield components in oat. **Crop Science**, Madison, v. 31, p. 878-882, 1991.

CHAVES, M. S.; MARTINELLI, J. A.; FEDERIZZI, L. C. Resistência quantitativa à ferrugem da folha em genótipos de aveia branca: I – caracterização da reação em condições de campo. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v. 29, p. 39-46, 2004a.

CHAVES, M. S.; MARTINELLI, J. A.; FEDERIZZI, L. C. Resistência quantitativa à ferrugem da folha em genótipos de aveia branca: III - correlação de componentes de resistência entre si e com a intensidade de doença no campo. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v. 29, p. 197-200, 2004b.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Central de informações agropecuárias, safras grãos, série histórica, aveia**. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

CONSTABLE, G. A.; REID, P. E.; THOMSON, N. J. Approaches utilized in breeding and development of cotton cultivars in Australia. In: JENKIS, J. N.; SAHA, S. **Genetic improvement of cotton: emerging technologies**. Plymouth: Science Publishers, 2001. 344 p.

COOK, R. D.; WEISBERG, S. Applied regression including computing and graphics. Hoboken NJ: 1999.

COVER, C.; FEDERIZZI, L. C.; PACHECO, M. T. Caracterização fenotípica e genotípica de caracteres agrônômicos em uma população de linhagens recombinantes de aveia (*Avena sativa* L.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 573-579, 2011.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2003. v. 2.

CRUZ, R. P.; FEDERIZZI, L. C.; MILACH, S. C. K. Genética da resistência à ferrugem-da-folha em aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1127-1132, 2001.

DAVIDSON, D. J.; CHEVALIER, P. M. Preanthesis tiller mortality in spring wheat. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 4, p. 832-836, 1990.

DE VITA, P. et al. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. **European Journal of Agronomy**, Taastrup, v. 26, p. 39-53, 2007.

DOEHLERT, D. C.; McMULLEN, M. S.; HAMMOND, J. Genotypic and environmental effects on grain yield and quality of oat grown in North Dakota. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1066-1072, 2001.

DUMLUPINAR, Z. et al. Correlation and path analysis of grain yield and yield components of some Turkish oat genotypes. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v. 44, n. 1, p. 321-325, 2012.

DUVICK, D. N. Genetic contributions to advances in yield of U. S. maize. **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 1, p. 69-79, 1992.

ENDER, M.; FEDERIZZI, L. C.; CARVALHO, F. I. F. Herança do índice de colheita em cruzamentos de trigo (*Triticum aestivum* L.) com diferentes estaturas de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p. 1445-1452, 1994.

FAOSTAT. **Fornece estatísticas da produção vegetal e animal, de uso do solo, do consumo de fertilizantes e pesticidas e do maquinário agrícola**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

FARIA, A. P. et al. Ganho genético na cultura da soja. **Semina: Ciência Agrária**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 71-78, jan./mar. 2007.

FEDERIZZI, L. C. et al. Variabilidade fenotípica de diferentes para caracteres da panícula em aveia (*Avena sativa* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 223-229, 1995.

FEDERIZZI, L. C. BERTAGNOLLI, P. F.; CARVALHO, F. I. F. de. Genetics of flowering time in oat (*Avena sativa* L.). **Journal of Genetics and Breeding**, Roma, v. 50, p. 147-154, 1996a.

FEDERIZZI, L. C. et al. Estabilidade do rendimento de grãos em aveia: Efeito do uso de fungicidas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 465-472, 1993.

FEDERIZZI, L. C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CARVALHO, F. I. F. de. Genetics of plant height of oat (*Avena sativa* L.) **Journal of Genetics and Breeding**, Rome, v. 50, p. 137-145, 1996b.

FEDERIZZI, L. C. et al. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. p. 131-157.

FEDERIZZI, L. C.; PACHECO, M. P. Programa de Melhoramento Genético de Aveia da UFRGS: 35 anos de história. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 29, 2009, Porto Alegre. **Resultados experimentais...** Porto Alegre, 2009. p. 202-205.

FEDERIZZI, L. C.; MUNDSTOCK, C. M. Fodder oats: an overview for South America. In: SUTTIE, J. M.; REYNOLDS, S. G. (Ed.). **Fodder oats: a world review**. Roma: FAO, 2004. Cap. 4, p. 37-51.

FERNANDES, J. S. C. **Estabilidade Ambiental de cultivares de milho (*Zea Mays* L.) na região Centro Sul do Brasil**. 1988. 94 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

FLECK, N. G. et al. Associação de características de planta em cultivares de aveia com habilidade competitiva. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 211-220, 2009.

FLOSS, E. L. Caracterização, importância econômica e utilização da cultura da aveia. In: GOELLNER, C. I.; FLOSS, E. L. **Insetos-pragas da cultura da aveia**. Passo Fundo: UPF, 2001. p. 15-29.

FORSBERG, R. A.; REEVES, D. L. Breeding oat cultivar for improved grain quality. In: MARCHALL, H. G.; SORRELLS, M. E. **Oat science and technology**. Madison: ASA and CSSA, 1992. p. 751-775.

GRAICHEN, F. A. S. et al. Epidemiological and histological components of crown rust resistance in oat genotypes. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 131, p. 497-510, 2011.

HARTWIG, I. et al. Correlações fenotípicas entre caracteres agronômicos de interesse em cruzamentos dialélicos de aveia branca. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 3, p. 273-278, 2006.

HOLLAND, J. B.; MUNKVOLD, G. P. Genetic relationships of crown rust resistance, grain yield, test weight, and seed weight in oat. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 1041-1050, 2001.

JALANI, B. S.; FREY, K. J.; BAILEY JÚNIOR, B. Contribution of growth rate and harvest index to grain yield of oats following selfing and outcrossing of M1 parents. **Euphytica**, Amsterdam, v. 28, p. 219-225, 1979.

JOHNSON, V. A.; SHAFER, S. L.; SCHIMIDT, J. W. Regression analysis of general adaptation in hard red winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Crop Science**, Madison v. 8, p. 187-191, 1968.

KHODARAHMI, M.; NABIPOUR, A.; ZARGARI, K. Genetic improvement of agronomic and quality traits of wheat cultivars introduced to temperate regions of Iran during 1942-2007. **African Journal of Agricultural Research**, Victoria Island, v. 5, n. 9, p. 947-954, 2010.

LANGE, C. E.; FEDERIZZI, L. C. Estimation of soybean genetic progress in the south of Brazil using multi-environmental yield trials. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 309-316, 2009.

LEGGETT, J. M.; MARKHAND, S. M. The genomic identification of some monosomics of *Avena sativa* L. cv Sun II using GISH. **Genome**, Ottawa, v. 38, p. 747-751, 1995.

LIU, K.; STAMLER, J.; TREVISAN, M. Dietary lipids, sugar, fiber and mortality from coronary heart disease. **Atherosclerosis**, Limerick, v. 3, n. 2, p. 221-227, 1982.

LEONARD, K. J.; MARTINELLI, J. A. Virulence of oat crown rust in Brazil and Uruguay. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 89, p. 802-808, 2005.

LOCATELLI, A. B. et al. Flowering time in oat: Genotype characterization for photoperiod and vernalization response. **Field Crops Research**, Wageningen, v. 106, n. 3, p. 242-247, 2008.

LOSKUTOV, I. Taxonomy and evaluation of genus *Avena* L. In: INTERNATIONAL OAT CONFERENCE, 7., 2004, Helsinki. **Proceedings...** Helsinki: MTT Agrofood Research Finland, 2004. p. 38.

LYNCH, P. J.; FREY, K. J. Genetic improvement in agronomic and physiological traits of oat since 1914. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 984-988, 1993.

MACARI, S. et al. Avaliação da mistura de cultivares de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) com azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) sob pastejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 910-915, 2006.

MARTINELLI, J. A. et al. Expressão da resistência parcial à ferrugem da folha da aveia presente na linhagem MN841801, no ambiente do Sul do Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1335-1342, 2009.

MATTIONI, T. C. et al. Herdabilidade em caracteres de aveia na presença e ausência de fungicida. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2009, Pelotas. **Resultados experimentais...** Pelotas: UFPEL, 2009. Disponível em <http://www.ufpel.edu.br/cic/2009/cd/pdf/CA/CA_00311.pdf>. Acesso em: 01 de set. 2010.

MEREDITH JR., R. W.; BRIDGE, R. R. Genetic contributions to yield changes in upland cotton. In: FEHR, W. R. **Genetic contributions to yield gains of five major crop plants**. Madison: Crop Science Society of Agronomy, 1984. p. 75-87.

MILACH, S. C. K.; FEDERIZZI, K. C. Dwarfing genes in plant improvement. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 73, p. 35-63, 2001.

MLADEVON, N. et al. Breeding progress in grain yield of winter wheat cultivars grown at different nitrogen levels in semiarid conditions. **Breeding Science**, Tóquio, v. 61, p. 260-268, 2011.

MORESCO, E. R. **Progresso genético no melhoramento do algodoeiro no Estado de Mato Grosso**. 2003. 79 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

MUNDSTOCK, C. M. **Cultivo dos cereais de estação fria**: trigo, cevada, aveia, centeio, alpiste e triticale. Porto Alegre: Editora NBS, 1983. 265 p.

NAVA, I. C. et al. Genetic control of agronomic traits in na oat population of recombinant lines. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 10, p. 305-311, 2010.

NEDEL, J. L. Progresso genético no rendimento de grãos de cultivares de trigo lançadas para cultivo entre 1940 a 1992. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 10, p. 1565-1570, 1994.

NEDOMOVA, L. Breeding progress in oat cultivars of the Czech and Czechoslovak origin and assessment of their similarity. In: INTERNATIONAL OAT CONFERENCE, 8., 2008, Minneapolis. **Resultados experimentais...** Minneapolis: University of Minnesota, 2008.

OOSTERBAAN, R. J. SegReg, segmented linear regression analysis for crop production and yield relations with plant growth factors. Disponível em: <<http://www.waterlog.info/segreg.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

PACHECO, M. T. et al. Ensaio brasileiro de cultivares de aveia branca, Eldorado do Sul, 2008. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE AVEIA, 29., 2009, Porto Alegre. **Resultados experimentais...** Porto Alegre: UFRGS, 2009. p. 361-362.

PELTONEN-SAINIO, P.; JÄRVINEN, P. Seeding rate effects on tillering, grain yield, and yield components of oat at high latitude. **Field Crops Research**, Maricopa, v. 40, p. 49-56, 1995.

PELTONEN-SAINIO, P. et al. Variation in harvest index of modern spring barley, oat and wheat cultivars adapted to northern growing conditions. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 146, p. 35-47, 2008.

PETERSON, D. M. et al. Relationships among agronomic traits and grain composition in oat genotypes grown in different environments. **Crop Breeding, Genetics & Cytology**, Madison, v. 45, p. 1249-1255, 2005.

PETR, J.; GERNY, V.; HEUSKA, L. Yield formation in cereals. In: YIELD formation in the main yield crops. New York, 1988. p. 72-153.

PRESTES, A. M.; SANTOS, H. P.; REIS, E. M. Práticas culturais e incidência de manchas foliares em trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 791-797, 2002.

REDAELLI, R. et al. Genetic progresso f oats in Italy. **Euphytica**, Wageningen, v. 164, n. 3, p. 679-687, 2008.

REDDY, B. S. Colon: future directions. In: VANHOUNY, G. V.; KRITCHEVSKY, D. (Ed.). **Dietary fiber**. New York: Plenum Press, 1986. p. 543-552.

REIS, E. F. et al. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n.3, p. 685-692, 2004.

RUSSEL, W. A. Comparative performance for maize hybrids representing different eras of maize breeding. In: ANNUAL CORN & SORGHUM RESEARCH CONFERENCE, 29., 1977, Chicago. **Resultados experimentais...** Washington: American Seed Trade Association, 1977. p. 81-101.

SALADO-NAVARRO, L. R.; SINCLAIR, T. R.; HINSON, K. Changes in yield and seed growth traits in soybean cultivars released in the Southern USA from 1945 to 1983. **Crop Science**, Madison, v. 33, n. 6, p. 1204-1209, 1993.

SANTOS, P. G. et al. Avaliação do progresso genético obtido em 22 anos no melhoramento do arroz irrigado em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1889-1896, 1999.

SANTOS, R. S. **Herança da resistência parcial à ferrugem da folha em seis populações de aveia (*Avena sativa* L.)**. 2009. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SAS Institute. **SAS software, versão 8.0**. Cary, 2000.

SILVA, M. R. et al. Lesion size as a criterion for screening oat genotypes for resistance to leaf spot. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 132, n. 4, p. 315-327, 2012.

SOARES, A. A. **Desempenho do melhoramento genético do arroz de sequeiro e irrigado da década de oitenta em Minas Gerais**. 2005. 188 f. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

SOFTWARE ARC, versão 1.06. Disponível em: <<http://www.stat.umn.edu/arc/software.html>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

SPECHT, J. E.; WILLIAMS, J. H. Contribution of genetic technology to soybean productivity: retrospect and prospect. In: FEHR, W. R. **Genetic contributions to yield gains of five major crop plants**. Madison: Crop Science Society of America, 1984. p. 49-74.

THOMAS, H. Cytogenetics of *Avena*. In: MARSHALL, H. G.; SORRELS, M. E. (Co-Ed.). **Oat science and technology**. Madison: Crop Science Society of America, 1992. p. 473-507.

THOMAS, H. Oats. In: SMARTT, J.; SIMMONDS, N. W. (Ed). **Evolution of crop plants**. 2nd ed. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1995. p. 132-136.

THOMÉ, G. C. H.; MILACH, S. C. K.; FEDERIZZI, L. C. Resistência parcial à ferrugem-da-folha em genótipos de aveia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 393-398, 2001.

ULSTUN, A.; ALLEN, F. L.; BURTON, C. Genetic progress in soybean of the U.S. Mid-South. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 993-998, 2001.

VENCOVSKY, R. et al. Progresso genético em vinte anos de melhoramento de milho no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., 1986, Belo Horizonte. **Resultados experimentais...** Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1988. p. 300-307.

VIEIRA, E. A. et al. Diversidade e estrutura genética para virulência de três populações sul brasileiras de *Puccinia coronata*. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 147-155, 2006.

WELCH, R. W. The chemical composition of oats. In: WELCH, R. W. (Ed.). **The oat crop: production and utilization**. London: Chapman & Hall, 1995. p. 279-320.

WESP, C. L. **Componentes da resistência quantitativa à ferrugem da folha em linhagens recombinantes de aveia**. 2005. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

WHITE, E. M.; WILSON, F. E. A. Responses of grain yield, biomass and harvest index and their rates of genetic progress to nitrogen availability in ten winter wheat varieties. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, Teagasc, v. 45, p. 85-101, 2006.

WILCOXSON, R. D.; SKOVMAND, B.; ATIF, A. H.; Evaluation of wheat cultivars for ability to retard development of stem rust. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 80, p. 275-281, 1975.

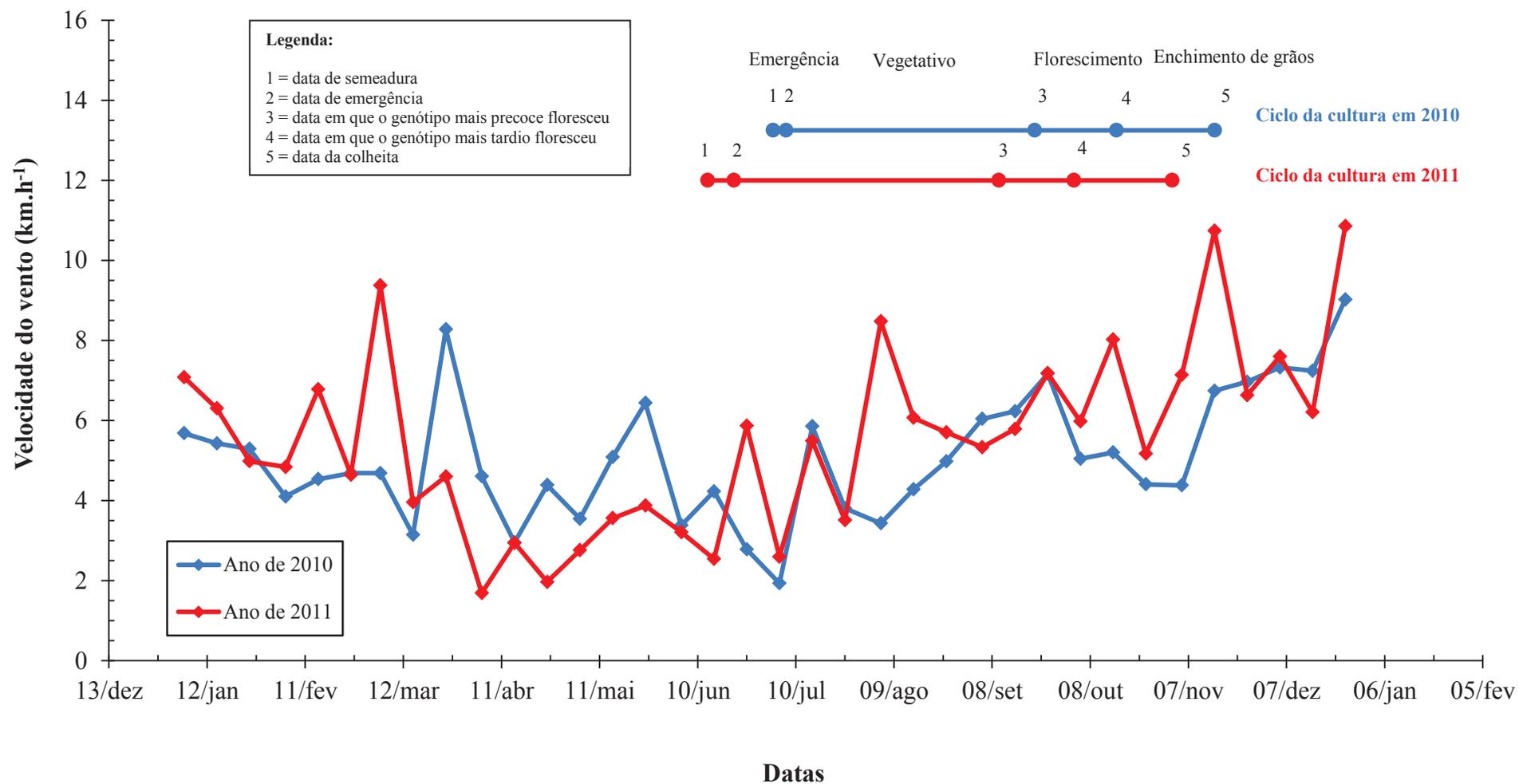
WYCH, R. D.; RASMUSSEN, D. C. Genetic improvement in malting barley cultivars since 1920. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 879-881, 1983.

WYCH, R. D.; STUTHMAN, D. D. Genetic improvement in Minnesota-adapted oat cultivars since 1923. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 879-881, 1983.

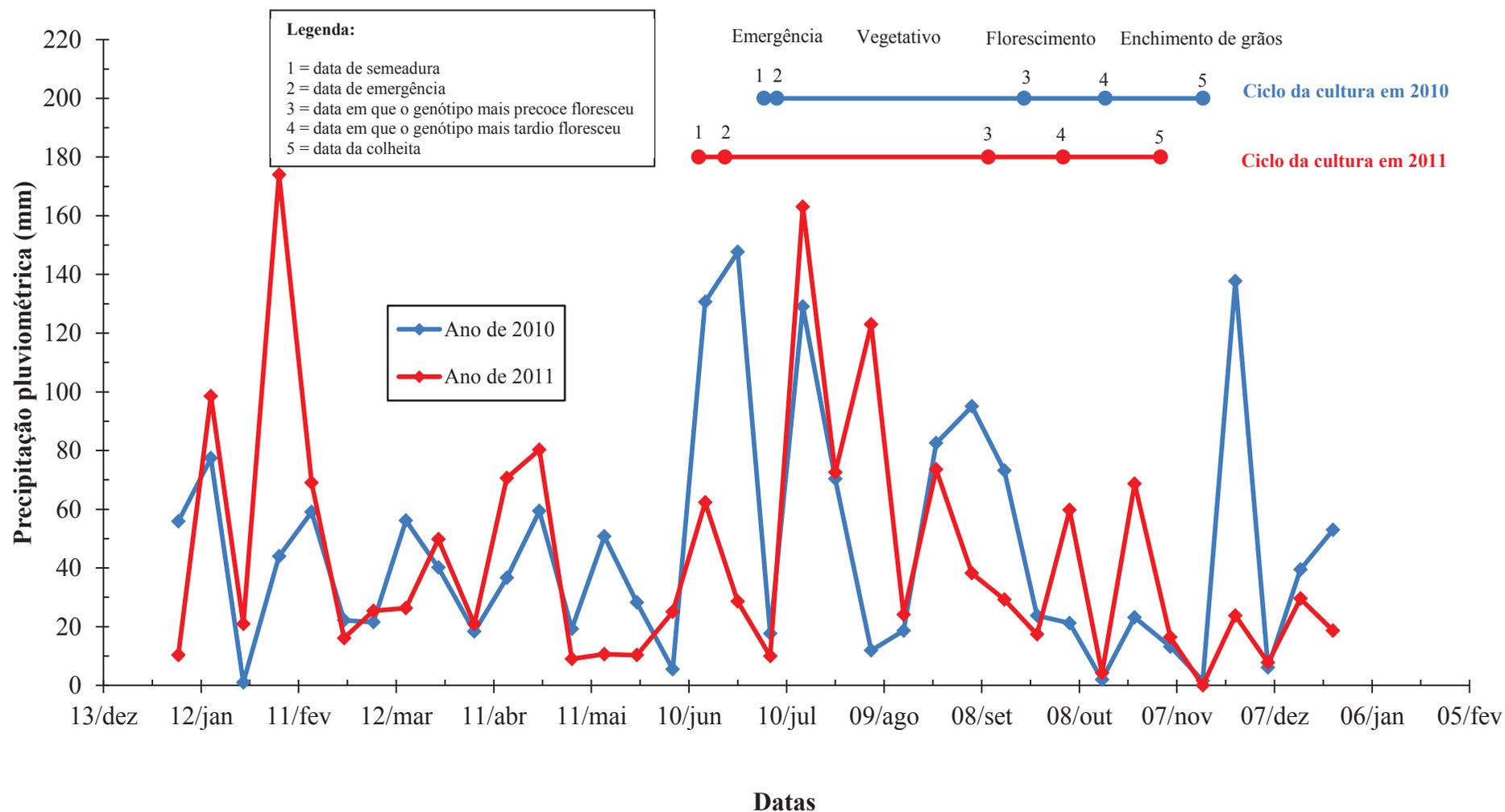
ZAMBONATO, F. **Caracterização fenotípica e genética da resistência parcial à ferrugem da folha em aveia (*Avena sativa* L.)**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

8 APÊNDICES

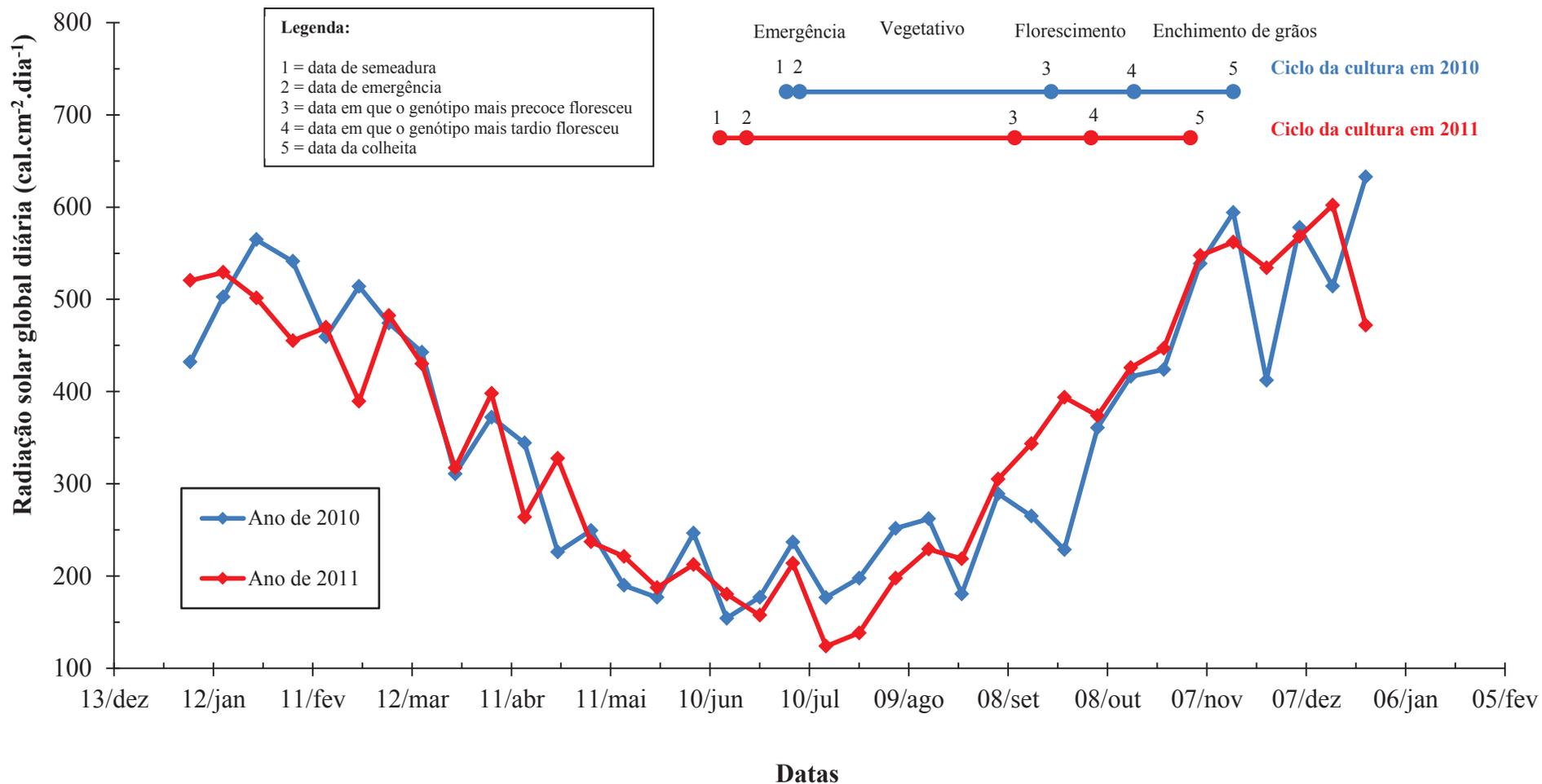
APÊNDICE 1. Comparação entre velocidade do vento e o ciclo da cultura da aveia, através dos dados meteorológicos cedidos pelo professor Ricardo Wanke de Melo da Estação Experimental Agronômica da UFRGS. Eldorado do Sul, RS.



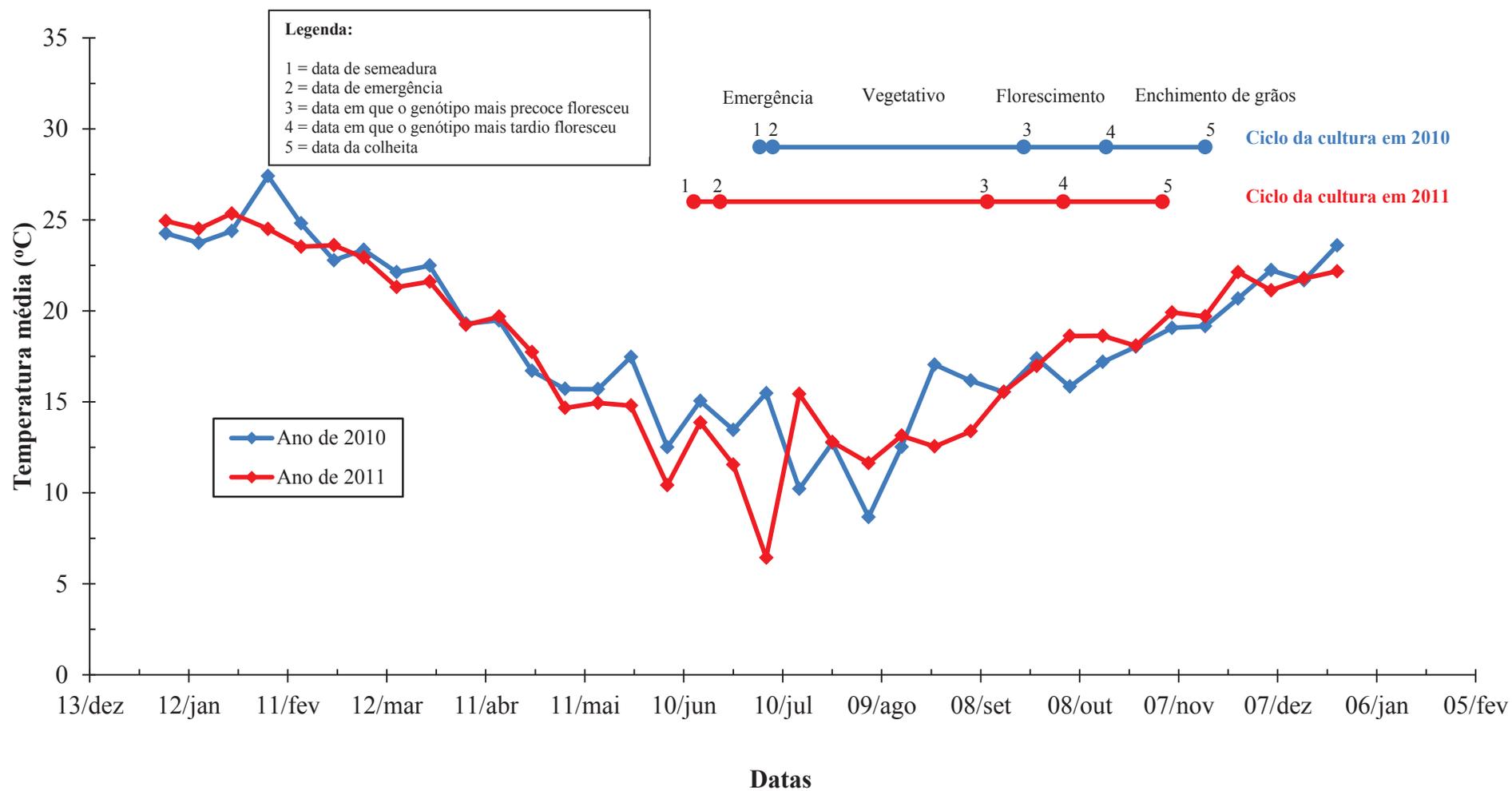
APÊNDICE 2. Comparação entre precipitação pluviométrica e o ciclo da cultura da aveia, através dos dados meteorológicos cedidos pelo professor Ricardo Wanke de Melo da Estação Experimental Agrônômica da UFRGS. Eldorado do Sul, RS.



APÊNDICE 3. Comparação entre radiação solar global diária e o ciclo da cultura da aveia, através dos dados meteorológicos cedidos pelo professor Ricardo Wanke de Melo da Estação Experimental Agrônômica da UFRGS. Eldorado do Sul, RS.



APÊNDICE 4. Comparação entre temperatura média e o ciclo da cultura da aveia, através dos dados meteorológicos cedidos pelo professor Ricardo Wanke de Melo da Estação Experimental Agronômica da UFRGS. Eldorado do Sul, RS.



9 VITA

Daniel Arhur Gaklik Waldow é filho de Milton Valmir Waldow e Marly Ledy Gaklik Waldow. Nasceu em Giruá-RS em 24 de julho de 1986.

Cursou o primeiro grau na Escola Estadual Otávio Bos, em Giruá-RS. O segundo grau, cursou no Colégio Evangélico Rui Barbosa, na cidade de Giruá-RS. No ano de 2004 ingressou no curso de Agronomia da Universidade de Passo Fundo (UPF), cursando até o ano de 2005. Na metade do ano de 2005 ingressou na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde se graduou Engenheiro Agrônomo em 2009. Durante o período acadêmico, foi bolsista no Núcleo de Biotecnologia e Melhoramento de Plantas da UFSM. Realizou estágio na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), em Passo Fundo-RS, e na Fundação Centro de Experimentação e Pesquisa (FUNDACEP), em Cruz Alta, com melhoramento e biotecnologia de trigo. Foi monitor da disciplina de Melhoramento de Plantas na UFSM no ano de 2008.

Em março de 2010, ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Em dezembro de 2011, começou a trabalhar no Instituto Rio-Grandense do Arroz (IRGA) como Pesquisador do Programa de Melhoramento Genético de Arroz.