

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

EDUARDO BECHE

**CARACTERES AGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS AO
PROGRESSO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DE TRIGO NO
BRASIL**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2013

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

EDUARDO BECHE

**CARACTERES AGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS AO
PROGRESSO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DE TRIGO NO
BRASIL**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2013

EDUARDO BECHE

**CARACTERES AGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS AO
PROGRESSO DO MELHORAMENTO GENÉTICO DE TRIGO NO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Giovani Benin

PATO BRANCO

2013

Catálogo na Fonte por Elda Lopes Lira CRB9/1295

B391c Beche, Eduardo

Caracteres agronômicos e fisiológicos associados ao progresso do
melhoramento genético de trigo no Brasil / Eduardo Beche – 2013.
81 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Giovani Benin

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco / PR, 2013.
Bibliografia: f. 71 -81

1.Rendimento de grãos. 2.Ganho genético. 3.Caracteres fisiológicos. 4. Eficiência de
uso do nitrogênio. I.Benin, Giovani, orient. II.Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD (22.ed.) 630



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação n.º 075

**Caracteres agronômicos e fisiológicos associados ao progresso do
melhoramento genético de trigo no Brasil**
por

Eduardo Beche

Dissertação apresentada às treze horas e trinta do dia vinte e oito de fevereiro de dois mil e treze, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Sistemas de Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho. *aprovado*.....

Banca examinadora:

Dr. André Cunha Rosa
Biotrigo Genética

Prof. Dr. Lindolfo Storck
UTFPR/PB

Prof. Dr. Michelangelo Müzell Trezzi
UTFPR/PB

Prof. Dr. Giovani Benin
UTFPR/PB
Orientador

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. André Brugnara Soares
Coordenador do PPGAG

Dedico a realização desta dissertação a todas as pessoas que, de uma forma ou de outra, contribuíram na execução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que pela vida, saúde e disposição que nunca me faltou.

A minha família: pais Neuri e Iris e irmãs Daniele e Manoela, que sempre me ajudaram e incentivaram na conclusão do Mestrado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Giovani Benin, por sua valiosa orientação, dedicação e conhecimentos transmitidos durante todo nosso tempo de convivência que já vem desde a graduação e pela amizade construída ao longo dos anos.

Aos demais professores do Programa de Pós Graduação em Agronomia e da coordenação de Agronomia, pelos ensinamentos transmitidos e pela amizade construída durante todos esses anos de convívio.

Aos colegas e amigos do grupo de Fitomelhoramento da UTFPR, pela amizade, companheirismo e auxílio na execução de inúmeros trabalhos.

A todos os meus amigos, em especial aos que conviveram comigo nestes dois anos de mestrado.

À UTFPR, pela formação acadêmica durante a graduação e pela possibilidade de aperfeiçoamento com o mestrado.

Ao CNPq, pelos recursos disponibilizados em projetos de pesquisa e a CAPES, pela bolsa de estudos durante o mestrado.

“Saiba onde buscar e como usar a informação, esse é o segredo do sucesso” - Albert Einstein.

RESUMO

BECHE, Eduardo. Caracteres agronômicos e fisiológicos associados ao progresso do melhoramento genético de trigo no Brasil. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

Conhecer os processos responsáveis pelo avanço do progresso genético do rendimento de grãos é uma etapa essencial para o desenvolvimento de cultivares mais produtivas. Os objetivos do estudo foram: a) Avaliar a duração dos subperíodos de desenvolvimento de cultivares de trigo brasileiros, lançados entre 1940 e 2009, e quantificar a importância de cada fenofase sobre o rendimento de grãos e seus componentes. b) Caracterizar, fisiológica e agronomicamente, cultivares de trigo desenvolvidos entre 1940 e 2009, a fim de identificar critérios de seleção mais efetivos à continuidade do progresso genético de melhoramento no Brasil. c) Caracterizar cultivares antigos e modernos brasileiros, lançados em diferentes décadas, quanto à eficiência do uso do nitrogênio e seus componentes. Dez cultivares de trigo brasileiros, antigos e modernos, foram avaliados em ensaios de competição, em duas safras agrícolas (2010 e 2011); na safra agrícola de 2011 um ensaio foi conduzido em casa de vegetação, com quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg N ha⁻¹). Comparou-se a duração dos subperíodos, caracteres agronômicos e fisiológicos (trocas gasosas) e caracteres da eficiência do uso do nitrogênio (EUN). O melhoramento reduziu a fase de semeadura a antese e aumentou a fase de enchimento de grãos, contribuindo com o aumento da massa de mil grãos. Os genótipos modernos tiveram o subperíodo de espiguetas terminal a antese aumentado (0,68 a 1,35 graus dias ano⁻¹) ao longo dos anos, contribuindo com o incremento do número de grãos por espiguetas, número de grãos por espiga, peso seco de espiga em antese e índice de fertilidade da espiga. O incremento de rendimento de grãos foi de 29 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com um ganho genético de 0,92% ano⁻¹ no período de 1940 e 2009. O progresso genético para rendimento de grãos foi principalmente relacionado ao incremento do índice de colheita, número de grãos e rendimento biológico, que foram alcançados pelo aumento da condutância estomática e da taxa fotossintética em pré e pós-antese e redução da estatura de planta. A eficiência de absorção de nitrogênio (EAN) foi positivamente associada com a eficiência do uso do nitrogênio (EUN) na ausência de adubação nitrogenada. A eficiência de utilização do nitrogênio (EUtN) e a EAN foram positivamente associadas a EUN nas doses elevadas de N. Os cultivares mais recentemente disponibilizados para cultivo (Quartzo, CD 117, BRS Tangará, BRS 220, BRS 208 e BRS Guamirim) foram mais eficientes no uso do nitrogênio e mais tolerantes a baixas doses em comparação ao grupo formado pelos cultivares BRS 179, BR 23, Toropi e Frontana.

Palavras-chave: Rendimento de grãos. Ganho genético. Caracteres fisiológicos. Eficiência de uso do nitrogênio.

ABSTRACT

BECHE, Eduardo. Agronomic and physiological traits associated with the wheat breeding progress in Brazil. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Federal University of Technology - Paraná. Pato Branco, 2013.

Knowledge the processes responsible for the progress of genetic gain in grain yield in wheat plant is an essential step for the development of high yield cultivars. The aims of the study were: a) Evaluate the duration of developmental phases in wheat cultivars and quantify the importance of each phase on grain yield and its components. b) characterize physiological and agronomically wheat cultivars released in different decades, to identify selection criteria for continued improvement of genetic progress in Brazil. c) Characterize Brazilian wheat cultivars developed in different decades for the nitrogen use efficiency (NUE). Ten wheat cultivars released from 1940 to 2009, were examined for two years in a competition essay (2010 and 2011) and in 2011 an essay in green house was conducted with four nitrogen rates (0, 60, 120 e 180 kg N ha⁻¹). We compared the duration of periods, agronomic and physiological traits (gas exchange) and nitrogen use efficiency (EUN) characters. The Breeding reduced time to anthesis and increased the grain filling, contributing to the increase in thousand kernel weight. The modern cultivars had the period terminal spikelet to anthesis increased (0,68 to 1,35 degree days year⁻¹) over the years, contributing to the increase in the number of grains per spikelet, number of grains per spike, spike dry weight at anthesis and spike fertility index. The increase in grain yield was 29 kg ha⁻¹ yr⁻¹, with a genetic gain of 0,92% yr⁻¹ from 1940 to 2009, this is largely related to the increased of harvest index, number of grains m⁻² and biological yield, which were achieved through improving stomatal conductance and photosynthetic rate in pre and post-anthesis and reduced in plant height. The nitrogen uptake efficiency (NUpE) was positively associated with nitrogen use efficiency (NUE) in the absence of fertilization. Nitrogen utilization efficiency (NutE) and NUpE were positively associated with NUE in higher N. The modern cultivars (Quartzo, CD 117, BRS Tangará, BRS 220, BRS 208 and BRS Guamirim) were more efficient in the use of nitrogen and more tolerant to low N input compared to the group formed by BRS 179, BR 23, Toropi and Frontana.

Keywords: Grain yield. Genetic gain. Physiological traits. Nitrogen use efficiency.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Dados climáticos médios mensais de temperatura, precipitação pluvial e radiação global dos anos 2010 (A e B) e 2011 (C e D). Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tme: temperatura media. Fonte: IAPAR/SIMEPAR. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	13
Figura 2.2 Tempo térmico em graus dias ($^{\circ}\text{Cd}$) de semeadura a emergência (SM-EM), emergência a duplo anel (EM-DA), duplo anel a espiguetta terminal (DA-ET), espiguetta terminal a antese (ET-ANT), antese a maturação fisiológica (ANT-MF), semeadura a antese (SM-ANT) e semeadura a maturação fisiológica (SM-MF) de 10 genótipos de trigo brasileiros, desenvolvidos em diferentes décadas, no ano de 2010. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	18
Figura 2.3 Tempo térmico em graus dias ($^{\circ}\text{Cd}$) de semeadura a emergência (SM-EM), emergência a duplo anel (EM-DA), duplo anel a espiguetta terminal (DA-ET), espiguetta terminal a antese (ET-ANT), antese a maturação fisiológica (ANT-MF), semeadura a antese (SM-ANT) e semeadura a maturação fisiológica (SM-MF) de 10 genótipos de trigo brasileiros, desenvolvidos em diferentes décadas, no ano de 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	19
Figura 2.4 - Associação entre rendimento de grãos e o subperíodo semeadura a antese (A), massa de mil grãos e o subperíodo antese a maturação fisiológica (B), na média de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	21
Figura 2.5 - Associação entre espiguetta terminal antese e número de grãos espiguetta ⁻¹ – NGET (A); número de grãos espiga ⁻¹ – NGE (B); peso seco da espiga em antese – PSEa (C) e índice de fertilidade de espiga – IFE (D), na média de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	23
Figura 2.6 - Associação entre número de grãos espiga ⁻¹ e peso seco de espiga em antese (A) e com índice de fertilidade da espiga (B); associação entre rendimento de grãos e peso seco de espiga em antese (C) e com índice de fertilidade da espiga (D), na média de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	25
Figura 2.7 - Associação entre peso seco da espiga em antese (PSEa) e índice de fertilidade da espiga – IFE (A) e com massa de mil grãos – MMG (B), na média de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	26
Figura 3.1 - Distribuição dos valores médios mensais de temperatura, precipitação pluvial e radiação global dos anos 2010 (A e B) e 2011 (C e D). Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tme: temperatura media. Fonte: IAPAR/SIMEPAR. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	33
Figura 3.2 - Associação entre rendimento de grãos e ano de lançamento no período de 1940 a 2009 (A) e 1999 e 2009 (B), em 10 genótipos de trigo lançados, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	37
Figura 3.3 - Associação entre ano de lançamento e índice de colheita (A); rendimento biológico (B); número de grãos m^{-2} (C) e massa de mil grãos (D), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	39
Figura 3.4 Associação entre rendimento de grãos – RG e índice de colheita – IC (A), rendimento biológico – RB (B), número de grãos m^{-2} – NG (C), massa de mil grãos – MMG (D), clorofila A - ICF A (E), clorofila B – ICF B (F), clorofila A+B -	

ICF A+B (G), taxa fotossintética - P_N (H), condutância estomática - g_s (I) e associação entre NG e RB (J), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos (2010 e 2011). UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	40
Figura 3.5 Associação entre ano de lançamento e estatura de planta (A); estatura de planta de cultivares antigos e modernos (B); associação entre estatura de planta e rendimento de grãos (C), e índice de colheita (D), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.	42
Figura 3.6 Associação entre ano de lançamento e taxa de transpiração - E (A); média da taxa de transpiração entre os cultivares antigos e modernos (B); associação entre ano de lançamento e eficiência do uso da água - QUE (C); média de eficiência do uso da água entre os cultivares antigos e modernos (D), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.	43
Figura 3.7 Associação entre ano de lançamento e taxa fotossintética - P_N (A); média da taxa fotossintética entre os cultivares antigos e modernos (B); associação entre ano de lançamento e condutância estomática - g_s (C); média de condutância estomática entre os cultivares antigos e modernos (D), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.	45
Figura 3.8 Associação entre rendimento biológico (RB) com taxa fotossintética (P_N) (A) e condutância estomática (g_s) (B), em 10 genótipos de trigo lançados em diferentes décadas, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.	45
Figura 3.9 - Associação entre ano de lançamento e conteúdo relativo de clorofila em pré-antese (A) e média do conteúdo relativo de clorofila entre os cultivares antigos e modernos em antese (B), em 10 genótipos de trigo, nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.	46
Figura 3.10 Associação entre ano de lançamento e conteúdo relativo de clorofila em pós antese (A), média do conteúdo relativo de clorofila entre os cultivares antigos e modernos (B), em 10 genótipos de trigo, nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.	46
Figura 3.11 Associação entre índice de clorofila A+B (ICF A+B) e taxa fotossintética (P_N) (A) e condutância estomática (g_s) (B), em 10 genótipos de trigo, nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	47
Figura 3.12 Resposta do rendimento de grãos a competição em 10 genótipos de trigo, lançados entre 1940 e 2009, nos anos de 2010 e 2011 (A). Rendimento de grãos médio das linhas centrais e das bordas (B). Coeficientes de correlação entre resposta do rendimento de grãos a competição e resposta dos componentes do rendimento a competição (C). UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.	48
Figura 4.1 - Rendimento de grãos (A) rendimento de grãos médio dos genótipos (B), em 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009 em 4 doses de nitrogênio, no ano de 2011. UTFPR, Pato Branco - PR, 2013.....	59
Figura 4.2 Eficiência do uso do nitrogênio para grãos - EUNg (A), Eficiência de absorção do nitrogênio - EAN (B), Eficiência de utilização do nitrogênio - EUtN (C), Índice de colheita de nitrogênio - ICN (D), absorção de nitrogênio pós-antese - ANPA (E) e eficiência de remobilização de nitrogênio - ERN (F) de 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco - PR, 2013.	60
Figura 4.3 - Associação entre NTA e ERN (A), ANPA e ERN (B), EAN e NTA (C), EAN e NTM (D) em 10 cultivares de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco - PR, 2013.....	61
Figura 4.4. Associação entre índice de colheita de nitrogenio (ICN) e eficiência da	

remobilização de nitrogênio - ERN (A), e absorção de nitrogênio pós-antese – ANPA (B) em 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.....	63
Figura 4.5 Fração aparente de recuperação de nitrogênio – FARN (A e B), de 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013..	64
Figura 4.6 - Nitrogênio total acumulado na biomassa acima do solo em antese (NTA) de 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.	65
Figura 4.7 Plotagem dos cultivares antigos e modernos em, rendimento de grãos em baixo N e índice de resposta a EUtN (A) e índice de tolerância a baixo N e índice de resposta a EUtN (B). UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Descrição dos genótipos, instituição geradora, ano de lançamento e genealogia. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	12
Tabela 2.2. Análise de variância conjunta para a duração das fenofases, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias, de 10 cultivares de trigo lançadas entre 1940 e 2009, nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	16
Tabela 2.3 Análise de variância conjunta para cinco caracteres agronômicos, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias, de 10 cultivares de trigo lançadas entre 1940 e 2009, nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	17
Tabela 2.4 Número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por espigueta (NGET), peso seco da espiga em antese (PSEa), índice de fertilidade de espiga (IFE), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (RG), de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	22
Tabela 3.1. Descrição dos genótipos, instituição geradora, ano de lançamento e genealogia. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	32
Tabela 3.2 Análise de variância, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias, de 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009, avaliadas nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	36
Tabela 4.1 Resultados de análise química do solo utilizado no experimento. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.	54
Tabela 4.2. Descrição dos genótipos, instituição geradora, ano de lançamento e genealogia. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.....	55
Tabela 4.3 Análise de variância para os caracteres agronômicos e de eficiência do uso do nitrogênio, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias, de 10 cultivares de trigo lançadas entre 1940 e 2009, avaliados na safra agrícolas de 2011. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.	58
Tabela 4.4 Coeficientes de correlação linear entre eficiência de uso do nitrogênio e eficiência de absorção e utilização do nitrogênio para diferentes doses de nitrogênio, em 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009, UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.....	63

LISTA DE SIGLAS

ANPA	Absorção de nitrogênio pós-antese
ANT	Antese
AS	Acurácia seletiva
CV	Coeficiente de variação
DA	Duplo anel
EAN	Eficiência de absorção de nitrogênio
EM	Emergência
EP	Estatuta de planta
ERN	Eficiência de remobilização de nitrogênio
ET	Espiguetta terminal
EUN	Eficiência de uso de nitrogênio
EUtN	Eficiência de utilização de nitrogênio
FARN	Fração aparente de recuperação de nitrogênio
IC	Índice de colheita
ICFA	Índice de clorofila A
ICFA+B	Índice de clorofila A+B
ICFB	Índice de clorofila B
ICN	Índice de colheita de nitrogênio
IFE	Índice de fertilidade da espiga
MF	Maturação fisiológica
MJ	Mega joules
MMG	Massa de mil grãos
NGE	Número de grãos espiga ⁻¹
NGET	Número de grãos espiguetta ⁻¹
NTA	Nitrogênio total na biomassa em antese
NTG	Nitrogênio total nos grãos
NTM	Nitrogênio total na biomassa na maturação fisiológica
PR	Unidade da Federação – Paraná
PSEa	Peso seco da espiga em antese
RB	Rendimento biológico
RG	Rendimento de grãos
SM	Semeadura
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ABREVIATURAS

BRS	Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CD	COODETEC – Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola
Dr.	Doutor em Ciências
Eng. Agr.	Engenheiro Agrônomo
g	Gramas
ha	Hectares
Kg	Quilogramas
m	Metros
mm	Milímetros
N	Nitrogênio
Prof.	Professor
Tmax	Temperatura máxima
Tme	Temperatura média
Tmin	Temperatura mínima

LISTA DE ACRÔNIMOS

COODETEC	Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAPAR	Instituto Agronômico do Paraná
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

$^{\circ}\text{Cd}$	Graus dias
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
%	Porcentagem
P_N	Taxa fotossintética
g_s	Condutância estomática
E	Taxa de transpiração
WUE	Eficiência do uso da água
RC_{RG}	Resposta a competição para rendimento de grãos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	6
2 DURAÇÃO DAS FENOFASES DE DESENVOLVIMENTO EM CULTIVARES DE TRIGO BRASILEIROS LANÇADOS ENTRE 1940 E 2009	8
2.1 RESUMO	8
2.2 ABSTRACT:.....	9
2.3 INTRODUÇÃO.....	10
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	12
2.4.1 Condições Experimentais e Material Genético	12
2.4.2 Caracteres avaliados	13
2.4.2.1 Determinação dos subperíodos.....	13
2.4.2.2 Caracteres agronômicos.....	14
2.4.2.3 Análises Estatísticas.....	15
2.6 CONCLUSÕES	27
3 CARACTERES AGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS AO GANHO GENÉTICO EM CULTIVARES DE TRIGO BRASILEIROS LANÇADOS ENTRE 1940 E 2009	28
3.1 RESUMO	28
3.2 ABSTRACT:.....	29
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.4.1 Condições experimentais e material genético	32
3.4.2 Caracteres avaliados	33
3.4.2.1 Trocas gasosas	33
3.4.2.2 Teor de clorofila.....	34
3.4.2.3 Caracteres agronômicos.....	34
2.4.3 Análises Estatísticas.....	35
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.6 CONCLUSÕES	49
4 EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO EM CULTIVARES DE TRIGO BRASILEIROS ANTIGOS E MODERNOS.....	50
4.1 RESUMO	50
4.2 ABSTRACT	51
4.3 INTRODUÇÃO.....	52
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	54
4.4.1 Condições experimentais e material genético	54
4.4.2 Caracteres avaliados	55
4.4.2.1 Rendimento de grãos	55
4.4.2.2 Teor de nitrogênio.....	55
4.4.2.3 Componentes da eficiência de uso do nitrogênio (EUN)	56
4.4.3 Análises Estatísticas.....	57
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.6 CONCLUSÕES	69
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIA	71

1 INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é a maior fonte de calorias e proteínas para a população mundial, sendo considerado um alimento essencial para a segurança alimentar.

No início do desenvolvimento da cultura no país, década de 40, a produtividade registrada era de 700 kg ha⁻¹, atualmente, com os avanços no melhoramento genético e práticas de manejo a produtividade é de 2140 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013). Contudo, a produção Brasileira de trigo é de em torno 5 milhões de toneladas por ano, muito inferior a demanda anual do cereal, que é de 10 milhões de toneladas, fazendo com que o Brasil seja um dos principais importadores deste cereal, no mundo.

O ganho de rendimento tem sido frequentemente associado ao aumento da resistência a doenças, a estresses abióticos e ao acamamento (SAYRE et al., 1997; REYNOLDS; BORLAUG, 2006). Entretanto, o progresso genético com a cultura do trigo, nas últimas décadas, tem sido cada vez menor (GRAYBOSCH; PETERSON 2010), com incrementos variando de 0,3% a 1,0% ao ano no último século (FISCHER; EDMEADES, 2010; LOPES et al., 2012; SHARMA et al., 2012). É premente a adoção de estratégias de seleção mais eficientes para a continuidade do progresso genético.

Há várias características que podem ser manipuladas na cultura do trigo e que podem resultar em incremento de rendimento de grãos (FOULKES et al., 2011; PARRY et al., 2011), podendo-se destacar: aumento do número de grãos e fertilidade da espiga, otimização do crescimento da espiga e maximização da capacidade e eficiência fotossintética. O aumento da duração do período de crescimento da espiga (elongamento) (SLAFER et al., 2005) e o aumento da eficiência de uso dos nutrientes (HIREL et al., 2007; MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010) também merecem destaque.

A avaliação do progresso genético, de caracteres agrônômicos e fisiológicos, é um aspecto de fundamental importância em programas de melhoramento genético, pois permite averiguar seu sucesso e a necessidade de adoção de novas estratégias que venham ampliar sua eficácia. Neste sentido, os objetivos deste estudo foram caracterizar cultivares antigos e modernos de trigo quanto à duração dos subperíodos de desenvolvimento, parâmetros relacionados a

eficiência fotossintética e a eficiência do uso do nitrogênio, a fim de identificar critérios de seleção mais efetivos à continuidade do progresso genético de melhoramento no Brasil.

2 DURAÇÃO DAS FENOFASES DE DESENVOLVIMENTO EM CULTIVARES DE TRIGO BRASILEIROS LANÇADOS ENTRE 1940 E 2009

2.1 RESUMO

Conhecer os processos responsáveis pelo avanço da produção de grãos e relacioná-los com o crescimento e desenvolvimento da planta de trigo é uma etapa essencial para o desenvolvimento de cultivares mais produtivas. O objetivo deste estudo foi avaliar a duração das fenofases do desenvolvimento de cultivares de trigo e quantificar a importância de cada subperíodo sobre o rendimento de grãos e seus componentes. Dez cultivares de trigo brasileiros, lançados em diferentes décadas, foram avaliadas em ensaios de competição, em duas safras agrícolas (2010 e 2011), em Pato Branco-PR. Comparou-se a duração dos subperíodos: semeadura-emergência (SM-EM), emergência - duplo anel (EM-DA), duplo anel - espiguetas terminal (DA-ET), espiguetas terminal - antese (ET-AN), antese-maturação fisiológica (AN-MF), semeadura - antese (SM-ANT) e semeadura - maturação fisiológica (SM-MF), ainda mensurou-se o rendimento de grãos e alguns componentes, número de grãos, massa de mil grãos, peso seco da espiga em antese e índice de fertilidade da espiga. O melhoramento reduziu a fase de semeadura a antese (2010, -18,5% e 2011, -18,6%) e aumentou a fase de enchimento de grãos (2010, +9,21% e 2011, +8,35%), contribuindo com o aumento da massa de mil grãos (5,7 e 6%). Os genótipos modernos tiveram o subperíodo de espiguetas terminal a antese aumentado (0,68 a 1,35 graus dias ano⁻¹) ao longo dos anos, contribuindo com o incremento do número de grãos por espiguetas (2010, $r=0,91$; 2011, $r=0,85$), número de grãos por espiga (2010, $r=0,90$; 2011, $r=0,81$), peso seco de espiga em antese (2010, $r=0,83$; 2011, $r=0,96$) e índice de fertilidade da espiga (2010, $r=0,97$; 2011, $r=0,83$). A associação positiva entre peso seco de espiga em antese e índice de fertilidade da espiga ($r=0,65$), sugere que os dois caracteres podem ser incrementados conjuntamente. Estes resultados sugerem que a manipulação da duração do subperíodo de espiguetas terminal a antese, sem aumento do ciclo vegetativo, pode ser uma estratégia útil para aumento do potencial de rendimento de grãos em trigo.

2.2 ABSTRACT:

Knowledge the processes responsible for the progress of grain yield and relate them to the growth and development of the wheat plant is an essential step for the development of more productive cultivars. The aim of our study was evaluate the duration of developmental phases in wheat cultivars and quantify the importance of each phase on grain yield and its components. Ten Brazilian wheat cultivars, released from 1940 to 2009, were examined in two years, 2010 and 2011 in Pato Branco, Paraná. We compared the length of periods: sowing-emergence (S-EM), Emergency - double ring (EM-DR), double ring - terminal spikelet (DR-TE), terminal spikelet - anthesis (TE-AN), anthesis- physiological maturity (AN-FM), sowing - anthesis (S-AN) and sowing - physiological maturity (S-FM), is also measured grain yield and some components, grain number, thousand kernel weight, spike dry weight at anthesis and spike fertility index. The Breeding reduced time to anthesis (2010, -18,5% and 2011 -18,6%) and increased the grain filling period (2010, +9,21% and 2011, +8,35%), contributing to the increase in thousand kernel weight (5,7 and 6%). The modern cultivars had the period terminal spikelet to anthesis increased (0,68 to 1,35 degree days year-1) over the years, contributing to the increase in the number of grains per spikelet (2010, $r = 0,91$; 2011, $r = 0,85$), number of grains per spike (2010, $r = 0,90$; 2011, $r = 0,81$), spike dry weight at anthesis (2010, $r = 0,83$; 2011, $r = 0,96$) spike fertility index (2010, $r = 0,97$; 2011, $r = 0,83$). The positive association between spike dry weight at anthesis and spike fertility index ($r = 0,65$), suggests that the two characters were improved together. These results suggest that manipulating the length of the phase of terminal spikelet to anthesis, without increasing the time to anthesis, may be a useful tool for increasing the yield potential in wheat.

2.3 INTRODUÇÃO

O ciclo de desenvolvimento da cultura de trigo pode ser dividido em três fases principais: vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos, as quais ocorrem em sequência e interferem no rendimento de grãos (KIRBY; APPLEBY, 1984; SLAFER; RAWSON, 1994; KIRBY et al., 1999).

Diversos estudos, na Espanha e Itália (GIUNTA et al., 2007; ACRECHE et al., 2008; ISIDRO et al., 2011), Brasil (RODRIGUES et al., 2007), Argentina (MIRALLES et al., 2000; WHITECHURCH et al., 2007) e Reino Unido (KIRBY et al., 1999), tem associado a duração dos subperíodos e fases de desenvolvimento do trigo ao progresso genético do rendimento de grãos e/ou seus componentes.

O período vegetativo do trigo, onde é definido o número de plantas m^{-2} , ocorre da emergência (EM) ao duplo anel (DA). O período reprodutivo, é definido o número de grãos por unidade de área, inicia no estágio de duplo anel e termina na antese, podendo ser dividido em dois subperíodos: duplo anel a espiguetas terminal (ET) e espiguetas terminal a antese (ANT). O último período de desenvolvimento do trigo é a fase de enchimento de grão, que compreende a fenofase de antese a maturação fisiológica (MF), é definido o peso de grãos (MIRALLES; SLAFER, 1999; SLAFER, 2012).

O subperíodo ET-ANT, crítico para a definição do rendimento potencial em trigo, coincide com o início da alongação dos colmos, no momento em que há elevação do ponto de crescimento acima da superfície do solo. Nesta fase inicia-se o crescimento da espiga e definição do número de espiguetas por espiga e grãos por espiguetas (MIRALLES et al., 2000; GONZÁLEZ et al., 2003; SERRAGO et al., 2008). O número de grãos por unidade de área é o componente que mais explica as variações de rendimento de grãos (FISCHER, 2008; SANCHEZ-GARCIA et al., 2012a). Por este motivo, o subperíodo ET-ANT é considerado uma dos mais importantes para determinação do rendimento de grãos (SLAFER et al., 2005; RODRIGUES et al., 2007; FISCHER, 2011).

A duração da fase vegetativa e reprodutiva podem ser manipuladas e ajustadas independentemente, de acordo com o seu grau de importância, sem afetar o ciclo da cultura (SLAFER et al., 2001; 2005; WHITECHURCH et al., 2007; RIBEIRO et al., 2009). Também, aumentar o subperíodo ET-ANT, sem alterar o número de dias até o florescimento, pode ser uma alternativa para maximizar um

maior número de grãos por unidade de área e, ao mesmo tempo, diminuir a competição por fotoassimilados na fase de enchimento de grãos (SLAFER, 2003; SLAFER et al., 2005; MIRALLES; SLAFER, 2007).

Avaliando cultivares de trigo brasileiros lançadas entre 1940 e 1992, Rodrigues et al. (2007), observaram que, à medida que se elevou o potencial produtivo, aumentou-se, de forma não intencional, o subperíodo ET-ANT. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos com cultivares de trigo argentinos (WHITECHURCH et al., 2007) e italianos (ISIDRO et al., 2011). Entretanto, alguns relatos indicam que o subperíodo ET-ANT não difere entre cultivares (ABATTE et al., 1998; FISCHER, 2001), indicando que a importância deste subperíodo para o progresso genético do rendimento de grãos é dependente da base genética e/ou do ambiente de seleção.

Os programas de melhoramento de trigo têm buscado alternativas mais efetivas para a continuidade do progresso de melhoramento. Neste sentido, diversos estudos indicam que a peso seco de espiga em antese (PSEa) é positivamente associada com o número de flores férteis e grãos produzidos por área (GONZÁLEZ et al., 2005; SERRAGO et al., 2008; GONZÁLEZ et al., 2011). Alguns estudos também apontam que a duração do subperíodo ET-ANT afeta positivamente PSEa (MIRALLES et al., 2000; GONZÁLEZ et al., 2003; ISIDRO et al., 2011) e que cultivares mais modernos apresentam maior PSEa (SANCHEZ-GARCIA et al., 2012b).

O índice de fertilidade da espiga (IFE) também tem sido identificado estar associada ao progresso genético de cultivares argentinos (ABATTE et al., 1998). Contudo Shearman et al. (2005) observaram variabilidade para IFE, mas não o identificaram associação com o rendimento de grãos. González et al. (2011) encontraram associação entre IFE e número de grãos por unidade de área, contudo, observaram que este caractere não foi afetado pela duração do subperíodo ET-ANT, sugerindo que ambos os caracteres podem ser aumentados simultaneamente.

O entendimento dos processos de crescimento e desenvolvimento da planta de trigo é de fundamental importância para a seleção de cultivares mais produtivas. Assim, este estudo teve por objetivo avaliar a duração das fenofases do desenvolvimento de cultivares de trigo brasileiros lançados em diferentes décadas, e quantificar a importância de cada fenofase sobre o rendimento de grãos e seus componentes.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Condições Experimentais e Material Genético

Os dois experimentos foram instalados em sistema de plantio direto, nas safras agrícolas de 2010 e 2011, última quinzena de junho, em Pato Branco-PR (26°11'S e 52°40'W, a 700 m de altitude), na Área Experimental do Curso de Agronomia, pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições, sendo as parcelas foram compostas por nove linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento de 0,20 m entre linhas e 0,5 m entre parcelas e densidade de plantio de 350 sementes m⁻². No estágio de pleno perfilhamento (Z 25) foi efetuada uma aplicação de nitrogênio em cobertura (50 kg N ha⁻¹). Os tratamentos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do trigo. Foi avaliados dez genótipos de trigo, lançados entre os anos de 1940 e 2009, sendo três pioneiros, das décadas de 40 (Frontana), 60 (Toropi) e 80 (BR 23) e amplamente utilizados como fonte de resistência a estresses (Tabela 2.1).

Tabela 2.1. Descrição dos genótipos, instituição geradora, ano de lançamento e genealogia. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

Genótipos	Instituição Geradora	Ano de Lançamento	Genealogia
Frontana	Iwar Beckman	1940 - antigo	Fronteira / Mentana
Toropi	Embrapa Trigo	1965 - antigo	Frontana/Quaderna A//Petiblanco 8
BR 23	Embrapa Trigo	1987 - antigo	CC/ALD SIB/3/IAS 54-20/COP//CNT8
BRS 179	Embrapa Trigo	1999 - antigo	BR 35/PF 8596/3/ PF 772003*2/PF 813//PF 83899
BRS 208	Embrapa Soja	2001 - moderno	CPAC 89118/3/BR 23//CEP19/PF 85490
BRS 220	Embrapa Soja	2003 - moderno	Embrapa 16/TB 108
BRS Guamirim	Embrapa Trigo	2005 - moderno	Embrapa 27/ Buck Nandu/ PF 93159
BRS Tangará	Embrapa Soja	2007 - moderno	BR 23*2/PF 940382
CD 117	Coodetec	2008 - moderno	PF 87373/ OC 938
Quartzo	OR Sementes/Biotrigo	2009 - moderno	Ônix/Avante

As temperaturas máximas e mínimas, precipitação e radiação global, durante o desenvolvimento da cultura, podem ser observadas na Figura 2.1. Na safra agrícola de 2010 houve maior incidência de radiação e menor precipitação em

comparação a 2011. A temperatura apresentou padrão de comportamento semelhante entre anos.

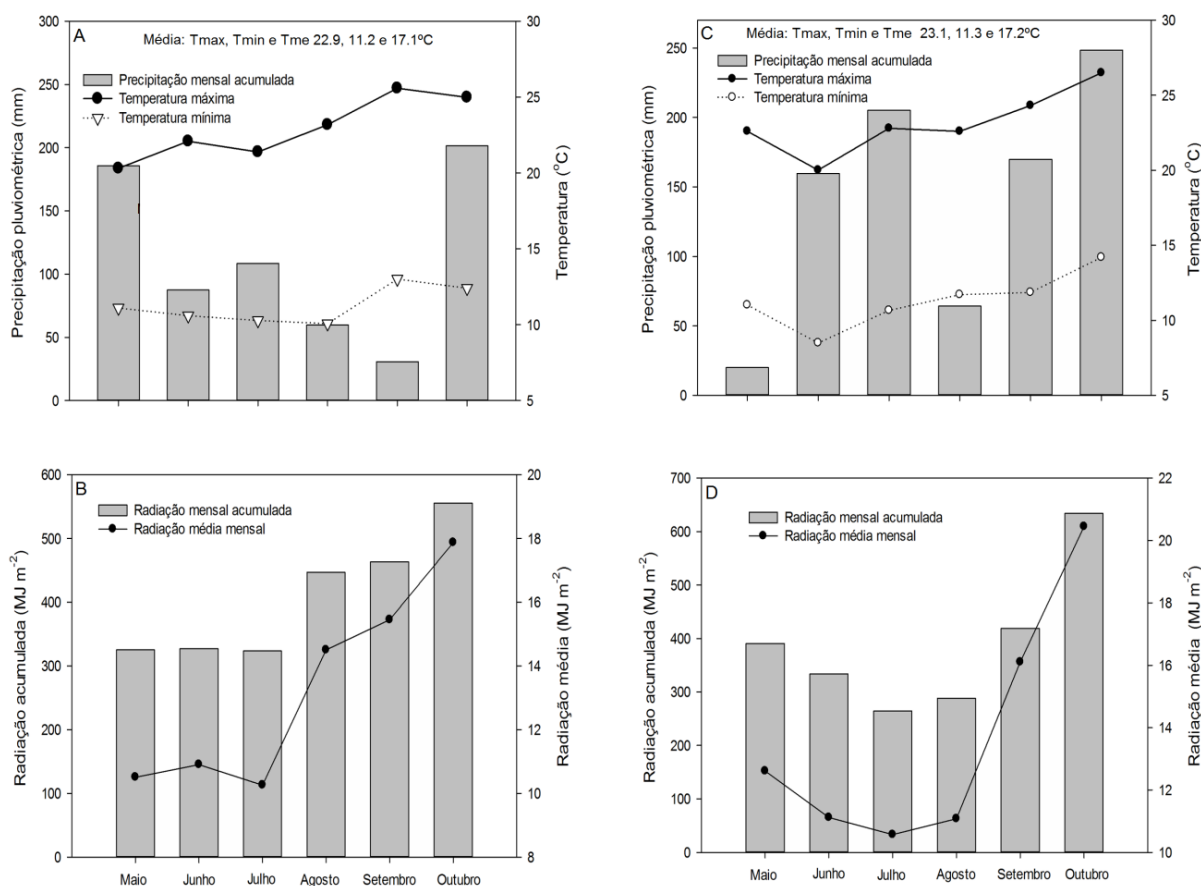


Figura 2.1 - Dados climáticos médios mensais de temperatura, precipitação pluvial e radiação global dos anos 2010 (A e B) e 2011 (C e D). Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tme: temperatura média. Fonte: IAPAR/SIMEPAR. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

2.4.2 Caracteres avaliados

2.4.2.1 Determinação dos subperíodos

Foi determinada a duração dos subperíodos: semeadura-emergência (SM-EM), emergência - duplo anel (EM-DA), duplo anel - espiguetas terminal (DA-ET), espiguetas terminal - antese (ET-AN), antese-maturação fisiológica (AN-MF), semeadura - antese (SM-ANT) e semeadura - maturação fisiológica (SM-MF).

A emergência de plântulas foi estimada quando 50% das plântulas da parcela apresentavam a primeira folha expandida. O estágio de duplo anel e espiguetas terminal foram determinados morfológicamente, de acordo com a

metodologias descritas por Nerson et al. (1980) e Kirby e Appleyard (1984), com o uso de uma lupa para visualização do meristema apical. O estágio de duplo anel inicia-se quando o meristema apical possui dois anéis, um de espiga e outro de folha. O estágio de espiguetas terminal tem início quando a última espiguetas é formada e se encontra com um ângulo de 90° entre as demais espiguetas. A antese foi estimada quando 50% espigas nas parcelas apresentavam as anteras extrusadas.

Em cada parcela, 50 plantas homogêneas foram marcadas para a determinação da maturação fisiológica. Próximo a grão leitoso, iniciaram-se as coletas de três espigas a cada 72 horas, sendo secas em temperatura de 60 °C. Posteriormente, em balança de precisão, foi realizada a pesagem de cinco espiguetas centrais das três espigas coletadas por parcela, considerando o dia da ocorrência da maturação fisiológica, quando as espiguetas atingiram massa constante.

A duração dos subperíodos foi expressa em tempo térmico (Tt), sendo calculado mediante a equação: $t = Tt / (Tm - Tb)$, onde t é tempo em dias requerido para cada estágio alcançar desenvolvimento (dias); Tt, tempo térmico entre subperíodos (°Cd); Tm, temperatura média (°C) no subperíodo e Tb, temperatura base (°C) para cada subperíodo. Foram consideradas as temperaturas bases (Tb) de 2,1 °C para SM-EM, 4,8 °C para EM-DA, 0,8 °C para DA-ET, 8,4 °C para ET-ANT e 8,0 °C para ANT-MF (RODRIGUES et al., 2001).

2.4.2.2 Caracteres agronômicos

O número de grãos por espiga (NGE) e número de grãos por espiguetas (NGET) foram avaliados em 10 plantas escolhidas de forma aleatória, em cada parcela. Na maturação, procedeu-se a colheita e foi avaliada a massa de mil grãos (MMG), em gramas e a massa de grãos da parcela e, posteriormente, estimado o rendimento de grãos (RG) em kg ha⁻¹, corrigido a 13% de umidade. O peso seco da espiga (PSE), sem grãos, foi determinado no momento da colheita e o índice de fertilidade da espiga (IFE, em grãos g⁻¹) foi calculado pela razão entre o número de

grãos e o PSE, sem grãos. No momento da antese, foi colhido 0,2 m² de área da parcela e as espigas separadas e secadas, com as quais foi estimado o peso seco de espiga na antese (PSEa, em g m⁻²).

2.4.2.3 Análises Estatísticas

Realizou-se a análise de variância conjunta dos experimentos, considerando os efeitos de ano como aleatórios e genótipo como fixo. Quando significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro, usando o programa estatístico Genes (CRUZ, 2006). Adicionalmente, procedeu-se a análise de correlação de Pearson entre os caracteres avaliados. O coeficiente de variação foi calculado pela expressão, $CV = 100 \times \sqrt{\sigma_E^2 / \bar{\chi}}$, onde σ_E^2 = variância do erro do tratamento e $\bar{\chi}$ = média do tratamento. A acurácia seletiva foi calculada pela expressão, $AS = (1 - 1/F)^{1/2}$, onde F = valor do teste F para genótipos (RESENDE; DUARTE, 2007).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa ($p < 0.01$) entre ano e genótipo (A x G) para a duração de todas as fenofases (Tabela 2.2), com exceção da fenofase de semeadura a emergência (SM-EM), que apresentou significância apenas para o fator ano. Esses resultados revelam diferenças entre os cultivares e anos avaliados para as fenofases avaliadas.

Tabela 2.2. Análise de variância conjunta para a duração das fenofases, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias, de 10 cultivares de trigo lançadas entre 1940 e 2009, nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios						
		SM-EM ¹	EM-DA	DA-ET	ET-ANT	ANT-MF	SM-ANT	SM-MF
Ano (A)	1	2891 ^{**}	2264 [*]	36547 ^{**}	128739 ^{**}	19519 ^{**}	26066 [*]	90701 ^{**}
Genótipo (G)	9	279 ^{ns}	34058 ^{**}	31557 ^{**}	24917 [*]	10572 ^{**}	46246 ^{**}	30979 ^{**}
A x G	9	107 ^{ns}	349 ^{**}	3549 ^{**}	6306 ^{**}	1573 ^{**}	5281 ^{**}	4076.4 ^{**}
Blocos/A	4	150.5	86.9	124.3	524.4	104.4	1062	1184.2
Erro	36	75	118	101.6	152	142	480	623
AS		0,85	0,98	0,98	0,96	0,98	0,95	0,94
CV (%)		6,42	3,26	2,98	2,05	1,38	1,55	1,09
Média		114,5	229,8	319,7	333,5	461,9	997,1	1462,9

SM-EM, semeadura a emergência; EM-DA, emergência a duplo anel; DA-ET, duplo anel a espiguetas terminal; ET-ANT, espiguetas terminal a antese; ANT-MF, antese a maturação fisiológica; SM-ANT, semeadura a antese; SM-MF, semeadura a maturação fisiológica; GL, graus de liberdade; CV, coeficiente de variação; AS, acurácia seletiva. ^{ns}, * e **, são efeitos não significativos e significativos a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

Todos os caracteres agrônômicos avaliados apresentaram interação significativa ($p < 0,01$) entre A x G (Tabela 2.3). A acurácia seletiva (AS) dos caracteres avaliados variou de 0,85 a 0,98, considerada alta a muito alta, indicando boa precisão experimental (STORCK et al., 2010).

Tabela 2.3 Análise de variância conjunta para cinco caracteres agrônômicos, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias, de 10 cultivares de trigo lançadas entre 1940 e 2009, nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

Fontes de Variação	Quadrados Médios						
	GL	NGE	NGET	PSEa	IFE	MMG	RG
Ano (A)	1	150,24 ^{**}	0,44 ^{**}	13422,59 ^{ns}	2280,20 ^{**}	34,52 [*]	3432017 ^{**}
Genótipo (G)	9	387,45 [*]	0,06 ^{ns}	9573,63 ^{**}	1783,67 [*]	140,14 [*]	5427293 [*]
A x G	9	25,59 ^{**}	0,04 ^{**}	1949,68 ^{**}	392,12 [*]	16,88 ^{**}	411059 ^{**}
Blocos/A	4	8,2	0,03	398,5	33,3	6,5	101291,2
Erro	36	7,99	0,01	328,65	154,4	2,73	107308
AS		0,93	0,91	0,96	0,95	0,98	0,94
CV (%)		7,71	4,62	11,52	14,5	4,72	10,05
Média		36,7	2,4	157,3	86,8	34,9	3256,4

NGE, número de grãos por espiga; NGET, número de grãos por espiguetas; PSEa, peso seco da espiga em antese; IFE, índice de fertilidade da espiga; MMG, massa de mil grãos; RG, rendimento de grão; GL, graus de liberdade; CV, coeficiente de variação; AS, acurácia seletiva. ^{ns}, * e **, são efeitos não significativos e significativos a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

Os subperíodos de desenvolvimento do trigo estão ilustrados nas Figuras 2.2 (2010) e Figura 2.3 (2011). Para o subperíodo semeadura a emergência (SM-EM), não houve diferenças significativas no ano de 2011 e no ano de 2010 apenas os genótipos BR 23 e BRS 208 apresentaram duração do subperíodo inferior. Comparando os cultivares antigos e modernos, houve uma redução de 37,7% (2010) e 40,7% (2011) do subperíodo emergência a duplo anel (EM-DA) ao longo dos anos avaliados, o que representa uma diminuição de $-1,43 \text{ }^{\circ}\text{Cd ano}^{-1}$ em 2010 e $-1,50 \text{ }^{\circ}\text{Cd ano}^{-1}$ em 2011. O subperíodo de duplo anel a espiguetas terminal (DA-ET) apresentou uma redução de $-2,3$ e $-1,65$ de $^{\circ}\text{Cd ano}^{-1}$ em 2010 e 2011, respectivamente. Comparando a média dos cultivares antigos com os modernos, essa redução foi de 39,5% (2010) e 36% (2011). Isidro et al. (2011) observaram reduções de 4,7% a 13,1% do período entre a semeadura e espiguetas terminal, comparando cultivares de trigo antigos e modernos.

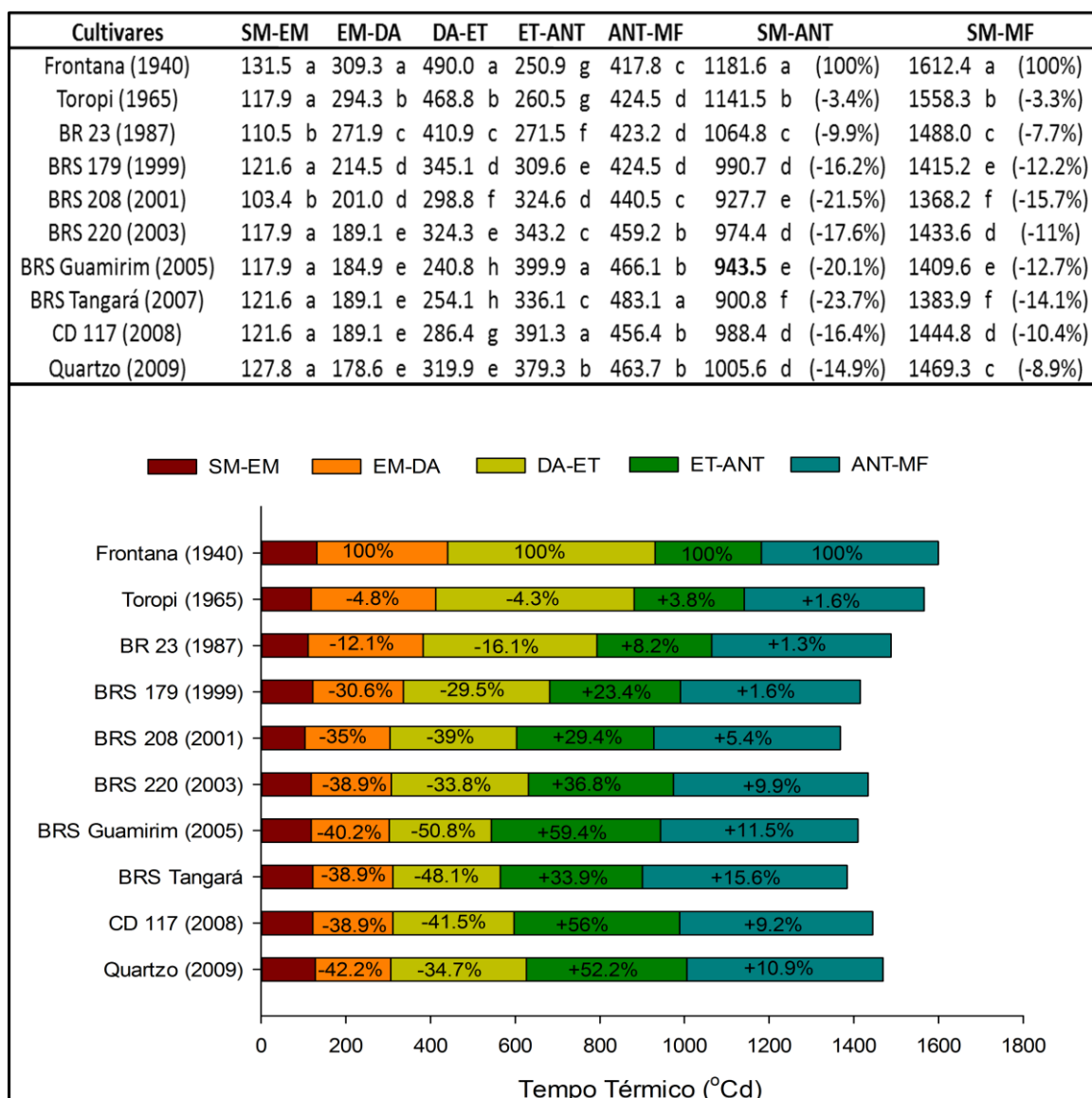


Figura 2.2 Tempo térmico em graus dias (°Cd) de sementeira a emergência (SM-EM), emergência a duplo anel (EM-DA), duplo anel a espiguetas terminal (DA-ET), espiguetas terminal a antese (ET-ANT), antese a maturação fisiológica (ANT-MF), sementeira a antese (SM-ANT) e sementeira a maturação fisiológica (SM-MF) de 10 genótipos de trigo brasileiros, desenvolvidos em diferentes décadas, no ano de 2010. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

Médias seguidas da mesma letra no gráfico e na tabela não diferem estatisticamente pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade do erro. Percentagens entre parênteses e na tabela representam a diferença (+ ou -) entre genótipos, considerando o genótipo Frontana como 100%.

A maior diferença entre cultivares antigos e modernos foi observada no subperíodo entre a espiguetas terminal a antese (ET-ANT), comparado aos demais subperíodos do desenvolvimento. Esta fenofase foi incrementada em 41,7% (2010) e 26,4% (2011) na média dos cultivares modernos, em comparação aos antigos, com um aumento da duração de 1,35 °Cd ano⁻¹ (2010) e 0,68 °Cd ano⁻¹ (2011), corroborando com os resultados de Rodrigues et al. (2007) e Isidro et al. (2011). A seleção para o incremento do comprimento desta fenofase não foi intencional.

Especula-se, que esse incremento contribuiu para o desenvolvimento de cultivares de potencial produtivo superior, devido ao aumento do número de flores férteis e da massa seca da espiga (GONZÁLEZ et al., 2005; SERRAGO et al., 2008).

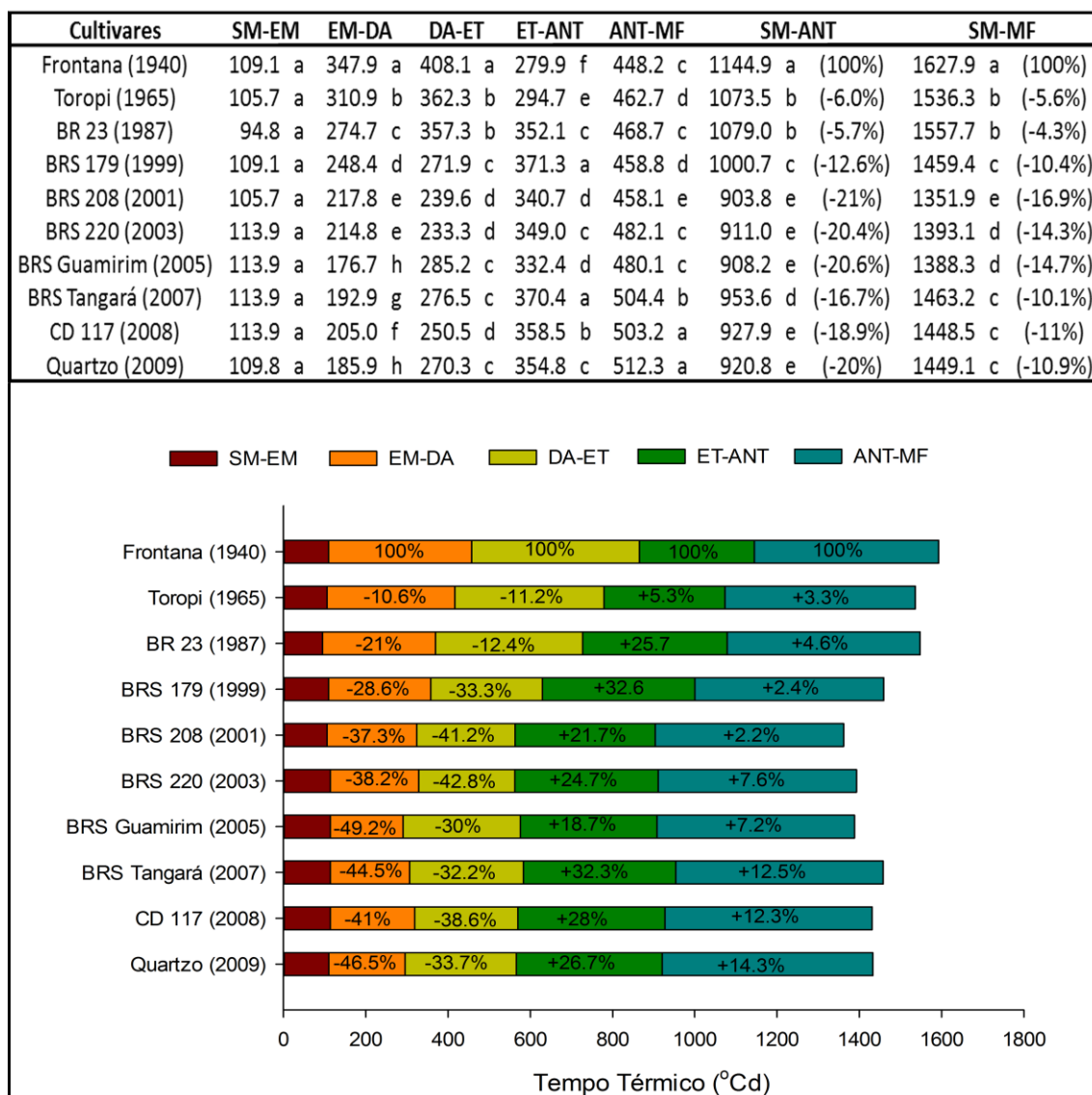


Figura 2.3 Tempo térmico em graus dias (°Cd) de semeadura a emergência (SM-EM), emergência a duplo anel (EM-DA), duplo anel a espiguetas terminal (DA-ET), espiguetas terminal a antese (ET-ANT), antese a maturação fisiológica (ANT-MF), semeadura a antese (SM-ANT) e semeadura a maturação fisiológica (SM-MF) de 10 genótipos de trigo brasileiros, desenvolvidos em diferentes décadas, no ano de 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

Médias seguidas da mesma letra no gráfico e na tabela não diferem estatisticamente pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade do erro. Percentagens entre parênteses e na tabela representam a diferença (+ ou -) entre genótipos, considerando o genótipo Frontana como 100%.

Observou-se um aumento de 9,21% (2010) e 8,35% (2011) na média dos cultivares modernos do subperíodo ANT-MF, o que representa um incremento de $0,49 \text{ }^{\circ}\text{Cd ano}^{-1}$ e $0,37 \text{ }^{\circ}\text{Cd ano}^{-1}$ na duração desta fenofase, em cultivares antigos e modernos, respectivamente. Comparando cultivares lançados em diferentes décadas, outros autores observaram que o subperíodo ANT-MF apresentou um incremento de 5,7 a 10,9% ao longo das décadas (ROYO et al., 2008; ISIDRO et al., 2011)

Comparando-se cultivares antigos e modernos, observou-se redução do subperíodo de semeadura a antese (SM-ANT) em 2010 e 2011 (18,6 e 18,5%, respectivamente), o que representa uma redução de $-2,39$ (2010) e $-2,38$ (2011) $^{\circ}\text{Cd ano}^{-1}$. Em estudo semelhante, outros autores encontraram redução do subperíodo SM-ANT variando entre de $-0,83$ a $-5,1 \text{ }^{\circ}\text{Cd ano}^{-1}$ (ISIDRO et al., 2011; MOTZO; GIUNTA, 2007). Esta diminuição foi devido principalmente a redução dos subperíodos de EM-DA e DA-ET (Figuras 2.2 e 2.3), o que corrobora com outros autores (DE VITA et al., 2007; MOTZO; GIUNTA, 2007; ISIDRO et al., 2011). Estes resultados indicam que a duração das fases pré-antese possuem controle genético independente, podendo ser manipuladas com o objetivo de se aumentar a duração de subperíodos mais importantes, sem alterar a duração do ciclo da cultura (SLAFER et al., 2001; 2005).

A redução do período SM-ANT é uma característica evolutiva do trigo, altamente desejável em ambientes estressantes, para a minimização de riscos. Em clima do mediterrâneo, Royo et al. (2006), sugeriram que a redução do período de crescimento dos grãos, em cultivares modernos, permitiu menor predisposição a condições ambientais desfavoráveis. A associação significativa ($p < 0,01$) da duração do superíodo SM-ANT com o RG (2010, $-0,73$; 2011, $-0,84$) (Figura 2.4A) indica que o aumento do potencial produtivo foi acompanhado pela redução do ciclo dos cultivares de trigo brasileiros, o que também foi observado por outros autores (GIUNTA et al., 2007; ROYO et al., 2008). Já, o subperíodo entre a SM-MF foi reduzido de $-1,92$ (2010) e $-2,17 \text{ }^{\circ}\text{Cd ano}^{-1}$ (2011), comparando-se cultivares antigos e modernos, com redução média de 12,35%.

Comparando-se os cultivares antigos e modernos, observa-se que os caracteres número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por espiguetas (NGET), índice de fertilidade da espiga (IFE), peso seco da espiga em antese (PSEa) tiveram sua expressão média maximizada em 38,2%, 31%, 64,8% e 117,6%,

respectivamente, na média dos dois anos avaliados (Tabela 2.4). Os valores de IFE variaram de 52,1 a 113,2 grãos g^{-1} , enquanto o PSEa variou de 74,8 a 225,2 gramas m^{-2} , progresso genético semelhantes foram observados por outros autores (GONZÁLEZ et al., 2005; SHEARMAN et al., 2005; DRECCER et al., 2009; GONZÁLEZ et al., 2011).

O progresso genético do caractere massa de mil grãos (MMG) foi de 5,7% (2010) e 6,0% (2011) (Tabela 2.4). Lopes et al. (2012) observaram um aumento significativo da MMG comparando trigos lançados no período entre 1977 e 2008. O incremento da MMG foi associado significativamente (2010, 0,62; 2011, 0,59) ao maior período de enchimento de grão (Figura 2.4B), possivelmente pelo aumento da biomassa (capacidade da fonte), em consequência da maior eficiência de translocação da matéria seca para os grãos (ÁLVARO et al., 2008a).

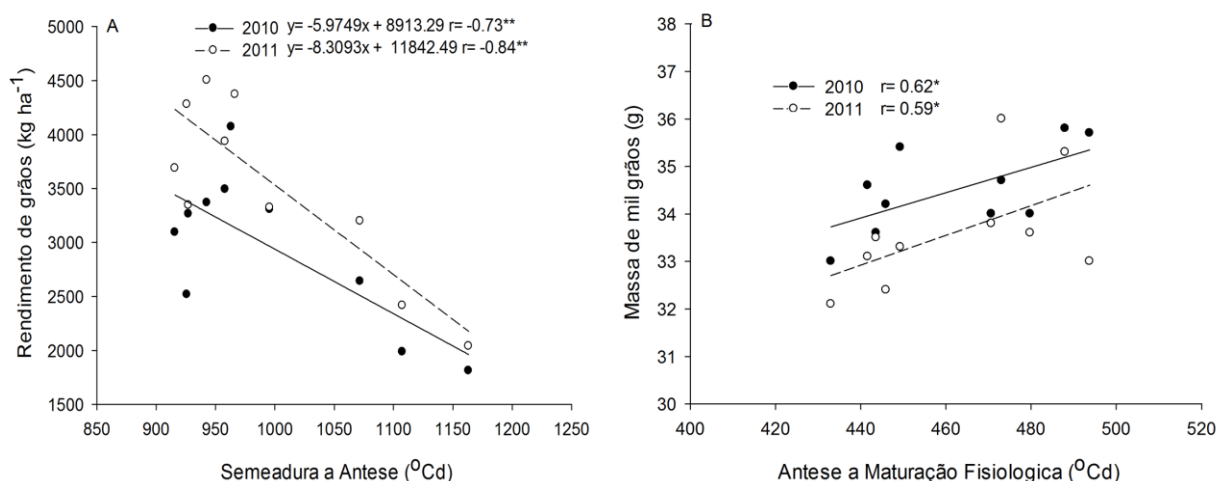


Figura 2.4 - Associação entre rendimento de grãos e o subperíodo sementeira a antese (A), massa de mil grãos e o subperíodo antese a maturação fisiológica (B), na média de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** e * indicam valores significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Tabela 2.4 Número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por espiguetas (NGET), peso seco da espiga em antese (PSEa), índice de fertilidade de espiga (IFE), massa de mil grãos (MMG) e rendimento de grãos (RG), de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

	Cultivares	NGE		NGET		PSEa (g m ⁻²)		IFE (grãos g ⁻¹)		MMG (g)		RG (kg ha ⁻¹)	
2010	Frontana (1940)	28,4	d* 100% ¹	1,99	c 100%	94,3	d 100%	52,1	b 100%	33	c 100%	1812,6	d 100%
	Toropi (1965)	28,3	D -0,1%	2,10	c +5,5%	95,7	d +1,5%	59	b +13%	33,6	c +1,8%	1986,9	d +9,6%
	BR 23 (1987)	31,7	C +11,6%	2,25	b +13,2%	141,3	b +49,9%	83	a +58,7%	34,2	b +3,6%	2640,2	c +45,6%
	BRS 179 (1999)	36,3	B +27,7%	2,53	a +27,3%	173,1	a +83,6%	93	a +78,8%	34,6	b +4,8%	3307,4	b +82,4%
	BRS 208 (2001)	34,7	B +22,2%	2,52	a +26,6%	125,6	c +33,2%	92	a +76,7%	35,4	a +7,3%	3093,7	b +70,6%
	BRS 220 (2003)	34,9	B +22,9%	2,56	a +28,6%	167,9	a +78,1%	94,2	a +80,8%	34	b +3%	3368,1	b +85,8%
	BRS Guamirim (2005)	34,3	B +20,6%	2,41	a +21,2%	137,8	b +46,2%	99	a +90,6%	34,7	b +5,2%	2518,3	c +38,9%
	BRS Tangará (2007)	38,2	A +34,3%	2,57	a +28,9%	154,3	b +63,6%	96	a +83,8%	35,7	a +8,2%	3265,3	b +80,1%
	CD 117 (2008)	36,2	B +27,3%	2,55	a +27,9%	161,4	a +71,2%	105,5	a +102,3%	34	b +3%	3493,4	b +92,7%
	Quartzo (2009)	38,3	A +34,8%	2,63	a +31,9%	171,6	a +82%	113	a +117,2%	35,8	a +8,5%	4070,5	a +124,5%
2011	Frontana	28,4	C 100%	1,98	d 100%	74,8	c 100%	65	d 100%	32,1	b 100%	2040	d 100%
	Toropi	28,4	C +0,1%	2,01	d +1,5%	84,6	c +13%	67,2	d +3,3%	33,5	b +4,4%	2415,6	d +18,4%
	BR 23	38,5	B +35,4%	2,21	c +11,6%	149,1	b +99,2%	81	c +24,9%	32,4	b +0,9%	3199	c +56,8%
	BRS 179	38	B +33,7%	2,34	c +18,3%	176,2	b +135,4%	88,2	b +35,6%	33,1	b +3,1%	3325,3	c +63%
	BRS 208	46,8	A +64,8%	2,81	a +41,7%	205,1	a +174%	78,4	c +20,6%	33,3	b +3,8%	3688,5	b +80,8%
	BRS 220	42,8	A +50,5%	2,71	a +36,8%	176,6	b +135,9%	89,8	b +38,2%	33,8	b +5,4%	4503,6	a +120,7%
	BRS Guamirim	36,4	B +27,9%	2,49	b +25,7%	195,6	a +161,4%	77,3	c +18,9%	36	a +12,1%	4279,2	a +109,7%
	BRS Tangará	42,9	A +50,8%	2,52	b +27,2%	200,4	a +167,7%	106,8	a +64,3%	33	b +2,8%	3346	c +64%
	CD 117	42,1	A +48%	2,80	a +41,2%	234,3	a +213,1%	93,8	a +44,3%	33,6	b +4,9%	3935	b +92,8%
	Quartzo	48	A +68,8%	2,91	a +46,9%	225,3	a +201%	100,7	a +54,9%	35,3	a +10%	4839,4	a +137,2%

*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade do erro. ¹Percentagens representam a diferença (+ ou -) entre genótipos, considerando o genótipo Frontana como 100%.

Observou-se correlações significativas ($p < 0,01$) e de elevada magnitude entre a fenofase ET-ANT e o NGET ($r = 0,85$ em 2010 e $r = 0,91$ em 2011), ET-ANT e o NGE ($r = 0,81$ em 2010 e $r = 0,90$ em 2011), ET-ANT e o PSEa ($r = 0,83$ em 2010 e $r = 0,96$ em 2011) e ET-ANT e o IFE ($r = 0,97$ em 2010 e $r = 0,83$ em 2011) (Figura 2.5A, B, C e D), corroborando com os resultados encontrados por outros autores (GONZÁLEZ et al., 2003; 2005; ACRECHE et al., 2008; ISIDRO et al., 2011; GARCIA et al., 2011).

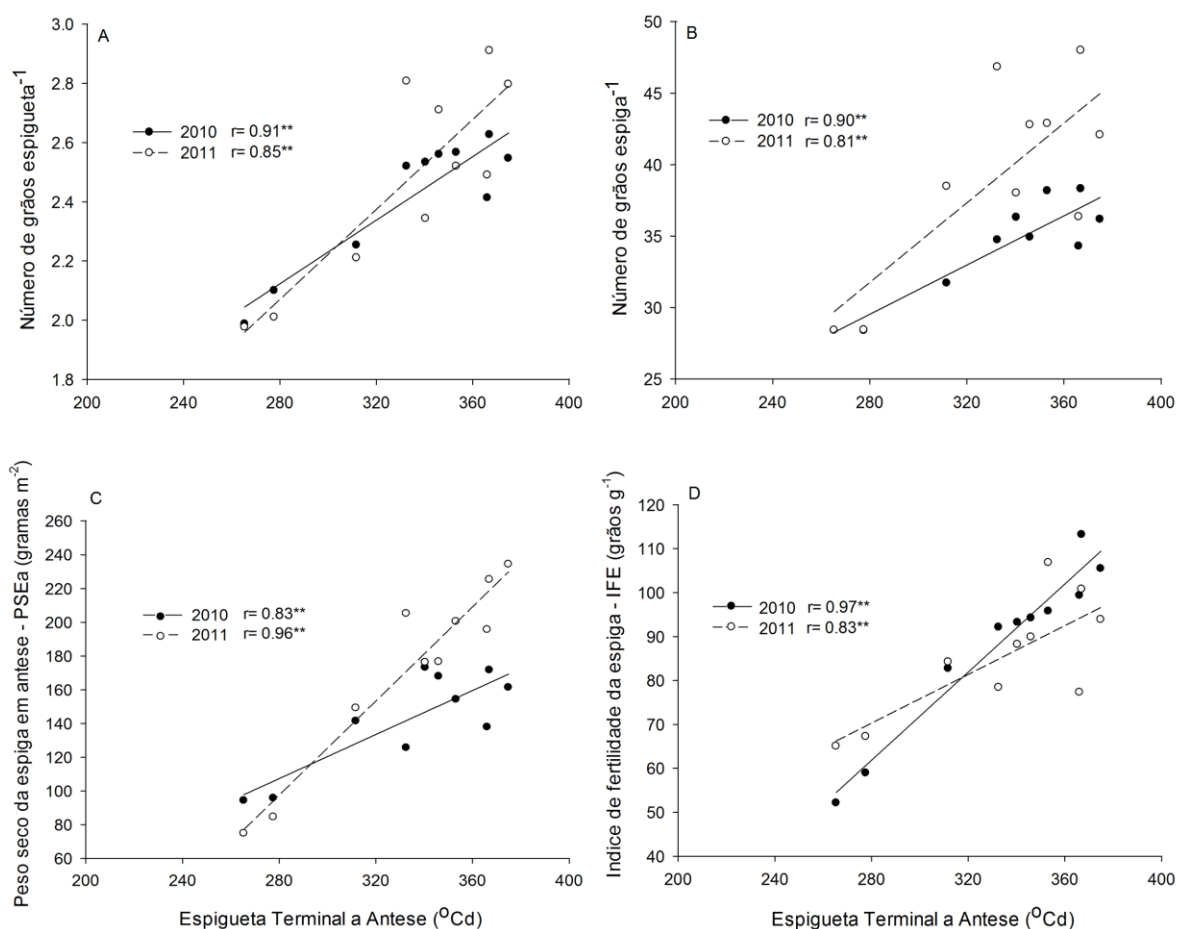


Figura 2.5 - Associação entre espiguetas terminal antese e número de grãos espiguetas⁻¹ – NGET (A); número de grãos espiga⁻¹ – NGE (B); peso seco da espiga em antese – PSEa (C) e índice de fertilidade de espiga – IFE (D), na média de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** e * são valores significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Os resultados deste estudo indicam que o aumento da fenofase ET-ANT esteve associado ao incremento do número de flores férteis na antese e número de grãos (MIRALLES et al., 2000; GONZÁLEZ et al., 2003; SERRAGO et al.,

2008) e rendimento de grãos (FOULKES et al., 2011; GARCIA et al., 2011, GONZÁLEZ et al., 2011). Comparando-se os cultivares antigos e modernos, o ganho genético do RG foi de 82,2% e 95,5% em 2010 e 2011, respectivamente (Tabela 2.4). Assim, a manipulação da duração do subperíodo de alongamento (ET-ANT), sem aumento do período de florescimento, pode ser uma estratégia útil para aumento do potencial de rendimento de grãos em trigo (SLAFER et al., 2005; MIRALLES; SLAFER, 2007; GARCIA et al., 2011).

Houve associação positiva entre PSEa com NGE ($r= 0,87$ em 2010 e $0,89$ em 2011) e RG ($r= 0,90$ em 2010 e $0,84$ em 2011) (Figura 2.6A e C), corroborando com os resultados encontrados por González et al. (2005; 2011), Serrago et al. (2008) e Isidro et al. (2011). Da mesma forma o IFE associou-se com NGE ($r= 0,92$ em 2010 e $0,79$ em 2011) e RG ($r= 0,90$ em 2010 e $0,73$ em 2011) (Figura 2.6B e D), corroborando com outros autores (ABATTE et al., 1998; GONZÁLEZ et al., 2011). Também, a associação observada entre IFE e PSEa ($r= 0,64$, Figura 2.7A), indica que os dois caracteres podem ser incrementados conjuntamente.

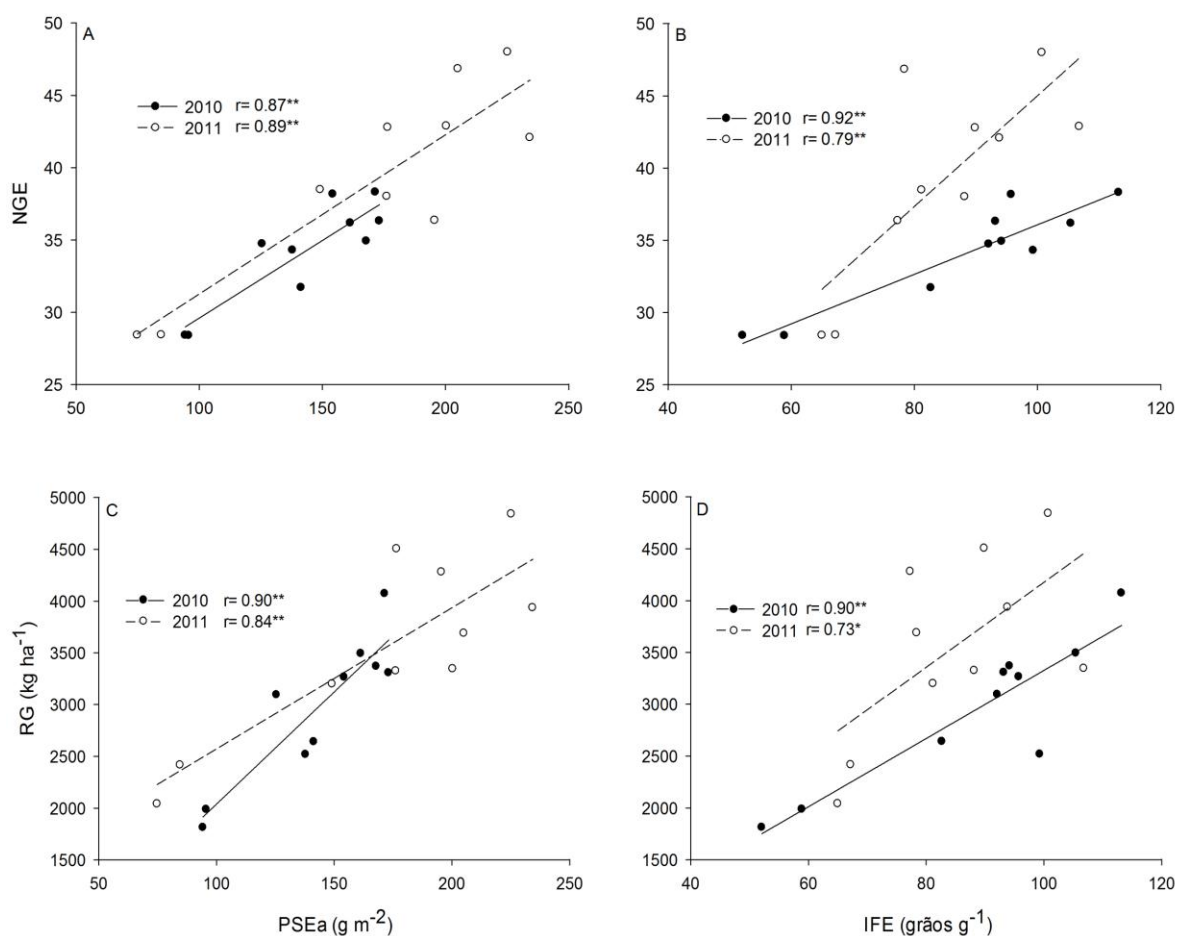


Figura 2.6 - Associação entre número de grãos espiga⁻¹ e peso seco de espiga em antese (A) e com índice de fertilidade da espiga (B); associação entre rendimento de grãos e peso seco de espiga em antese (C) e com índice de fertilidade da espiga (D), na média de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** e * são valores significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

É importante ressaltar que valores acima de 200 g m⁻² de PSEa e 120 grãos g⁻¹ podem estar incrementando a palha da espiga em detrimento dos grãos (ACRECHE et al., 2008). Dreccer et al. (2009) encontraram uma relação de perda entre IFE e massa de grãos, quando se utiliza do IFE para aumentar o NG. Contudo, neste estudo, não se verificou perda de massa de grãos (Figura 2.7B), indicando que o aumento da eficiência de fertilização da espiga pode estar relacionado a uma melhoria no particionamento dos fotoassimilados em favor das flores, em detrimento dos componentes estruturais da espiga (SLAFER; ANDRADE, 1993; ACRECHE et al., 2008).

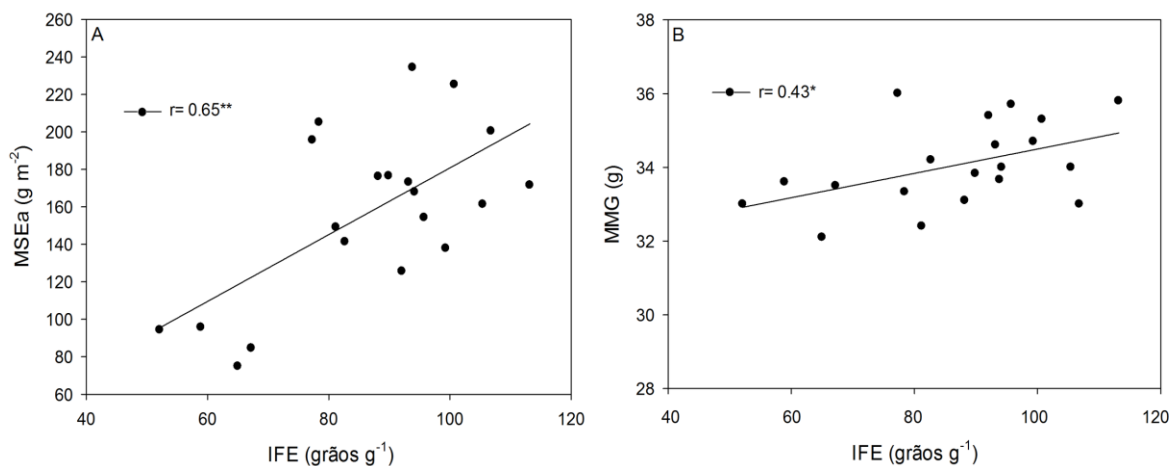


Figura 2.7 - Associação entre peso seco da espiga em antese (PSEa) e índice de fertilidade da espiga – IFE (A) e com massa de mil grãos – MMG (B), na média de 10 genótipos de trigo lançados entre 1940 e 2009, avaliados nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** e * são valores significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

O subperíodo ET-ANT não tem sido o único responsável pelo progresso genético do rendimento de grãos no Brasil. Outros caracteres tais como biomassa, índice de colheita (Figura 3.3A e B) (BRANCOURT-HULMEL et al., 2003; FISCHER, 2007; GIUNTA et al., 2007; SADRAS; LAWSON, 2011), estatura de planta (Figura 3.5A e B) (JIANG et al., 2003; GRAYBOSCH; PETERSON, 2010) e relação fonte-dreno (Figura 3.5B e 3.5D) (DE VITA et al., 2007; ZHANG et al., 2010) foram melhorados simultaneamente, muitas vezes de forma não intencional. Os resultados deste estudo indicam que a seleção para o incremento do subperíodo espiguetas terminal a antese número de grãos por espiga, massa seca de espiga em antese e índice de fertilidade da espiga podem conduzir a um maior progresso genético.

2.6 CONCLUSÕES

O progresso genético do rendimento de grãos em trigos brasileiros esteve associado ao incremento do subperíodo espiguetado terminal a antese e diminuição do período semeadura a antese.

Estratégias de melhoramento que maximizem o incremento do subperíodo de espiguetado terminal a antese e priorizem a seleção indireta através dos componentes do rendimento número de grãos por espiga, massa seca de espiga em antese e índice de fertilidade da espiga, podem conduzir a um maior progresso genético.

3 CARACTERES AGRONÔMICOS E FISIOLÓGICOS ASSOCIADOS AO GANHO GENÉTICO EM CULTIVARES DE TRIGO BRASILEIROS LANÇADOS ENTRE 1940 E 2009

3.1 RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar, fisiológica e agronomicamente, cultivares de trigo, desenvolvidos em diferentes décadas, a fim de identificar critérios de seleção mais efetivos à continuidade do progresso genético de melhoramento no Brasil. Dez genótipos de trigo, lançados entre os anos de 1940 e 2009, foram avaliados em ensaios de competição nos anos agrícolas de 2010 e 2011, em delineamento de blocos ao acaso, em Pato Branco-PR. Foram avaliados os caracteres rendimento de grãos, massa de mil grãos, número de grãos, estatura de planta, índice de colheita, rendimento biológico, teor relativo de clorofila, trocas gasosas e resposta a competição para o rendimento de grãos e seus componentes. O incremento de rendimento de grãos foi de $29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com um ganho genético de $0,92\% \text{ ano}^{-1}$ no período de 1940 e 2009. O ganho genético no rendimento de grãos esteve associado ao incremento do índice de colheita ($r= 0,94$), número de grãos ($r= 0,93$), rendimento biológico ($r= 0,88$) e a redução da estatura de planta ($r= -0,93$). O teor de clorofila em pós-antese, a condutância estomática e taxa fotossintética em pré e pós-antese foram positivamente associadas ao aumento de rendimento de grãos. A resposta de competição ao rendimento de grãos declinou em 20%, no período estudado. O ganho genético no Brasil foi principalmente relacionado ao incremento do índice de colheita, número de grãos e rendimento biológico, que foram alcançados pela redução da estatura de planta e aumento da condutância estomática e taxa fotossintética em pré e pós-antese.

3.2 ABSTRACT:

The aim of our study was to characterize physiological and agronomically wheat cultivars released in different decades, to identify selection criterias for continued improvement of genetic progress in Brazil. Ten wheat cultivars released from 1940 to 2009, were examined in two years, 2010 and 2011 in Pato Branco, Paraná. We evaluated grain yield, thousand kernel weight, number of grains, plant height, harvest index, biological yield, relative chlorophyll content, leaf gas exchange and response to competition for grain yield. The increase in grain yield was $29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, with a genetic gain of $0,92\% \text{ yr}^{-1}$ from 1940 to 2009. The yield improvement was largely associated with a linear increase in harvest index ($r = 0,94$), number of grains m^{-2} ($r = 0,93$), biological yield ($r = 0,88$) and reduced plant height ($r = -0,93$). The chlorophyll content in post-anthesis, stomatal conductance and photosynthetic rate in pre and post-anthesis were associated with increases in grain yield. The yield response to competition declined 20% during the period. Genetic gain in Brazil was mainly related to the increased of harvest index, number of grains and biological yield, which were achieved through reduced plant height and improving stomatal conductance and photosynthetic rate in pre and post-anthesis.

3.3 INTRODUÇÃO

A elevação do potencial de rendimento de grãos em trigo, via melhoramento genético de cultivares ou pelo aperfeiçoamento das práticas de manejo da cultura, permitiram um incremento de produtividade de 44,9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ no período de 1940 a 1992 (RODRIGUES et al., 2007). A produtividade era de 700 kg ha⁻¹ na década de 40, sendo observado atualmente uma produtividade de 2140 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013).

O progresso genético com a cultura do trigo, nas últimas décadas tem sido cada vez menor (GRAYBOSCH; PETERSON, 2010), com incrementos variando de 0,3% a 1,0% ao ano no último século (FISCHER; EDMEADES, 2010; LOPES et al., 2012; SHARMA et al., 2012). Grande parte deste sucesso está baseado no aumento do índice de colheita (IC), número de grãos por área e diminuição da estatura de planta (CALDERINI et al., 1999; BRANCOURT-HULMEL et al., 2003; DE VITA et al., 2007; GIUNTA et al., 2007). O aumento do IC resultou em uma melhor partição dos fotoassimilados para os grãos, resultando em um aumento do potencial de rendimento (FOULKES et al., 2011).

O IC de cultivares de trigo modernos oscila entre 0,4 e 0,5 (REYNOLDS et al., 1999; BRANCOURT-HULMEL et al., 2003; SADRAS; LAWSON, 2011), muito próximo do limite máximo teórico de 0,62 (AUSTIN et al., 1980). Segundo Fischer e Edmeades (2010), valores acima de 0,5 são muito difíceis de serem atingidos, principalmente em ambientes marginais para o desenvolvimento da cultura. Neste sentido, cada vez mais, os programas de melhoramento genético com a cultura do trigo se deparam com dificuldades para a continuidade de obtenção de ganho genético (BRANCOURT-HULMEL et al., 2003; MIRALLES; SLAFER, 2007), sendo premente a necessidade de adoção de estratégias de seleção mais eficientes. Estudos recentes também indicam que cultivares mais modernas e mais produtivas tem sido desenvolvidas em consequência de um maior incremento da biomassa total (SADRAS; LAWSON, 2011; PEDRO et al., 2011; SANCHEZ-GARCIA et al., 2012), aliada a tolerância ao acamamento.

A superação da estagnação do potencial produtivo da cultura do trigo depende do trabalho de equipes multidisciplinares, dispostas a incorporar novas tecnologias para complementar o que é tradicionalmente utilizado em programas de melhoramento genético. A utilização de caracteres associados a uma maior

eficiência do aparato fotossintético das plantas de trigo representa um campo novo a ser explorado (REYNOLDS et al., 2011). É crucial que se ampliem os estudos para se conhecer os fatores que estão limitando progressos mais significativos (PEDRO et al., 2011; SANCHEZ-GARCIA et al., 2012).

Vários estudos tem verificado que o rendimento de grãos está positivamente associado com a taxa fotossintética (GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ et al., 2000; JIANG et al., 2003; TIAN et al., 2011), bem como com a condutância estomática e taxa de transpiração, principalmente após a antese (FISCHER et al., 1998; REYNOLDS et al., 2000; ZHENG et al., 2011). Cultivares mais modernos, de elevado potencial produtivo, tendem a apresentar maior taxa fotossintética, condutância estomática e taxa de transpiração, em comparação a cultivares mais antigos (DE VITA et al., 2007; TIAN et al., 2011; ZHENG et al., 2011; SADRAS; LAWSON, 2011; XIAO et al., 2012).

O teor de clorofila em pré e pós-antese é positivamente associado com a taxa fotossintética (THOMAS et al., 2005; ZHANG et al., 2009b), com o rendimento de grãos (GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ et al., 2000; WANI et al., 2011) e com o ano de lançamento de cultivares (SADRAS; LAWSON, 2011). Pesquisas recentes indicam que o potencial de rendimento de trigo pode ser aumentado em até 50% através da melhoria genética do aparato fotossintético (FISCHER, 2007; FLOOD et al., 2011; REYNOLDS et al., 2011). RICHARDS et al. (2002), destacam que a seleção através de mecanismos fisiológicos pode ser aplicada em gerações iniciais, buscando identificar precocemente genótipos promissores.

Assim, busca-se caracterizar, fisiologica e agronomicamente, cultivares de trigo, desenvolvidos em diferentes décadas, para identificar critérios de seleção mais efetivos à continuidade do progresso genético de melhoramento no Brasil.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Condições experimentais e material genético

O experimento foi conduzido nas safras agrícolas de 2010 e 2011, na Área Experimental do Curso de Agronomia, pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco (26°11'S e 52°40W, a 700 metros de altitude - região de valor de cultivo e uso 2). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa.

Em ambos os anos os experimentos foram semeados na última quinzena de junho. Os ensaios foram conduzidos em delineamento de blocos ao acaso com três repetições, sendo que as parcelas foram compostas por nove linhas de cinco metros de comprimento, com espaçamento de 0,20 m entre linhas e 0,5 m entre parcelas, com densidade de plantio de 350 sementes m⁻². No estádio de pleno perfilhamento (Z 25) foi efetuada uma aplicação de nitrogênio em cobertura (50 kg N ha⁻¹). Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do trigo. Foram avaliados dez genótipos trigo (Tabela 3.1), lançados entre os anos de 1940 e 2009, sendo três pioneiros, das décadas de 40 (Frontana), 60 (Toropi) e 80 (BR 23) e amplamente utilizados como fonte de resistência a estresses bióticos e abióticos.

Tabela 3.1. Descrição dos genótipos, instituição geradora, ano de lançamento e genealogia. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

Genótipos	Instituição Geradora	Ano de Lançamento	Genealogia
Frontana	Iwar Beckman	1940 - antigo	Fronteira / Mentana
Toropi	Embrapa Trigo	1965 - antigo	Frontana/Quaderna A//Petiblanco 8
BR 23	Embrapa Trigo	1987 - antigo	CC/ALD SIB/3/IAS 54-20/COP//CNT8
BRS 179	Embrapa Trigo	1999 - antigo	BR 35/PF 8596/3/ PF 772003*2/PF 813//PF 83899
BRS 208	Embrapa Soja	2001 - moderno	CPAC 89118/3/BR 23//CEP19/PF 85490
BRS 220	Embrapa Soja	2003 - moderno	Embrapa 16/TB 108
BRS Guamirim	Embrapa Trigo	2005 - moderno	Embrapa 27/ Buck Nandu/ PF 93159
BRS Tangará	Embrapa Soja	2007 - moderno	BR 23*2/PF 940382
CD 117	Coodetec	2008 - moderno	PF 87373/ OC 938
Quartzo	OR Sementes/Biotrigo	2009 - moderno	Ônix/Avante

As temperaturas máximas e mínimas, precipitação e radiação global, durante o desenvolvimento da cultura, podem ser observadas na Figura 3.1. Na

safrã agrícola de 2010 houve maior incidência de radiação e menor precipitação em comparação a 2011. A temperatura apresentou padrão de comportamento semelhante entre anos.

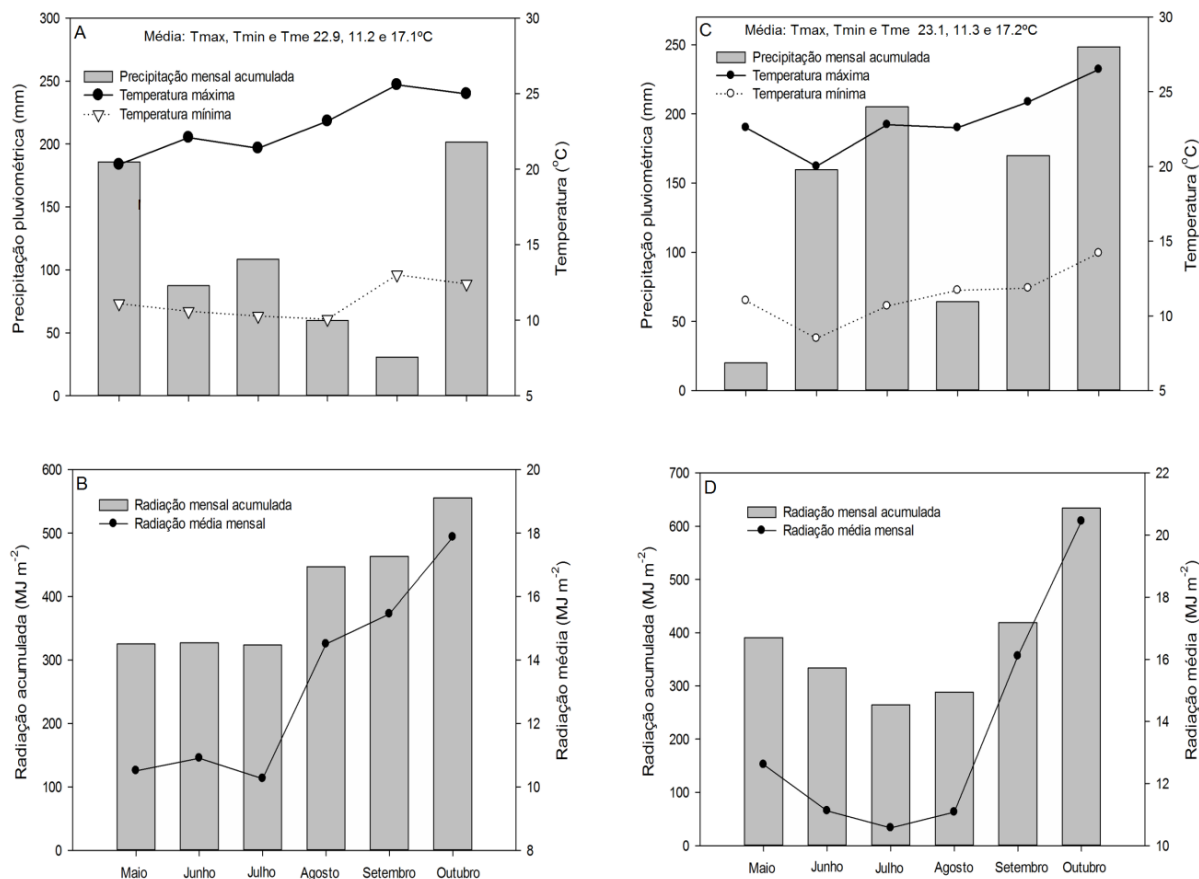


Figura 3.1 - Distribuição dos valores médios mensais de temperatura, precipitação pluvial e radiação global dos anos 2010 (A e B) e 2011 (C e D). Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tme: temperatura média. Fonte: IAPAR/SIMEPAR. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

3.4.2 Caracteres avaliados

3.4.2.1 Trocas gasosas

As avaliações das trocas gasosas foram realizadas em campo entre as 9 e 10 horas da manhã. Foi utilizado um equipamento portátil de medição de trocas gasosas, em sistema aberto, equipado com um analisador infravermelho de gases

modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska – USA), com injetor automático de CO₂ e fonte artificial de luz vermelho e azul.

Mediu-se a taxa fotossintética (P_N), condutância estomática (g_s) e taxa de transpiração (E) e calculou-se a eficiência do uso da água (WUE), pela razão entre P_N e E . As mensurações foram realizadas em folhas bandeiras completamente desenvolvidas, em pré e pós-antese (estádios 55-60 e 65-70 da escala Zadocks, 1974). As condições microclimáticas na câmara de medida das amostras foram ajustadas a uma taxa constante com 1300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de PAR (Photosynthetic Active Radiation) e 400 ppm de CO₂, com UR entre 50 e 80%.

3.4.2.2 Teor de clorofila

Os teores individuais e totais de clorofila (clorofilas a e b) foram mensurados em pré e pós-antese (estádios 55-60 e 65-70 da escala Zadocks, 1974). As leituras foram realizadas em folhas saudias e completamente expandidas, a partir da amostragem de 10 plantas por unidade experimental. Utilizou-se o medidor eletrônico de clorofila óptico portátil, modelo ClorofiLOG CFL 1030 (Falker, Porto Alegre, Brasil). Esse sensor analisa três faixas de frequência de luz e através de relações de absorção em diferentes frequências, determina um índice relativo de clorofila (Índice de Clorofila Falker, ICF), levando em consideração a presença das clorofilas “a” (ICF_A) e “b” (ICF_B).

3.4.2.3 Caracteres agronômicos

Na maturação, procedeu-se a colheita e foi avaliada a massa de mil grãos (MMG), em gramas, e a massa de grãos da parcela e, posteriormente, estimado o rendimento de grãos (RG) em kg ha⁻¹, corrigido a 13% de umidade. O rendimento biológico (RB) e o índice de colheita (IC) foram mensurados em 0,5 m². O RB, expresso em kg ha⁻¹, é a soma da massa seca de grãos com a massa seca

da palha na maturação fisiológica e o IC, expresso em %, é a razão entre massa seca de grãos e o rendimento biológico.

A estatura de planta após a antese (EP), foi mensurada com o auxílio de uma régua, medindo do solo até a ponta da espiga. A resposta à competição para RG (RC_{RG} , %) foi calculado conforme Sadras et al. (2000). Onde, $RC_{RG} = (RG_{\text{linha da borda}} - RG_{\text{linha central}}) / RG_{\text{linha central}} \times 100$. A mesma fórmula foi utilizada para estimar a resposta à competição para os componentes do rendimento.

2.4.3 Análises Estatísticas

Realizou-se a análise de variância conjunta, para todas as características em estudo, considerando os efeitos de ano como aleatório e genótipo como fixo. Quando significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro, usando o programa estatístico Genes (CRUZ, 2006). Adicionalmente, procedeu-se a análise de correlação de Pearson entre os caracteres avaliados. O coeficiente de variação foi calculado pela expressão, $CV = 100 \times \sqrt{\sigma_E^2 / \bar{\chi}}$, onde σ_E^2 = variância do erro do tratamento e $\bar{\chi}$ = média do tratamento. A acurácia seletiva foi calculada pela expressão, $AS = (1 - 1/F)^{1/2}$, onde F = valor do teste F para genótipos (RESENDE; DUARTE, 2007).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os caracteres avaliados foram afetados pela interação ano x cultivar (A x G) ($p < 0,01$; $p < 0,05$), com exceção dos caracteres índice de clorofila A (ICF_A), índice de clorofila B (ICF_B), índice de clorofila A+B (ICF_{A+B}) em pré-antese e taxa de transpiração (*E*) e eficiência do uso da água (WUE) em pré e pós-antese (Tabela 3.2). A acurácia seletiva (AS) dos caracteres avaliados foi de alta a muito alta, variando de 0,73 a 0,98, indicando boa precisão experimental (STORCK et al., 2010), com exceção do caractere taxa de transpiração (*E*) em pós-antese que foi baixa.

Tabela 3.2 Análise de variância, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias, de 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009, avaliadas nas safras agrícolas de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

	Fontes de Variação					CV (%)	AS	Média	
	Ano (A)	Genótipo (G)	A x G	Bloco/A	Erro				
GL	1	9	9	4	36				
Caracteres	Quadrados Médios								
RG ¹	5427280**	3432013**	411059**	101291.5	107308	10	0,98	3256,4	
IC	300,6**	216,6**	23,7*	10,5	10,2	9,7	0,97	32,9	
RB	68793631**	5747956*	1809910*	1316033	178221	12	0,98	10463	
NG	56697908**	21894483*	5892531**	336271	621523	11,3	0,98	6918,2	
MMG	140,1*	54,5*	16,8**	6,5	3,1	5	0,97	32,9	
EP	5502**	1289**	86**	9,35	3,9	2,3	0,97	85,9	
Pré-antese	ICF A	0,003 ^{ns}	15,3 ^{ns}	10,5 ^{ns}	9,62	6,5	8,1	0,75	31,4
	ICF B	7,6 ^{ns}	3,9 ^{ns}	1,5 ^{ns}	1,77	1,2	10,4	0,83	10,8
	ICF A+B	8,03 ^{ns}	33,9 ^{ns}	18,7 ^{ns}	19,55	11,9	8,2	0,80	42,3
	<i>P_N</i>	33,6**	19,2*	5,6*	0,490	2,1	6,7	0,94	21,8
	<i>g_s</i>	1,05**	0,048**	0,012**	0,010	0,004	11,6	0,95	0,59
	<i>E</i>	34,4**	1,02 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,170	0,254	7,4	0,86	6,87
	WUE	0,164**	0,0013 ^{ns}	0,00109 ^{ns}	0,00032	0,0006	6	0,73	0,33
Pós-antese	ICF A	336,8**	15,7**	7,2**	10,14	1,5	3,8	0,95	32,3
	ICF B	9,8**	7,2**	2,1**	2,88	0,45	6,3	0,96	10,6
	ICF A+B	461,7**	42,4*	13,1**	22,80	3,3	4,2	0,96	42,9
	<i>P_N</i>	20,8**	15,5*	4,3*	13,42	1,85	9,9	0,93	20,7
	<i>g_s</i>	0,61**	0,023*	0,0065*	0,042	0,002	11,2	0,95	0,54
	<i>E</i>	5,94**	0,49 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,49	0,48	11,4	0,14	6,13
	WUE	0,047**	0,003 ^{ns}	0,0017 ^{ns}	0,012	0,0012	10,3	0,77	0,34

¹RG, rendimento de grão; IC, índice de colheita; RB, rendimento biológico; NG, número de grãos m⁻²; MMG, massa de mil grãos; EP, estatura de planta; ICF A, índice de clorofila falker A; ICF B, índice de clorofila falker B;

ICF A+B, índice de clorofila falker A+B; P_N , taxa fotossintética; g_s , condutância estomática; E , taxa de transpiração; WUE, eficiência do uso da água; CV, coeficiente de variação; AS, acurácia seletiva. ^{ns}, * e **, são valores não significativos e significativos a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

O rendimento de grãos (RG) foi incrementado significativamente ($p < 0,01$) ($r = 0,89$) ao longo do período de 1940 e 2009, com um acréscimo de 26, 33 e 29 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ em 2010, 2011 e na média dos 2 anos, respectivamente, gerando um ganho genético médio de $0,92\% \text{ano}^{-1}$ (Figura 3.2A). Este aumento é consideravelmente elevado, quando comparado com o ganho genético em trigo em nível global, que variou entre 0,3 e $1,0\% \text{ano}^{-1}$ no último século (LOPES et al., 2012; SHARMA et al., 2012). Rodrigues et al. (2007) analisando cultivares lançadas no Brasil entre 1940 e 1992, encontrou um ganho genético de $1,54\%$, superior ao encontrado neste estudo, o que reforça a hipótese de decréscimo do ganho genético.

Analisando o ganho obtido entre os anos de 1999 e 2009, não se observou acréscimo de RG significativo (Figura 3.2B), corroborando com Acreche et al. (2008). Estes resultados sugerem o platô de rendimento de grãos potencial alcançado no trigo brasileiro, principalmente na última década, está próximo de sua estagnação, corroborando com os resultados encontrados por Fischer e Edmeades (2010), que observaram redução no ganho genético no México e no Reino Unido.

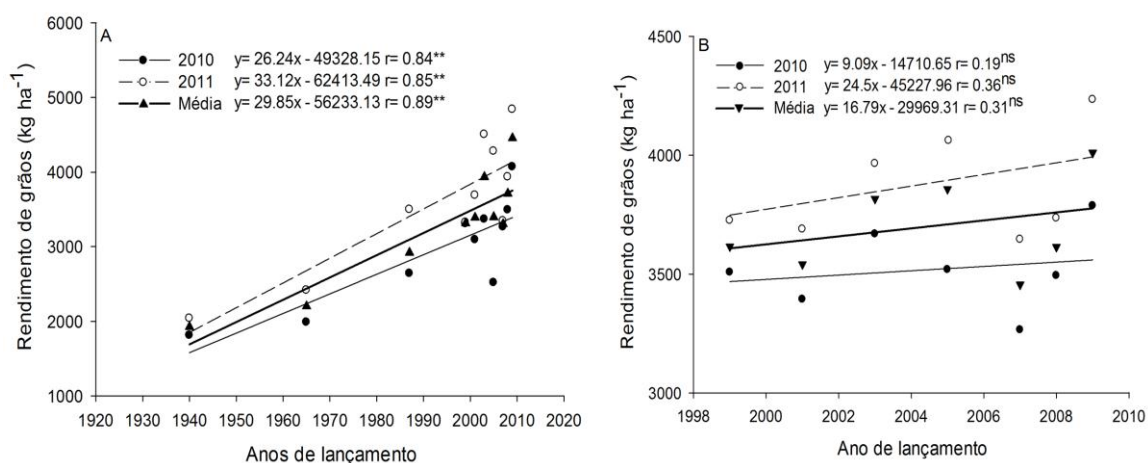


Figura 3.2 - Associação entre rendimento de grãos e ano de lançamento no período de 1940 a 2009 (A) e 1999 e 2009 (B), em 10 genótipos de trigo lançados, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** , * e ^{ns} são valores significantes a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

O índice de colheita (IC) aumentou linear e significativo ($p < 0,01$) com o ano de lançamento dos cultivares ($r = 0,90$ em 2010; $r = 0,89$ em 2011; $r = 0,94$ na média), tendo um acréscimo de $0,24\% \text{ ano}^{-1}$ na média dos anos avaliados (Figura 3.3A). Outros estudos também relatam a associação entre IC e ano de lançamento de cultivares (SLAFER; ANDRADE, 1991; CALDERINI et al., 1999; JIANG et al., 2003; ROYO et al., 2008). Os valores máximos de IC deste estudo foram próximos a 45%, o que é baixo, considerando o limite teórico de 62% (AUSTIN et al., 1980). Há relatos de IC entre 50 e 55% (FOULKES et al., 2007; SHEARMAN et al., 2005), indicando que há margem para os programas de melhoramento genético brasileiros intensificarem pressão de seleção para este caractere.

O rendimento biológico (RB) também foi positivamente associado com o ano de lançamento dos cultivares ($r = 0,77$ em 2010; $r = 0,75$ em 2011; $r = 0,88$ na média), com um acréscimo médio de $47,59 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de biomassa (Figura 3.3B). Estes resultados corroboram com os encontrados por Rodrigues et al. (2007), Sadras e Lawson (2011), Pedro et al. (2011) e Sanchez-Garcia et al. (2012), indicando que o acúmulo de biomassa total também pode ser um caminho a ser seguido para o desenvolvimento de cultivares mais produtivos.

Os caracteres número de grãos (NG) e massa de mil grãos (MMG) associaram-se com o ano de lançamento dos cultivares (NG na média, $r = 0,93$; MMG na média, $r = 0,63$), com um acréscimo médio de 77,89 e 0,029 gramas ano^{-1} , respectivamente (Figuras 3.3C e 3.3D). Resultados semelhantes foram encontrados por Shearman et al. (2005), De Vita et al. (2007), Sadras e Lawson (2011) e Sanchez-Garcia et al. (2012) para o caractere NG e por Zhou et al. (2007), Zheng et al. (2011) e Lopes et al. (2012) para MMG.

Os caracteres IC ($r = 0,94$) e NG ($r = 0,89$) associaram-se com o RG (Figuras 3.4A e 3.4C), corroborando com os trabalhos de Brancourt-Hulmel et al. (2003), De Vita et al. (2007), Giunta et al. (2007), Royo et al. (2007) e Acreche et al. (2008), que atribuíram os ganhos de rendimento de grãos ao aumento do IC e número de grãos por unidade de área. A MMG foi moderadamente associada ($r = 0,52$ – Figura 3.4D) com o RG, corroborando com Zhou et al. (2007) e Lopes et al. (2012) que encontraram uma associação de 0,39 e 0,64, respectivamente. A variação genética de massa de grãos é frequentemente observada, mas sua importância relativa para o incremento é menor, em comparação a outros componentes do rendimento (FISCHER, 2011).

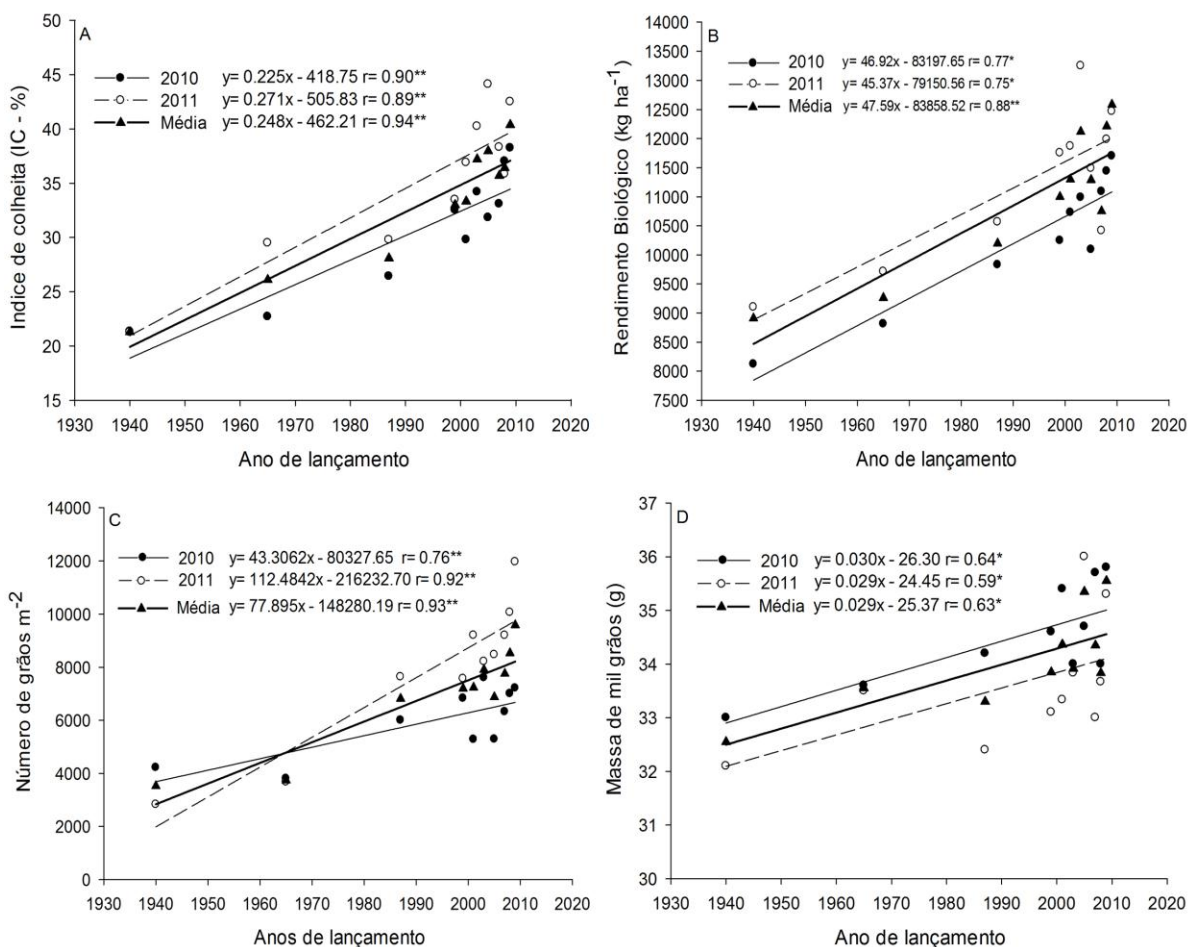


Figura 3.3 - Associação entre ano de lançamento e índice de colheita (A); rendimento biológico (B); número de grãos m⁻² (C) e massa de mil grãos (D), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** , * e ^{ns} são valores significantes a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

O RB associou-se fortemente ($r = 0,91$, Figura 3.4B) com o RG (ZHOU et al., 2007; PEDRO et al., 2011; SANCHEZ-GARCIA et al., 2012) e com o NG ($r = 0,87$, Figura 3.4J). Estes resultados mostram que o aumento da biomassa total pode ser uma alternativa para o melhoramento elevar o rendimento, através do aumento do número de grãos e diminuição da dreno-limitação no enchimento de grãos. Estudos recentes mostram que o rendimento de grãos é mais dependente do aumento do dreno (grãos) do que da fonte em pós-antese (PEDRO et al., 2011; PEDRO et al., 2012). Há relatos que indicam que o RG é limitado tanto pelos assimilados em pós-antese quanto pela quantidade de drenos (grãos), e que o incremento em RG em trigo poderia ser alcançado pelo aumento do número de

grãos (drenos) ou aumento da biomassa (capacidade da fonte), o que aumentaria a eficiência de translocação da matéria seca para os grãos (ÁLVARO et al., 2008a,b).

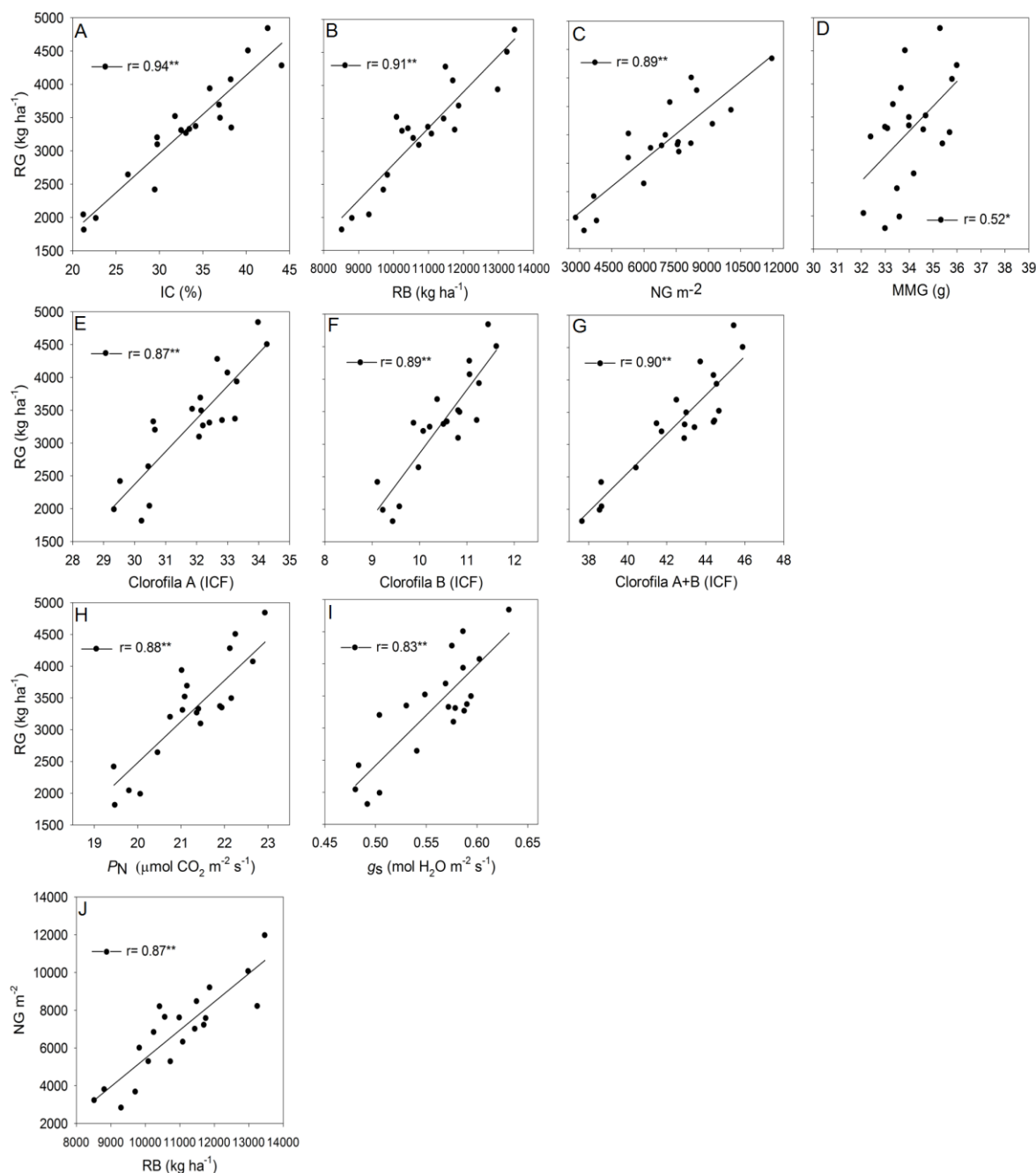


Figura 3.4 Associação entre rendimento de grãos – RG e índice de colheita – IC (A), rendimento biológico – RB (B), numero de grãos m⁻² – NG (C), massa de mil grãos – MMG (D), clorofila A - ICF A (E), clorofila B – ICF B (F), clorofila A+B - ICF A+B (G), taxa fotossintética - P_N (H), condutância estomática – g_s (I) e associação entre NG e RB (J), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos (2010 e 2011). UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** , * e ^{ns} são valores significantes a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

A estatura de planta (EP) associou-se negativamente com o ano de lançamento dos cultivares ($r = -0,88$ em 2010; $r = -0,94$ em 2011; $r = -0,93$ na média), com uma redução média de $0,6 \text{ cm ano}^{-1}$ (Figura 3.5A). Comparando a média dos cultivares antigos e modernos, a redução na EP foi de 77,4% (Figura 3.5B), corroborando com Graybosch e Peterson (2010), Sadras e Lawson (2011) e Sanchez-Garcia et al. (2012).

Houve uma associação negativa entre EP e RG ($r = -0,58$, Figura 5C), o que também foi observado por Xiao et al. (2012) e Sanchez-Garcia et al. (2012). O efeito da estatura no RG deve-se as mudanças ocorridas na relação fonte-dreno. Com a diminuição da EP houve um incremento do IC ($r = -0,64$, Figura 3.5D) e a redução de acamamento de plantas. A redução da EP no Brasil ocorreu com a adoção em programas de melhoramento de genótipos com genes de nanismo (Rht), provenientes do CIMMYT, principalmente a partir das décadas de 70 e 80.

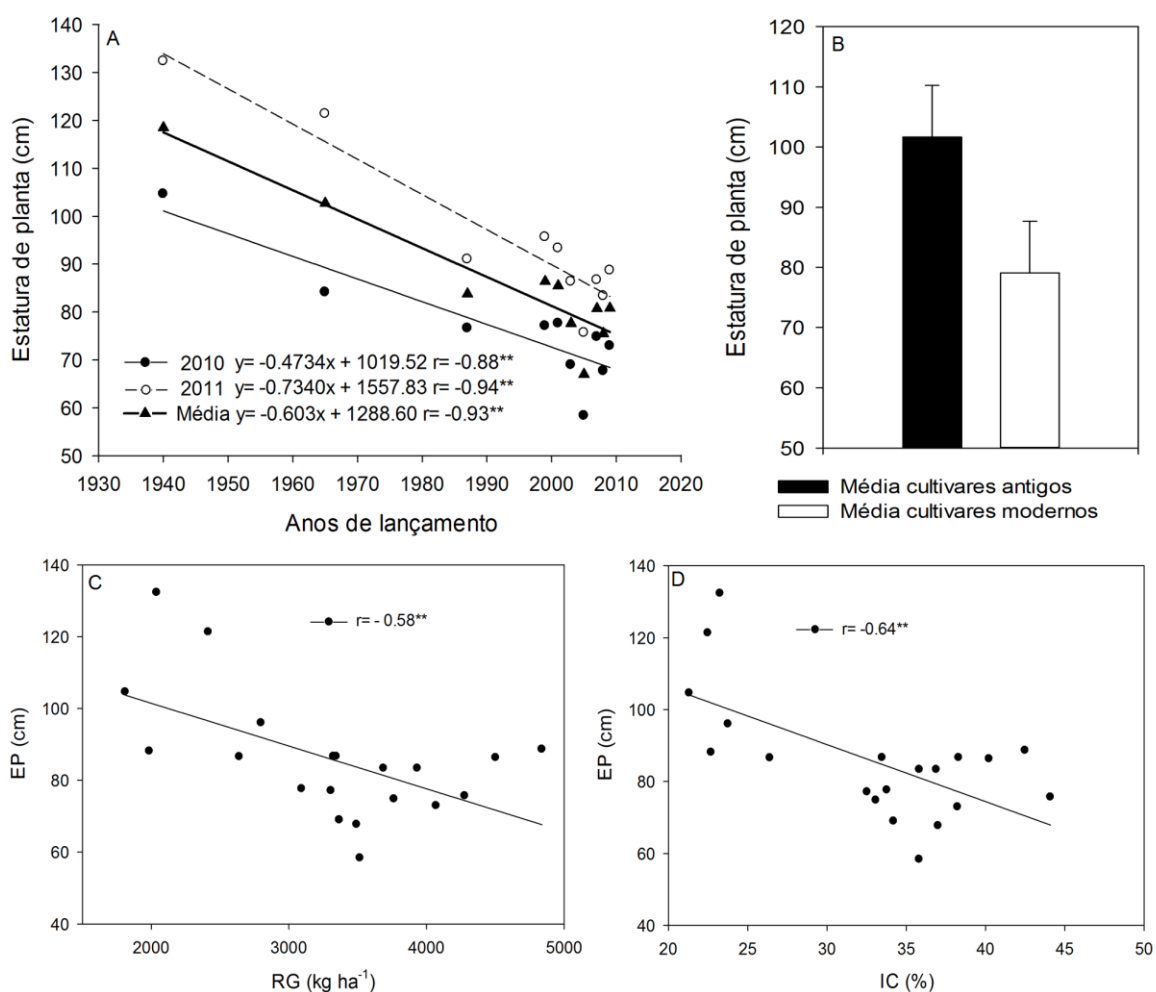


Figura 3.5 Associação entre ano de lançamento e estatura de planta (A); estatura de planta de cultivares antigos e modernos (B); associação entre estatura de planta e rendimento de grãos (C), e índice de colheita (D), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** , * e ^{ns} são valores significantes a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste t. As barras no topo das colunas representam o DMS a 5%, para comparação dos valores.

Não foi observada associação do ano de lançamento dos cultivares com os caracteres fisiológicos taxa de transpiração (*E*) e eficiência do uso da água (WUE) em pré e pós-antese (Figura 3.6A e 3.6C) e os cultivares antigos e modernos não diferiram significativamente entre si (Figura 3.6B e 3.6D). Sadras e Lawson (2013) não encontraram diferenças da taxa de transpiração (*E*) entre cultivares antigos e modernos, contudo De Vita et al. (2007) encontrou associação ($r= 0,77$) da *E* com o ano de lançamento, enquanto Zheng et al. (2011) observaram associação entre *E* e RG ($r= 0,63$), o que não se confirmou neste estudo. Wang et al. (2010), analisando um conjunto de cruzamentos de trigo, encontrou variabilidade genética para WUE e associação com RG, enquanto Sadras e Lawson (2013) encontraram uma associação positiva entre anos de lançamento e eficiência do uso da água. O incremento da WUE traz vantagens adaptativas a cultura, principalmente em contribuir com o aumento do RG em condições de stress hídrico (ARAUS et al., 2008; KATERJI et al., 2008).

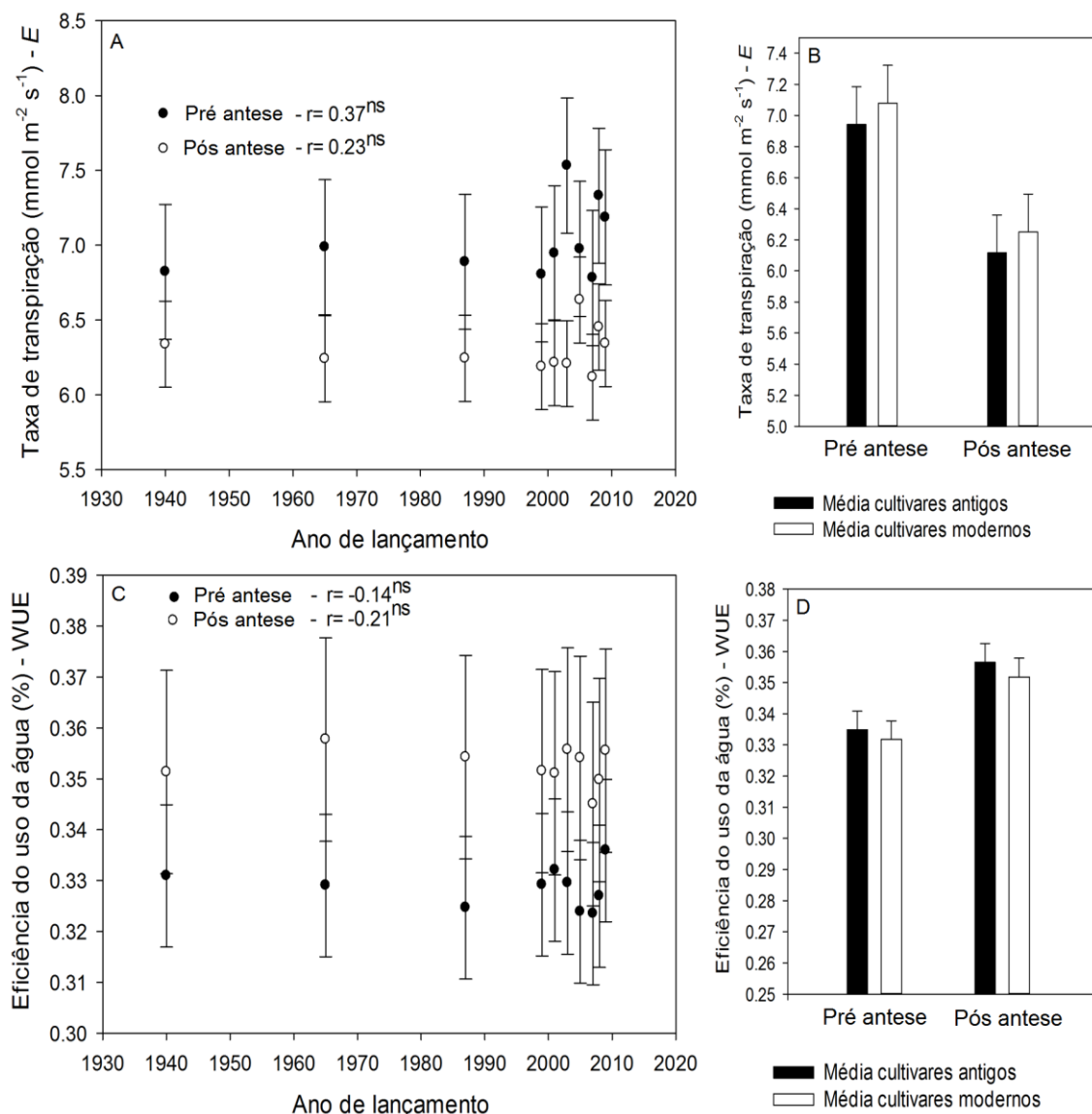


Figura 3.6 Associação entre ano de lançamento e taxa de transpiração - E (A); média da taxa de transpiração entre os cultivares antigos e modernos (B); associação entre ano de lançamento e eficiência do uso da água - WUE (C); média de eficiência do uso da água entre os cultivares antigos e modernos (D), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

^{ns} são valores não significativos, pelo teste t. As barras no topo das colunas representam o DMS a 5%, para comparação dos valores.

A taxa fotossintética (P_N) em pré ($r = 0,85$) e pós-antese ($r = 0,86$) foi associada com o ano de lançamento dos cultivares (Figura 3.7A), com um aumento de $0,044$ e $0,024 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em pré-antese e pós-antese, respectivamente. O aumento médio foi de 8,25% em pré-antese e de 5,74% em pós-antese, na comparação de cultivares antigos e modernos (Figura 3.7B),

corroborando com os resultados de De Vita et al. (2007), Tian et al. (2011) e Zheng et al. (2011).

A condutância estomática (g_s) seguiu o mesmo comportamento da P_N , associando-se em pré ($r=0,65$) e pós-antese ($r=0,62$) com o ano de lançamento dos cultivares (Figura 3.7C). Comparando os cultivares antigos e modernos, observa-se um incremento médio de 14,5% em pré-antese e 12,5% em pós-antese (Figura 3.7D) (FISCHER et al., 1998; SADRAS; LAWSON, 2011). Observou-se também associação da condutância estomática com RG ($r=0,83$, Figura 3.4I) e RB ($r=0,81$, Figura 3.8B) (GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ et al., 2000; REYNOLDS et al., 2000; ZHENG et al., 2011). Isso indica que a condutância estomática está contribuindo com o aumento do potencial produtivo.

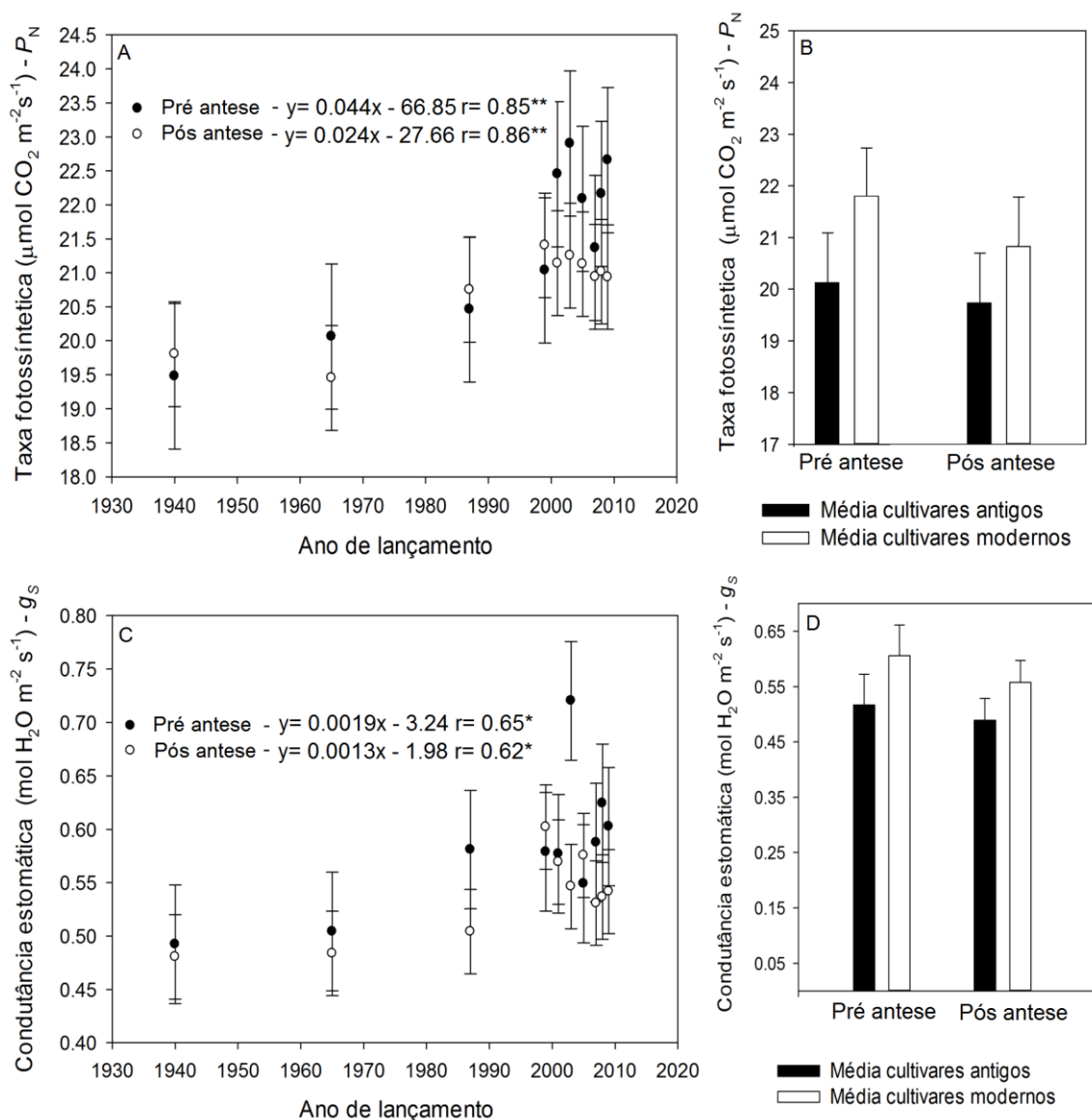


Figura 3.7 Associação entre ano de lançamento e taxa fotossintética – P_N (A); média da taxa fotossintética entre os cultivares antigos e modernos (B); associação entre ano de lançamento e condutância estomática – g_s (C); média de condutância estomática entre os cultivares antigos e modernos (D), em 10 genótipos de trigo, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** e * são valores significantes a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t. As barras no topo das colunas representam o DMS a 5% para comparação dos valores.

A taxa fotossintética (P_N) associou-se com o RG ($r= 0,88$, Figura 3.4H) e com o RB ($r= 0,78$, Figura 3.8A), corroborando com os resultados de Xiao et al. (2012), que observaram que o rendimento de biomassa foi maior em altas taxas fotossintéticas pós-antese, visto que grande parte da fotossíntese produzida durante o período pós-antese é direcionada para os drenos (grãos), podendo ainda causar incrementos significativos de biomassa (PARRY et al., 2011). Assim, incrementos na taxa fotossintética e condutância estomática de cultivares modernos, principalmente depois da antese, podem ser importantes ferramentas para elevar o potencial de rendimento em trigo.

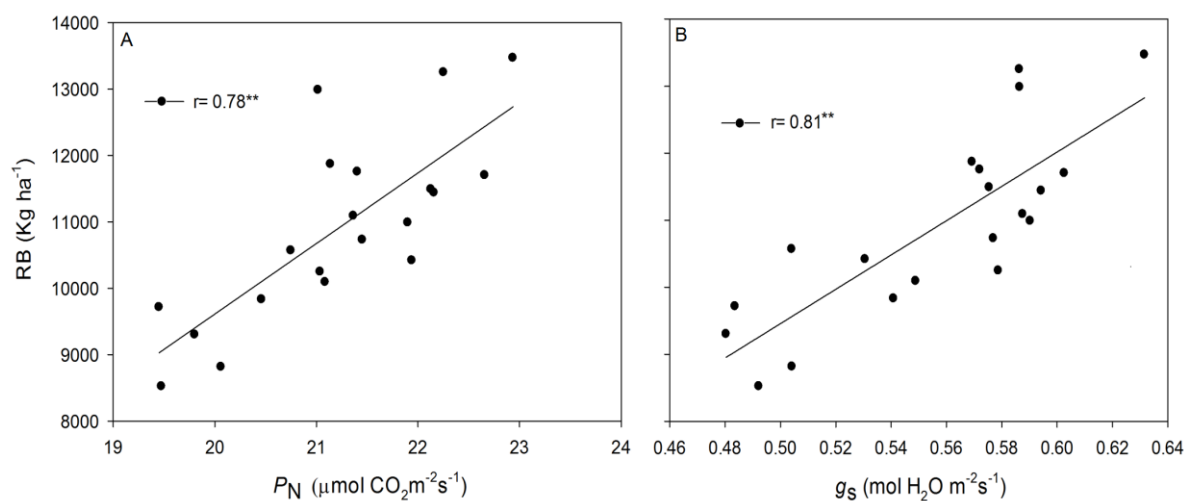


Figura 3.8 Associação entre rendimento biológico (RB) com taxa fotossintética (P_N) (A) e condutância estomática (g_s) (B), em 10 genótipos de trigo lançados em diferentes décadas, avaliados nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** são valores significativos a 1% de probabilidade, pelo teste t.

O índice de clorofila falker (ICF) A, B e A+B em pré-antese não variou com o ano de lançamento dos cultivares (Figura 9A) e não houve diferença significativa das médias de ICF_A , ICF_B e ICF_{A+B} entre cultivares antigos e modernos (Figura 3.9B).

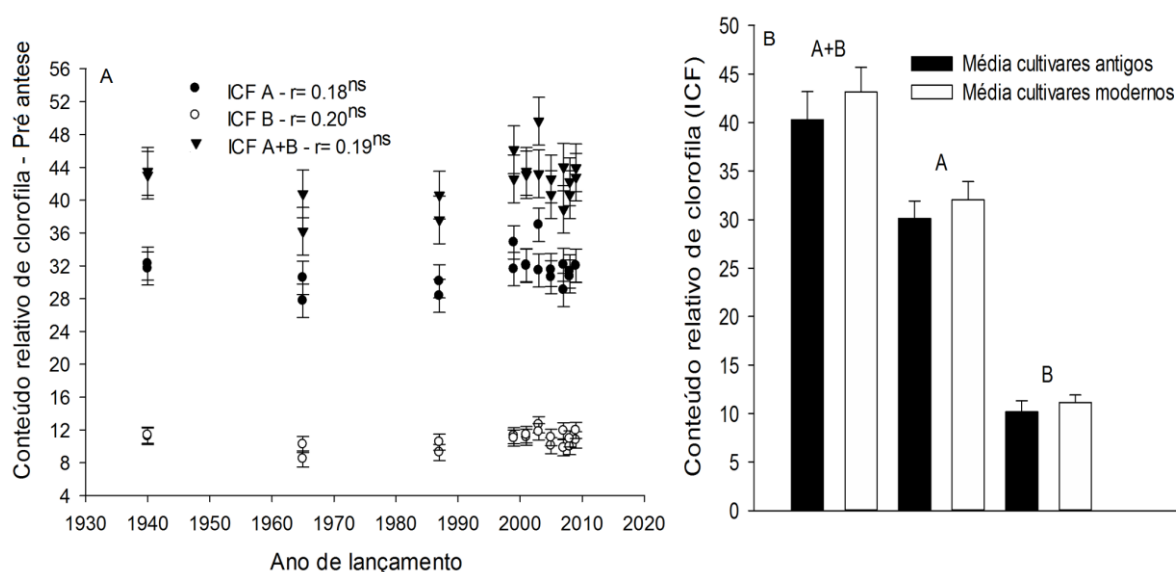


Figura 3.9 - Associação entre ano de lançamento e conteúdo relativo de clorofila em pré-antese (A) e média do conteúdo relativo de clorofila entre os cultivares antigos e modernos em antese (B), em 10 genótipos de trigo, nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

^{ns} são valores não significativos, pelo teste t. ICF; índice de clorofila Falker. As barras no topo das colunas representam o DMS a 5% para comparação dos valores.

Entretanto, para a avaliação em pós-antese, houve associação do ICF_A ($r = 0,78$), ICF_B ($r = 0,81$) e ICF_{A+B} ($r = 0,80$) com o ano de lançamento dos cultivares (Figura 3.10A), corroborando com os resultados encontrados por Sadras e Lawson (2011), Sadras et al. (2012) e Xiao et al. (2012) que encontraram ganhos significativos em teor relativo de clorofila em genótipos modernos

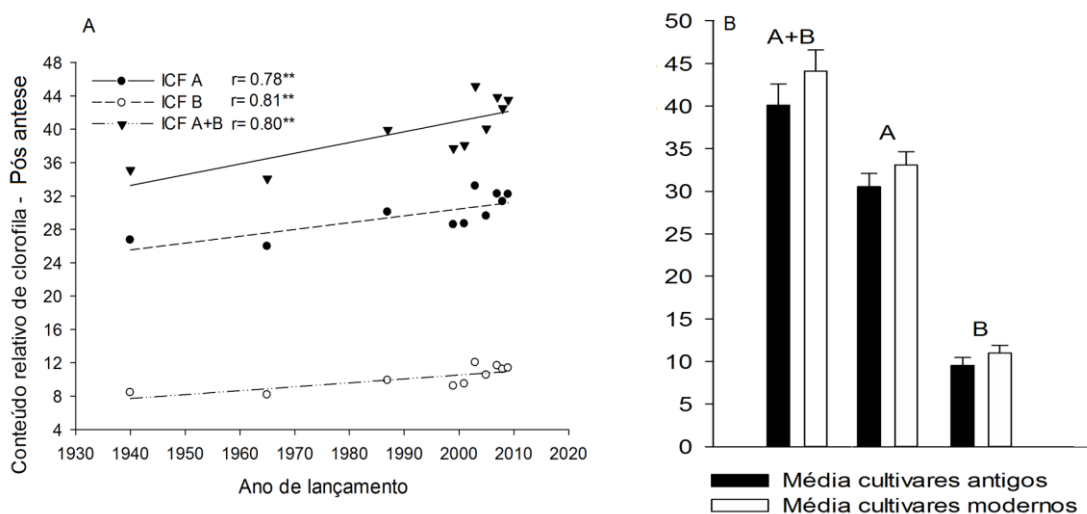


Figura 3.10 Associação entre ano de lançamento e conteúdo relativo de clorofila em pós antese (A), média do conteúdo relativo de clorofila entre os cultivares antigos e modernos (B), em 10 genótipos de trigo, nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** são valores significantes a 1% de probabilidade, pelo teste t. ICF; índice de clorofila Falker. As barras no topo das colunas representam o DMS a 5% para comparação dos valores.

Os cultivares modernos, em média, apresentaram um aumento de 9,1% para ICF_{A+B} e ICF_A e de 18,1% para ICF_B (Figura 10B). O ICF_A ($r= 0,87$), ICF_B ($0,89$) e ICF_{A+B} ($r= 0,90$) associaram-se com o RG (Figura 3.4E, F e G), corroborando com Gutiérrez-Rodríguez et al. (2000) e Xiao et al. (2012). Ainda o ICF_{A+B} associou-se com a taxa fotossintética (P_N , $r= 0,88$) e condutância estomática (g_s , $r= 0,82$) (Figura 3.11A e B), sugerindo que o aumento do conteúdo relativo clorofila pode estar incrementando a taxa fotossintética e a condutância estomática.

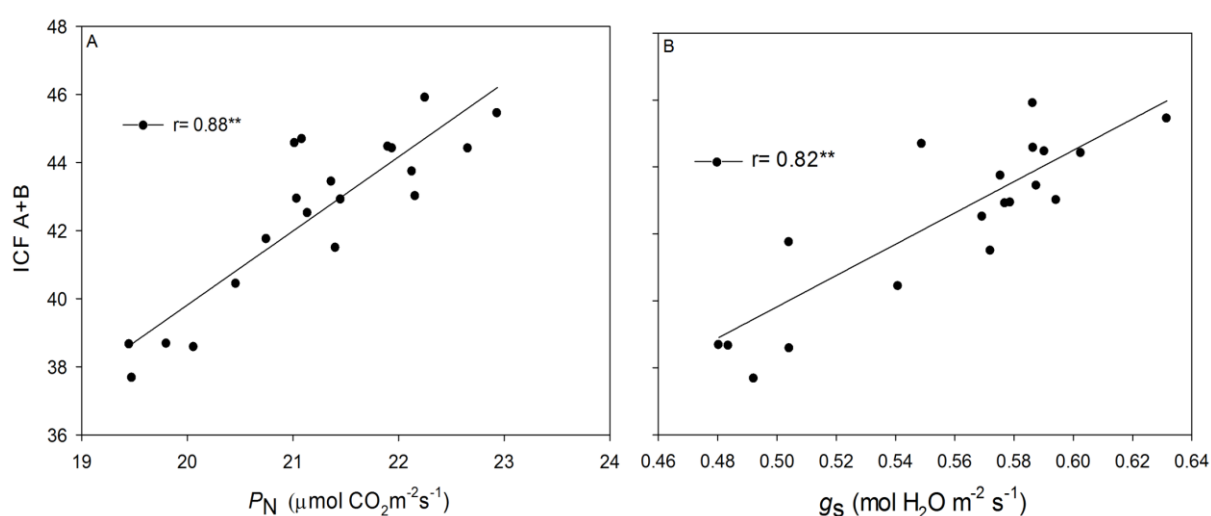


Figura 3.11 Associação entre índice de clorofila A+B (ICF A+B) e taxa fotossintética (P_N) (A) e condutância estomática (g_s) (B), em 10 genótipos de trigo, nos anos de 2010 e 2011. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** são valores significantes a 1% de probabilidade, pelo teste t.

A resposta do rendimento de grãos a competição declinou com o ano de lançamento dos cultivares, nos dois anos avaliados (2010 – $r= -0,93$; 2011 – $r= -0,92$), com uma diminuição média de 20% para os cultivares modernos no período de 1940 a 2009 (Figura 3.12A), enquanto o rendimento de grãos foi incrementado (Figura 3.2A). Vários trabalhos mostram que a seleção para rendimento por unidade de área favoreceu cultivares com baixa capacidade competitiva (REYNOLDS et al., 1994; SADRAS et al., 2000; SONG et al., 2009; FANG et al., 2011).

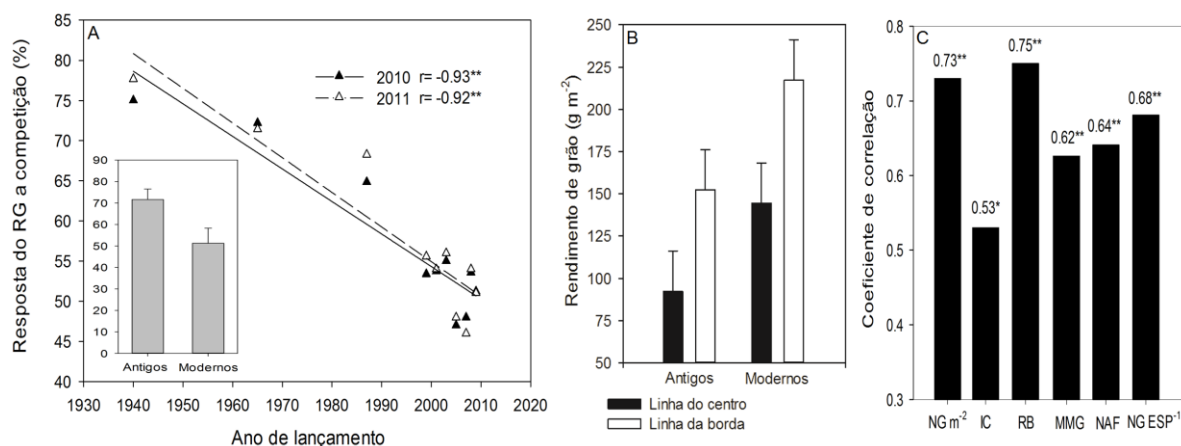


Figura 3.12 Resposta do rendimento de grãos a competição em 10 genótipos de trigo, lançados entre 1940 e 2009, nos anos de 2010 e 2011 (A). Rendimento de grãos médio das linhas centrais e das bordas na média dos dois anos (B). Coeficientes de correlação entre resposta do rendimento de grãos a competição e resposta dos componentes do rendimento a competição (C). UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

** e * são valores significantes a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t. NG, Número de grãos m^{-2} ; IC, Índice de colheita; RB, Rendimento biológico; MMG, Massa de mil grãos; NG ESP^{-1} , Número de grãos por espiga; NAF, Número de afilhos férteis por metro. As barras no topo das colunas representam o DMS a 5% para comparação dos valores.

Comparando o rendimento de grão das linhas centrais com as linhas da borda, observou-se que as linhas da borda obtiveram rendimento superior em 63% na média geral do experimento (Figura 3.12B), corroborando com os resultados encontrados por Sadras e Lawson (2011). Os genótipos modernos apresentaram um rendimento de grãos nas linhas centrais superior aos antigos, corroborando com Donald (1981), que teoriza que o genótipo ideal para cultivo em monocultura é aquele que possui maior rendimento em comunidade. Todos os componentes do rendimento de grãos correlacionaram-se com a resposta do rendimento de grãos a competição (Figura 3.12C). O rendimento biológico (RB) obteve maior associação em relação ao índice de colheita (IC). Já o número de grãos (NG) e número de grãos por espiga (NG ESP^{-1}) maior associação em relação à massa de mil grãos (MMG), enquanto o número de afilhos férteis (NAF) apresentou efeito similar a MMG. Resultados semelhantes foram encontrados por Reynolds et al. (1994) e Sadras e Lawson (2011). Estes resultados sugerem que a diminuição da capacidade competitiva dos genótipos modernos acarretaram em um aumento do rendimento de grãos e estabilidade produtiva.

3.6 CONCLUSÕES

O ganho genético em trigos brasileiros foi de 0,92% ano⁻¹ entre 1940 e 2009. Na última década, o progresso genético foi de 0,45 % ano⁻¹.

O progresso genético do rendimento de grãos em trigos brasileiros esteve associado ao aumento do índice de colheita, rendimento biológico e número de grãos.

Para a continuidade do progresso genético, os programas de melhoramento devem focar no aumento da eficiência do aparato fotossintético.

4 EFICIÊNCIA DE USO DO NITROGÊNIO EM CULTIVARES DE TRIGO BRASILEIROS ANTIGOS E MODERNOS

4.1 RESUMO

Cultivares modernos, de elevado potencial produtivo, requerem o uso de altas doses de nitrogênio, o que eleva o custo de produção e aumenta o risco de danos ambientais. O objetivo deste estudo foi caracterizar cultivares brasileiros de trigo, desenvolvidos em diferentes décadas, quanto à eficiência de uso do nitrogênio. Dez cultivares de trigo, lançados entre os anos de 1940 e 2009, foram submetidos a 4 doses de adubação nitrogenada (0, 60, 120 e 180 kg N ha⁻¹), em ambiente controlado, utilizando delineamento em blocos ao acaso com três repetições. Houve um incremento do rendimento de grãos de 0,54, 0,74, 0,74 e 0,82% ano⁻¹ nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg N ha⁻¹, respectivamente, sendo acompanhado de um aumento da eficiência de uso do nitrogênio (EUN). A eficiência de absorção de nitrogênio (EAN) foi positivamente associada com EUN na ausência de adubação nitrogenada (N=0, r= 0,74). A eficiência de utilização do nitrogênio – EUN (N=60, r= 0,76; 120N, r= 0,86; N=180, r= 0,88) e EAN (6N=60, r= 0,75; N=120, r= 0,84; N=180, r= 0,87) foi positivamente associadas a EUN nas doses mais elevadas de N. Os cultivares mais recentemente disponibilizados para cultivo (Quartzo, CD 117, BRS Tangará, BRS 220, BRS 208 e BRS Guamirim) foram mais eficientes no uso do nitrogênio e mais tolerantes a baixas doses em comparação ao grupo formado pelos cultivares BRS 179, BR 23, Toropi e Frontana. Para o desenvolvimento de cultivares com maior eficiência de uso do nitrogênio e com elevado potencial produtivo, os melhoristas devem focar em genótipos com maior acumulação de nitrogênio em antese e eficiência de remobilização do nitrogênio.

4.2 ABSTRACT

Modern cultivars of high potential yield, require the use of high rates of nitrogen, which raises the cost of production and increases the risk of environmental damage. The aim of this study was to characterize Brazilian wheat cultivars developed in different decades, for the nitrogen use efficiency. Ten wheat cultivars released from 1940 to 2009, were examined in four nitrogen rates (0, 60, 120 and 180 kg N ha⁻¹), in a controlled environment using a randomized blocks with three replications. There was an increase in grain yield of 0,54, 0,74, 0,74 and 0,82% year⁻¹, at rates of 0, 60, 120 and 180 kg N ha⁻¹, respectively, being accompanied by an increase in the nitrogen use efficiency (NUE). The nitrogen uptake efficiency (NUpE) was positively associated with NUE in the absence of fertilization (N0, r = 0,74). Nitrogen utilization efficiency – NUtE (N60, r= 0,76; N120, r= 0,86; N180, r= 0,88) and NUpE (N60, r= 0,75; N120, r= 0,84; N180, r= 0,87) were positively associated with NUE in higher N. The modern cultivars (Quartzo, CD 117, BRS Tangará, BRS 220, BRS 208 and BRS Guamirim) were more efficient in the use of nitrogen and more tolerant to low N input compared to the group formed by BRS 179, BR 23, Toropi and Frontana. For the development of cultivars with high nitrogen use efficiency and potential yield, plant breeders should focus on genotypes with high nitrogen accumulation at anthesis and nitrogen remobilization efficiency.

4.3 INTRODUÇÃO

O nitrogênio é o nutriente mais limitante para a produção agrícola e também o mais utilizado na agricultura mundial (AUSTIN, 1999; SADRAS, 2005; KUTMAN et al., 2011). Contudo, apenas 40 a 60% do nitrogênio mineral aplicado é absorvido pela cultura do trigo e essa percentagem diminui com uso de doses mais elevadas (ORTIZ-MONASTERIO et al., 1997; AUSTIN, 1999; BARRACLOUGH et al., 2010; GÓRNY, et al., 2011). Grande parte do nitrogênio é perdido por lixiviação do nitrato (RILEY et al., 2001), volatilização da amônia (MA et al., 2010) ou fica imobilizado na palha.

A eficiência de uso do nitrogênio (EUN) pode ser aumentada com o uso da dose adequada e utilização de cultivares mais eficientes no aproveitamento deste nutriente. Moll et al. (1982) definiu a EUN como sendo o rendimento de grãos por unidade de nitrogênio disponível no solo (incluindo o N residual presente no solo acrescido do fertilizante). A EUN pode ser dividida em dois componentes principais: a eficiência de absorção - EAN= a capacidade das plantas em remover N do solo e a eficiência de utilização - EUtN= a capacidade da planta de usar N para produção de grãos.

O melhoramento genético tem feito progressos consideráveis quanto à seleção de genótipos eficientes no uso do nitrogênio. Vários estudos relatam presença de variabilidade, em trigo, para os componentes da eficiência de uso no N (EUN). Mais comumente são relatadas diferenças entre genótipos quanto EAN, EUtN e índice de colheita de nitrogênio (ICN) (LE GOUIS et al., 2002; GUARDA et al. 2004; FOULKES et al., 2009; BARRACLOUGH et al., 2010; GÓRNY et al., 2011 e GAJU et al., 2011). Há diversos relatos de presença de variabilidade para a EUtN e a EAN em genótipos de trigo, e um indicativo que suas magnitudes dependem da dose de N aplicada (ORTIZ-MONASTERIO et al., 1997; FOULKES et al., 1998; LE GOUIS et al., 2000; MUURINEN et al., 2006; BARRACLOUGH et al., 2010).

Os ganhos genéticos em baixas doses de N geralmente estão associados ao aumento da EAN (ORTIZ-MONASTERIO et al., 1997; FOULKES et al., 1998; LE GOUIS et al., 2000), enquanto em altas doses ao incremento da EUtN (CALDERINI et al., 1995, BRANCOURT-HUMMEL et al., 2003). Contudo existem contradições, Ortiz-Monasterio et al. (1997), Foulkes et al. (1998) e Muurinen et al. (2006) encontraram que os ganhos em EUN foram explicados igualmente pela EAN

e EUN em altas doses de N. Já Barraclough et al. (2010) e Gaju et al. (2011) encontraram maior explicação da EUN no rendimento de grãos em doses baixas e altas de N.

Normalmente os cultivares de trigo são desenvolvidos sob baixa pressão de seleção para os componentes da EUN (GÓRNY et al., 2011). Há uma expectativa que cultivares modernos, selecionados em condições de altos níveis de N, sejam pouco responsivos em baixas condições de N, comparadas as populações ou cultivares antigos. Contudo, diversos estudos relatam que houve um aumento da eficiência do uso do nitrogênio com o passar dos anos de melhoramento (ORTIZ-MONASTERIO et al., 1997; FOULKES et al., 1998; REYNOLDS et al., 1999; GUARDA et al., 2004; GÓRNY et al., 2006).

Desta forma o objetivo deste trabalho foi caracterizar cultivares de trigo brasileiros, lançados entre os anos de 1940 e 2009, quanto à eficiência de uso do nitrogênio e seus componentes.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Condições experimentais e material genético

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Curso de Agronomia, pertencente à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco (26°11'S e 52°40'W, a 700 metros de altitude - região de valor de cultivo e uso 2).

O solo utilizado no estudo, classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura argilosa, foi peneirado, homogeneizado e analisado (Tabela 4.1). O pH do solo foi corrigido com calcário dolomítico (PRNT – 87%) na dose de 3 t ha⁻¹, buscando-se atingir um valor de saturação de bases de 70%. Da mesma forma o solo foi corrigido com potássio e fósforo na dose de 60 kg ha⁻¹.

Tabela 4.1 Resultados de análise química do solo utilizado no experimento. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

pH ¹	H+Al	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P	M.O	V	M
CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	%	
4,77	8,34	0,13	4,73	2,64	0,34	2,11	58,6	48,1	1,66

¹pH: potencial de hidrogênio; H + Al: acidez potencial; Al⁺³: alumínio; Ca⁺²: cálcio; Mg⁺²: magnésio; K⁺: potássio; P: fósforo (Mehlich); V: saturação por bases; M: saturação por alumínio.

O experimento foi implantado na safra agrícola de 2011, em delineamento de blocos ao acaso e os tratamentos foram distribuídos em esquema fatorial com três repetições. Cada unidade experimental foi composta por dois vasos de 20 litros (35x30 cm), onde foram semeadas 25 sementes pré-germinadas (papel de filtro, 22°C por 24h) por vaso, o que representou uma densidade de 300 sementes m⁻².

Os fatores utilizados foram: a) quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹) e b) dez cultivares trigo (Tabela 4.2), lançados entre os anos de 1940 e 2009, sendo três pioneiros, das décadas de 40 (Frontana), 60 (Toropi) e 80 (BR 23). A adubação nitrogenada foi dividida em três aplicações: 1) 30 kg ha⁻¹ na base para todos os tratamentos, exceto no tratamento com ausência de nitrogênio, 2) 65% do restante no perfilhamento (Z 22 da escala Zadocks) e 3) 35% no início do alongamento (Z 39). A fonte de nitrogênio utilizada foi à ureia, sendo diluída em

água. Os tratamentos corresponderam aos seguintes parcelamentos, em kg N ha⁻¹: 0N (0+0+0) - apenas o N disponível no solo; 60N (30+19,5+10,5); 120N (30+58,5+31,5) e 180N (30+97,5+52,5).

Tabela 4.2. Descrição dos genótipos, instituição geradora, ano de lançamento e genealogia. UTFPR, Pato Branco-PR, 2013.

Genótipos	Instituição Geradora	Ano de Lançamento	Genealogia
Frontana	Iwar Beckman	1940 - antigo	Fronteira / Mentana
Tropi	Embrapa Trigo	1965 - antigo	Frontana/Quaderna A//Petiblanco 8
BR 23	Embrapa Trigo	1987 - antigo	CC/ALD SIB/3/IAS 54-20/COP//CNT8
BRS 179	Embrapa Trigo	1999 - antigo	BR 35/PF 8596/3/ PF 772003*2/PF 813//PF 83899
BRS 208	Embrapa Soja	2001 - moderno	CPAC 89118/3/BR 23//CEP19/PF 85490
BRS 220	Embrapa Soja	2003 - moderno	Embrapa 16/TB 108
BRS Guamirim	Embrapa Trigo	2005 - moderno	Embrapa 27/ Buck Nandu/ PF 93159
BRS Tangará	Embrapa Soja	2007 - moderno	BR 23*2/PF 940382
CD 117	Coodetec	2008 - moderno	PF 87373/ OC 938
Quartzo	OR Sementes/Biotrigo	2009 - moderno	Ônix/Avante

4.4.2 Caracteres avaliados

4.4.2.1 Rendimento de grãos

No estágio de maturação fisiológica (Z90) para cada cultivar, as plantas de cada vaso foram colhidas, secadas e trilhadas, com as quais foi mensurado o rendimento de grãos (RG), corrigido para 13% de umidade.

4.4.2.2 Teor de nitrogênio

No momento da antese (Z60) para cada cultivar, coletou-se cinco plantas por unidade experimental, para determinar o nitrogênio acumulado na palha em antese. Com as plantas colhidas no estágio de maturação fisiológica foram secadas e trilhadas, e as frações de grãos e palha separadas, em seguida as mesmas foram trituradas em moinho de facas. Posteriormente as frações de palha em antese, palha na maturação fisiológica e grãos foram submetidas à análise

química para determinação da concentração de nitrogênio (N), através do método Kjeldahl (TEDESCO et al., 1995).

4.4.2.3 Componentes da eficiência de uso do nitrogênio (EUN)

O nitrogênio total dos grãos, biomassa em antese e maturação fisiológica, foi mensurado multiplicando-se a concentração de nitrogênio (%) da fração pela produção de biomassa. Os componentes da EUN foram mensurados, segundo Guarda et al. (2004) e Foulkes et al. (2009):

Eficiência do uso do nitrogênio: $EUN(g/g) = \frac{RG}{SN}$, RG = rendimento de grãos (g) e SN = nitrogênio fornecido pelo solo e fertilizantes (g).

Eficiência de absorção do nitrogênio: $EAN(g/g) = \frac{NG + NP}{SN}$, onde NG = quantidade de nitrogênio nos grãos (g), NP = quantidade de nitrogênio na palha na maturação fisiológica (g).

Eficiência de utilização do nitrogênio: $EUtN(g/g) = \frac{RG}{NG + NP}$.

Índice de colheita do nitrogênio: $ICN(\%) = \frac{CNG \times RG}{(CNG + CNP) \times BIO} \times 100$, onde CNG = concentração de nitrogênio nos grãos(%), CNP = concentração de nitrogênio na palha(%), RG = rendimento de grãos (g) e BIO = biomassa total (palha+grãos) em gramas.

Fração Aparente de Recuperação do Nitrogênio: $FARN(\%) = \frac{EAN_{NX} - EAN_{N0}}{NX}$, onde EAN_{NX} = eficiência de absorção do nitrogênio na dose maior (g/g), EAN_{N0} = eficiência de absorção do nitrogênio na dose menor (g/g) e NX = dose de nitrogênio maior (g).

Eficiência de remobilização do nitrogênio: $ERN(\%) = \frac{NR}{NTA}$, onde NTA = nitrogênio total na antese (g), NR = nitrogênio remobilizado da biomassa para os

grãos (g) - $NR = \frac{NPM}{NBA}$, onde NPM = quantidade de nitrogênio na palha na maturação (g) e NBA = quantidade nitrogênio na biomassa acima do solo na antese (g).

Absorção do nitrogênio pós antese: $ANPA(g) = NBM - NBA$, onde NBM = quantidade de nitrogênio na biomassa total acima do solo na maturação (g).

Índice de resposta a EutN: $IR_{EutN} = \frac{RG_{NX} - RG_{N0}}{NA_{NX} - NA_{N0}}$, onde RG_{NX} = RG na dose de nitrogênio maior (g), RG_{N0} = RG na dose de nitrogênio menor (g), NA_{NX} = nitrogênio absorvido na dose de nitrogênio maior (g) e NA_{N0} = nitrogênio absorvido na dose de nitrogênio menor (g). Índice de Tolerância a baixo nitrogênio: $T = \frac{RG_{N0}/RG_{NX}}{D}$, onde $D = \frac{MRG_{N0}}{MRG_{NX}}$, e MRG_{N0} = média geral do rendimento de grãos na dose de nitrogênio menor (g) e MRG_{NX} = média geral do rendimento de grãos na dose de nitrogênio maior (g), (GÓRNY et al., 2011).

4.4.3 Análises Estatísticas

Realizou-se a análise de variância univariada do experimento no modelo fatorial simples, considerando os efeitos de cultivar e dose de nitrogênio como fixos. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro. A comparação entre os anos de lançamento dos cultivares foi realizada mediante regressão polinomial. Adicionalmente, procedeu-se a análise de correlação de Pearson entre os caracteres avaliados. As análises foram implementadas utilizando o programa estatístico Genes (CRUZ, 2006). O coeficiente de variação foi calculado pela expressão, $CV = 100 \times \sqrt{\sigma_E^2 / \bar{\chi}}$, onde σ_E^2 = variância do erro do tratamento e $\bar{\chi}$ = média do tratamento. A acurácia seletiva foi calculada pela expressão, $AS = (1 - 1/F)^{1/2}$, onde F = valor do teste F para genótipos (RESENDE; DUARTE, 2007).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O rendimento de grãos (RG), teor de nitrogênio nos grãos (NTG), nitrogênio total na biomassa acima do solo maturação fisiológica (NTM) e em antese (NTA) e os caracteres de eficiência do uso do nitrogênio foram afetados pela interação genótipo x dose de nitrogênio ($G \times N$; $p < 0,01$) (Tabela 4.3). A acurácia seletiva (AS) dos caracteres avaliados foi a alta a muito alta, variando de 0,87 a 0,98, indicando boa precisão experimental (STORCK et al., 2010).

Tabela 4.3 Análise de variância para os caracteres agrônômicos e de eficiência do uso do nitrogênio, incluindo as fontes de variação, seus respectivos quadrados médios e significâncias, de 10 cultivares de trigo lançadas entre 1940 e 2009, avaliados na safra agrícolas de 2011. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

	Genótipo (G)	Dose de N (N)	G x N	Erro	Bloco	Média	AS	CV (%)
GL ¹	9	3	27	78	2			
	Quadrados Médios							
NTG	0,121 [*]	1,00 ^{**}	0,052 ^{**}	0,011	0,0130	0,80	0,95	13,0
NTM	0,102 ^{ns}	2,69 ^{**}	0,111 ^{**}	0,018	0,0045	0,37	0,90	11,5
NTA	0,196 [*]	2,57 ^{**}	0,084 ^{**}	0,023	0,0054	0,73	0,93	15,2
RG	405,4 ^{**}	1682,43 ^{**}	62,69 ^{**}	11,39	27,3	34	0,98	10,0
EUN	367,04 ^{**}	8059,59 ^{**}	66,72 ^{**}	13,11	43,7	42	0,98	10,8
EAN	112,73 ^{**}	2998,96 ^{**}	124,42 ^{**}	18,87	11,6	38,6	0,91	11,0
EUtN	135,02 ^{**}	109,39 ^{**}	31,45 ^{**}	8,27	6,4	29,2	0,96	9,8
ICN	300,48 ^{**}	419,38 ^{**}	126,26 ^{**}	16,78	56,4	83,3	0,97	5,9
ERN	400 ^{**}	3738,77 ^{**}	366,15 ^{**}	74,51	92,4	33,8	0,90	14,5
ANPA	0,079 ^{**}	0,346 ^{**}	0,044 ^{**}	0,018	0,0006	0,53	0,87	12,3

¹GL, graus de liberdade; NTM, nitrogênio total na biomassa acima do solo na maturação fisiológica; NTG, nitrogênio total no grão; NTA, nitrogênio total na biomassa acima do solo em antese; RG, rendimento de grãos; EUN, eficiência de uso do nitrogênio pelos grãos; EAN, eficiência de absorção do nitrogênio; EUtN, eficiência de utilização do nitrogênio; ICN, índice de colheita do nitrogênio; ERN, eficiência de remobilização do nitrogênio; ANPA, absorção do nitrogênio pós antese; CV, coeficiente de variação; AS, acurácia seletiva. ^{ns}, * e **, são valores não significantes e significantes a 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente.

O rendimento de grãos (RG) foi superior nos cultivares modernos, em todas as doses de nitrogênio (N) avaliadas (Figura 1A). Os ganhos em RG no período de 1940 a 2009 foram de 0,54, 0,74, 0,74 e 0,82% ano⁻¹ nas doses de 0, 60, 120 e 180 kg N ha⁻¹, respectivamente (Figura 4.1B). O maior ganho genético em rendimento de grãos dos cultivares modernos, principalmente em doses de adubação nitrogenada mais elevada, corrobora com resultados de outros estudos

(CALDERINI et al., 1995; BRANCOURT-HULMEL et al., 2003; GUARDA et al., 2004).

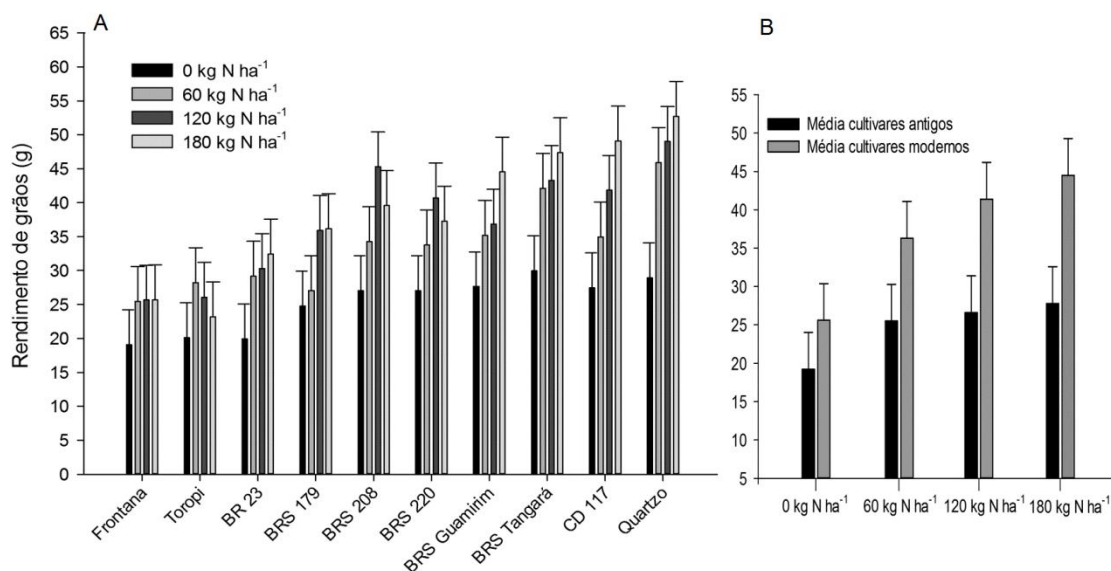


Figura 4.1 - Rendimento de grãos (A) rendimento de grãos médio dos genótipos (B), em 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009 em 4 doses de nitrogênio, no ano de 2011. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

As barras no topo das colunas representam o DMS a 5% para comparação dos valores.

Os cultivares modernos apresentaram uma maior eficiência de uso do nitrogênio (EUN), em comparação aos cultivares antigos, em todas as doses de N (Figura 4.2A). Ocorreu uma grande variação de resposta dos genótipos para EUN (amplitude de 10 a 75 g de grão por g de N), valores estes semelhantes aos observados por Sylvester-Bradley e Kindred (2009). Contudo, não se observou aumento da EUN com a elevação das doses de N, pelo contrario, a EUN diminuiu, provavelmente devido ao aumento gradual do rendimento de grãos com o uso do N (LOPÉZ-BELLIDO; LOPÉZ-BELLIDO, 2001; ZHAO et al., 2006; RAHIMIZADEH et al., 2010).

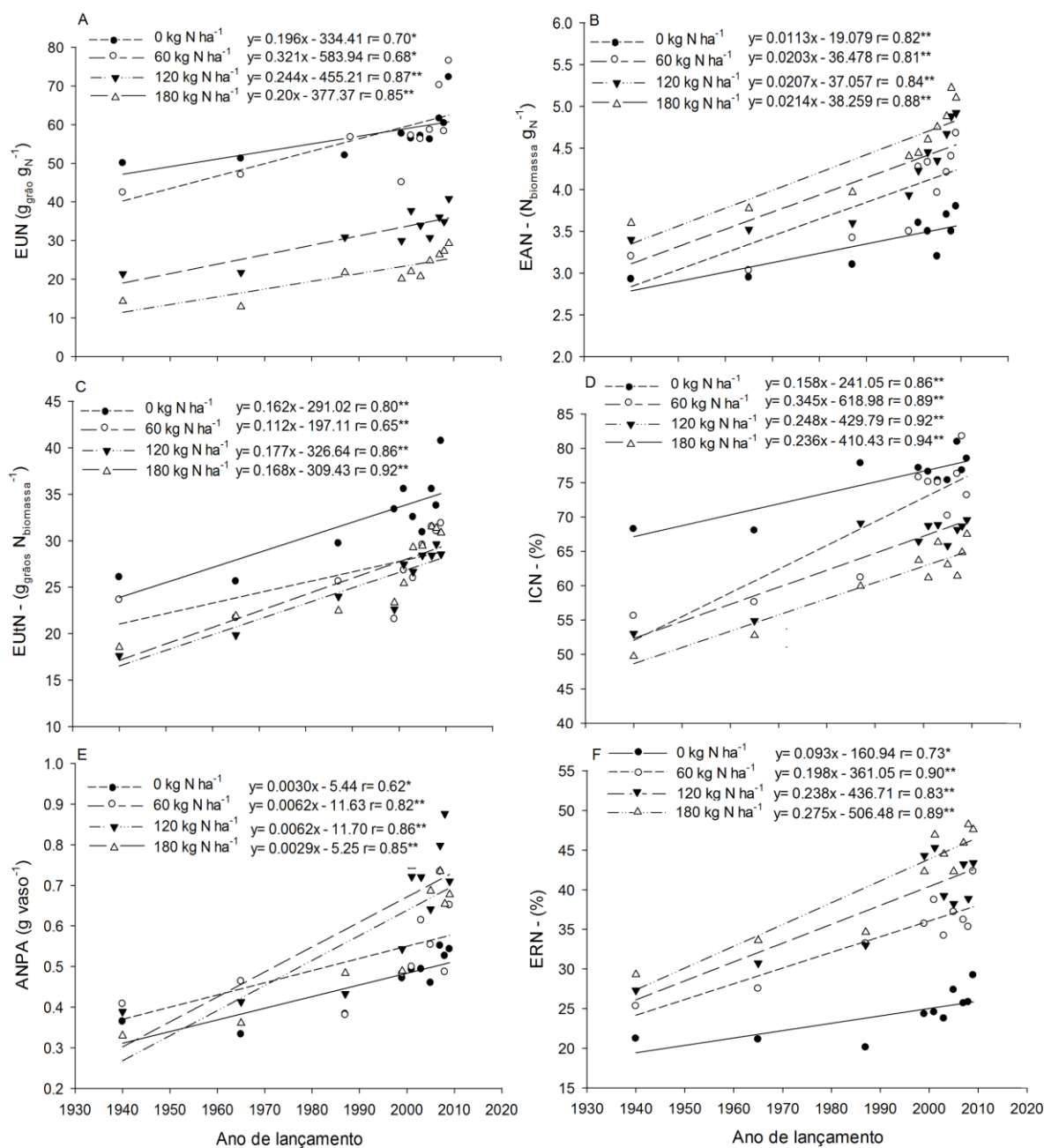


Figura 4.2 Eficiência do uso do nitrogênio para grãos – EUNg (A), Eficiência de absorção do nitrogênio – EAN (B), Eficiência de utilização do nitrogênio – EUN (C), Índice de colheita de nitrogênio – ICN (D), absorção de nitrogênio pós-antese – ANPA (E) e eficiência de remobilização de nitrogênio – ERN (F) de 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

** e * são valores significativos a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t.

A eficiência de absorção de nitrogênio (EAN) mostrou um aumento forma linear no período de 1940 a 2009, em todas as doses de N testadas (N0, $r = 0,82$, N60, $r = 0,81$, N120, $r = 0,84$, N180, $r = 0,88$). A EAN foi maior nas doses de 120N e 180N em comparação às doses de 0N e 60N (Figura 4.2B), corroborando

com Barraclough et al. (2010) e Guarda et al. (2004). O aumento da EAN se explica devido à associação entre EAN e o N total na biomassa em antese (NTA, $r=0,82$) e o N total na biomassa total na maturação fisiológica (NTM, $r=0,83$) (Figuras 4.3C e D). Esses resultados demonstram que no período de 1940 e 2009, houve um aumento na capacidade e captar e armazenar N do solo, corroborando com Giunta et al. (2007), Sylvester-Bradley e Kindred (2009) e Sadras e Lawson (2013).

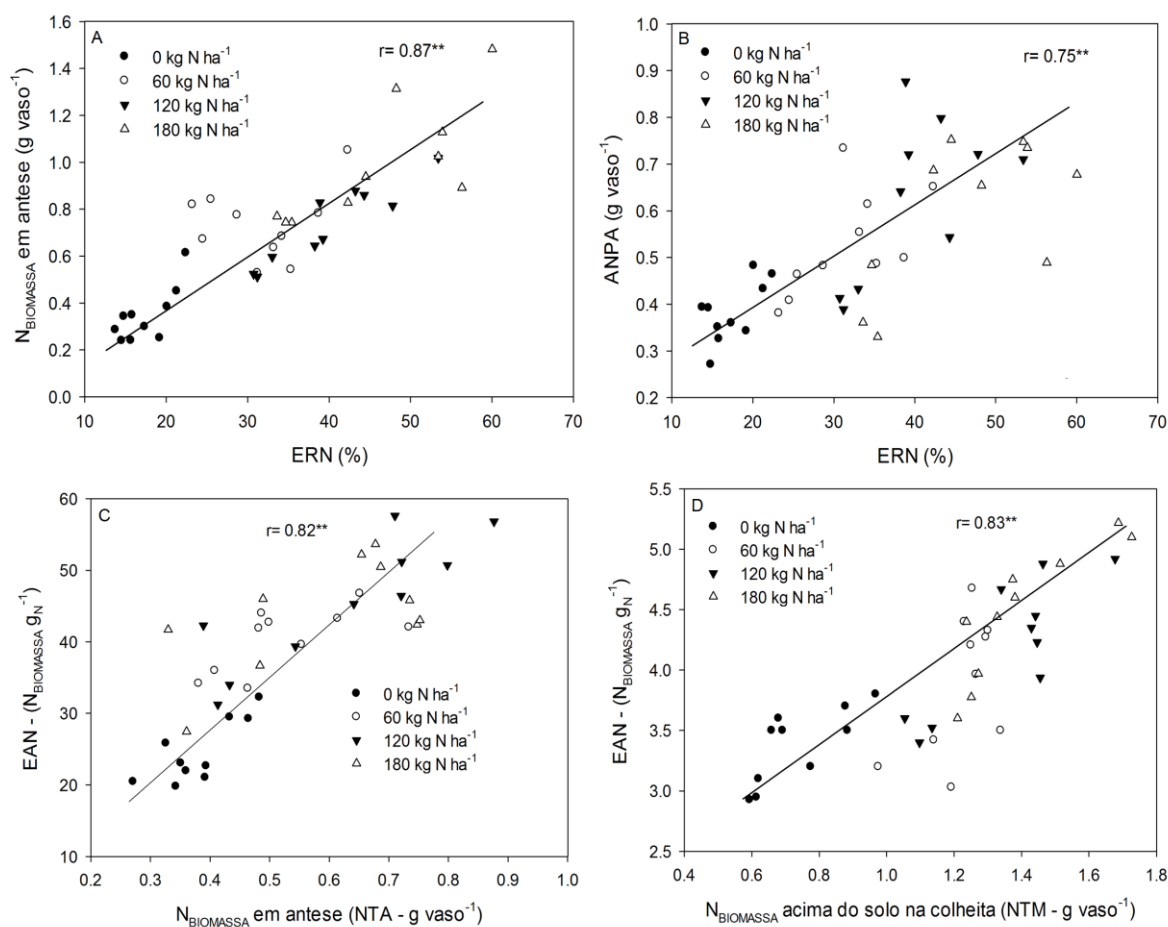


Figura 4.3 - Associação entre NTA e ERN (A), ANPA e ERN (B), EAN e NTA (C), EAN e NTM (D) em 10 cultivares de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

NTA, nitrogênio total na biomassa acima do solo em antese; ERN, eficiência de remobilização do nitrogênio; ANPA, absorção de nitrogênio pós-antese; ICN, índice de colheita de nitrogênio; NTG, nitrogênio total no grão; EAN, eficiência de absorção e nitrogênio; NTM, nitrogênio total na biomassa acima do solo na maturação. ** são valores significantes a 1% de probabilidade, pelo teste t.

A eficiência de utilização do nitrogênio (EUtN) aumentou no período de 1940 a 2009 (N0, $r=0,80$, N60, $r=0,65$, N120, $r=0,86$, N180, $r=0,92$), corroborando com Górnny et al. (2006) e Guarda et al. (2004). Os valores máximos de EUtN foram alcançados na dose de 0N (27 a 42 $\text{g}_{\text{grão}} \text{g}_{\text{Nbiomassa}}^{-1}$) e os mínimos nas doses de 60, 120 e 180 N (16 a 30 $\text{g}_{\text{grão}} \text{g}_{\text{Nbiomassa}}^{-1}$) (Figura 4.2C). Delogu et al. (1998) observaram

que a EUtN diminuiu com o aumento da dose de adubação nitrogenada. Estes resultados sugerem que o ICN e a ERN (Figura 4.2D e 4.2F) não responderam eficientemente nas doses acima de 60 kg N ha^{-1} (RAHIMIZADEH et al., 2010).

O aumento da EUtN no período de 1940 a 2009, em todas as doses de nitrogênio avaliadas, se deveu ao aumento no índice de colheita de nitrogênio (ICN – Figura 4.2D) corroborando com Calderini et al. (1995) e Brancourt-Hulmel et al. (2003) observaram que o ICN foi aumentado pelo melhoramento ao longo do tempo. Os valores de ICN variam de 50 a 80%, semelhantes aos encontrados por Barraclough et al. (2010) e Gaju et al. (2011).

A eficiência de remobilização de nitrogênio (ERN, Figura 4.2F) foi incrementada no período de 1940 a 2009, influenciando diretamente no aumento do ICN. Gorjanovic et al. (2010) relatam que quanto maior remobilização do N para os grãos, maior é o ICN, otimizando a eficiência de uso. Os valores de ERN variaram de 20 a 45%, corroborando com Barbottin et al. (2005) e Bancal (2009). A absorção de nitrogênio pós-antese (ANPA) também aumentou linearmente no período de 1940 a 2009 (Figura 4.2E), com valores máximos nas doses de 120N e 180N, corroborando com Gaju et al. (2011).

A EAN foi o componente que mais se associou com a EUN em baixa dose de N (N_0 , $r = 0,75$, Tabela 4.4), enquanto em altas doses de N tanto EAN (N_{60} , $r = 0,76$; N_{120} , $r = 0,84$; N_{180} , $r = 0,87$) como a EUtN (N_{60} , $r = 0,75$; N_{120} , $r = 0,86$; N_{180} , $r = 0,88$) se associaram com a EUN (Tabela 4.4), corroborando com outros estudos (ORTIZ-MONASTERIO et al., 1997; FOULKES et al., 1998; LE GOUIS et al., 2000; MUURINEN et al., 2006). Estes resultados indicam que quando a dose de N é baixa ou nula, a habilidade de absorver o N do solo é essencial para aumentar a EUN e o rendimento de grãos, porém, quando o N não é o fator limitante, tanto a eficiência de absorção como a de utilização estão associadas com o aumento da EUN e rendimento de grãos. Ortiz-Monasterio et al. (1997) propuseram selecionar genótipos em níveis médios de fertilidade, visando identificar genótipos com maior EUN, devido a contribuição da EUtN e da EAN.

Tabela 4.4 Coeficientes de correlação linear entre eficiência de uso do nitrogênio e eficiência de absorção e utilização do nitrogênio para diferentes doses de nitrogênio, em 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009, UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

	Dose N	EAN	EUtN
EUN	0 N	0,75*	0,67*
	60 N	0,76*	0,75*
	120 N	0,84**	0,86**
	180 N	0,87**	0,88**

EUN, eficiência do uso do nitrogênio; EAN, eficiência de absorção do nitrogênio; EUtN, eficiência de utilização do nitrogênio. ** e * são valores significativos a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t.

A ERN foi positivamente associada com o incremento da quantidade de nitrogênio na biomassa em antese – NTA ($r= 0,87$, Figura 4.3A) e com a absorção de nitrogênio pós-antese – ANPA ($r= 0,75$, Figura 4.3B), corroborando com os estudos de Kichey et al. (2007), Masoni et al. (2007) e Bancal (2009). O ICN foi positivamente associado à ERN e a ANPA (Figura 4.4 A, B), indicando que o incremento do ICN poderia ser alcançado aumentando-se a eficiência fisiológica de utilização ou a absorção de nitrogênio em pós-antese. Contudo, destaca-se que o ICN foi associado a ERN apenas em doses elevadas (N60, $r= 0,75$; N120, $r= 0,77$; N180, $r= 0,83$). Estes resultados reforçam a hipótese de que em baixas doses de N a absorção de nitrogênio esta associada a EUN, enquanto em altas doses de N, a absorção e utilização do N estão igualmente associadas a EUN.

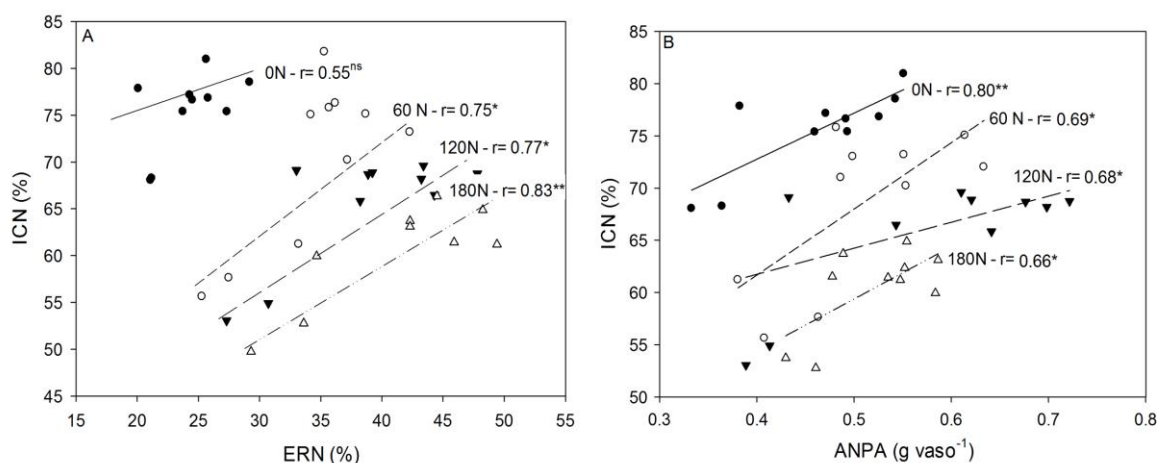


Figura 4.4. Associação entre índice de colheita de nitrogênio (ICN) e eficiência da remobilização de nitrogênio - ERN (A), e absorção de nitrogênio pós-antese – ANPA (B) em 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

** , * e ^{ns} são valores significantes a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, pelo teste t.

A fração aparente de recuperação de nitrogênio (FARN) variou de 4% a 15% na dose de 180N, 7% a 45% na dose de 120N e 24% a 60% na dose de 60N (Figura 4.5A). Guarda et al. (2004) que encontraram valores de FARN variando 14% a 56% em baixa disponibilidade de N (80 kg N ha^{-1}) e de 8% a 34% em alta disponibilidade (160 kg N ha^{-1}). Quanto maior a dose de N utilizada menor é sua recuperação, devido principalmente a perdas por lixiviação (RILEY et al., 2001), volatilização (MA et al., 2010) e baixa EAN (Figura 4.2B).

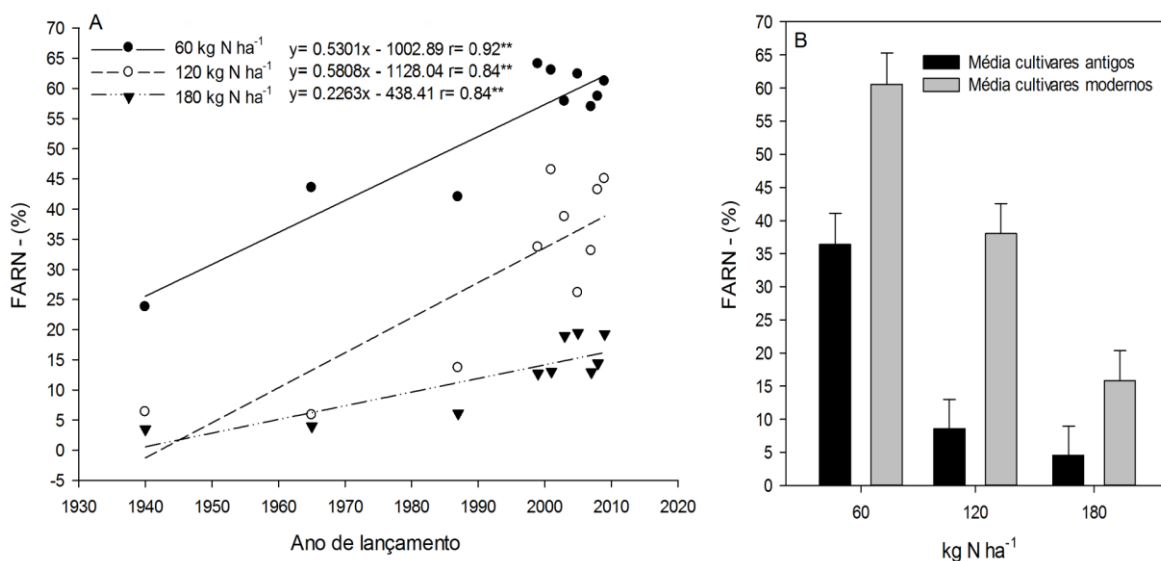


Figura 4.5 Fração aparente de recuperação de nitrogênio – FARN (A e B), de 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

** são valores significantes a 1% de probabilidade, pelo teste t. As barras no topo das colunas representam o DMS a 5% para comparação dos valores.

Os cultivares modernos, em todas as doses de N avaliadas, comparados aos antigos, apresentaram um FARN superior de 24% em 180N, 30% em 120N e 10% em 60N (Figura 4.5B). Esse incremento na FARN sugere mudanças na capacidade de absorção de nitrogênio, possivelmente ligadas à raiz (KING et al., 2003; FOULKES et al., 2004) e a tendência de cultivares modernos de apresentar um maior período de perfilhamento, aumentando o período de absorção de N (FOULKES et al., 1998). O incremento da capacidade de armazenar N em massa verde (folhas e colmos) ajuda explicar esses resultados. Na Figura 4.6 é possível observar que os cultivares modernos armazenaram mais N em antese que os cultivares antigos, em todas as doses de N avaliadas.

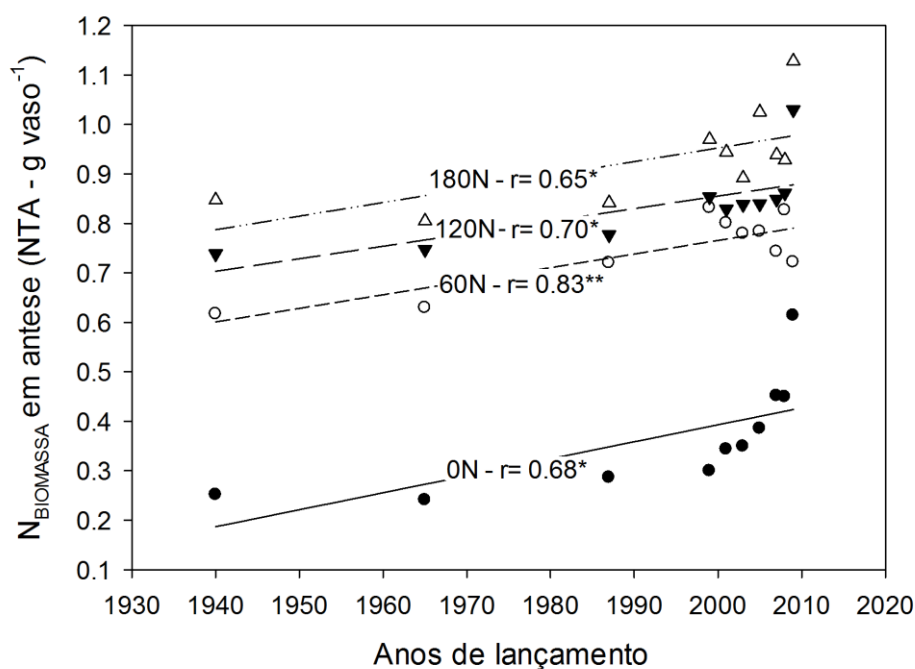


Figura 4.6 - Nitrogênio total acumulado na biomassa acima do solo em antese (NTA) de 10 genótipos de trigo lançadas entre 1940 e 2009. UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

** e * são valores significantes a 1 e 5% de probabilidade, pelo teste t a GL-2.

O índice de resposta a eficiência de utilização do nitrogênio (IR EUtN), representa a habilidade fisiológica das plantas em responderem a cada unidade adicional de nitrogênio absorvido (FAGERIA; BALIGAR, 1993), sendo considerado um importante componente para adaptação a ambientes com baixo nível de N (GÓRNY et al., 2011). Na Figura 4.7A encontram-se os cultivares antigos e modernos plotados em um biplot, onde a primeira entrada é o rendimento de grãos em baixo N (RG em baixo N) e a segunda é o IR EUtN, sendo possível agrupar os matérias em quatro quadrantes (grupos) de resposta. Os cultivares modernos CD 117, BRS Guamirim, BRS 208, Quartzo e BRS Tangará enquadraram-se como eficientes e responsivos (Quadrante 2), ou seja, produzem bem em baixa dose de N e são capazes de responder eficientemente ao incremento de N disponível. Os cultivares BRS 220, BRS 179 e BR 23 enquadraram-se como não eficientes e responsivos (Quadrante 1), ou seja, possuem um limite máximo de rendimento em baixo N e apresentam uma reduzida habilidade de utilizar eficientemente cada unidade de N adicional. Os cultivares antigos Frontana e Toropi enquadraram-se como não eficientes e não responsivos (Quadrante 4).

Do ponto de vista prático, os cultivares que respondem bem a aplicação de N e possuem rendimento de grãos superior em baixo nível de N, são

considerados os melhores. Sendo assim, os cultivares presentes nos quadrantes 2 e 3 são considerados os materiais ideais para programas de melhoramento que visem adaptação a baixas entradas de N no sistema (FAGERIA; BALIGAR, 1997).

Além disso, a plotagem entre IR EUtN e o índice de tolerância a baixo N (Figura 4.7B), indica que os cultivares modernos Quartzo, BRS Tangará, BRS 220, BRS 208 são tolerantes ao baixos níveis de N e eficientes (Quadrante 2), já os cultivares BRS Guamirim , CD 117, BRS 179 e BR 23 são responsivos mas não toleram baixo nível de N (Quadrante 1). O grupo formado pelos cultivares antigos, Frontana, Toropi (Quadrante 3), mostrou-se tolerante ao baixo N, porém não eficiente em utilizar o nutriente.

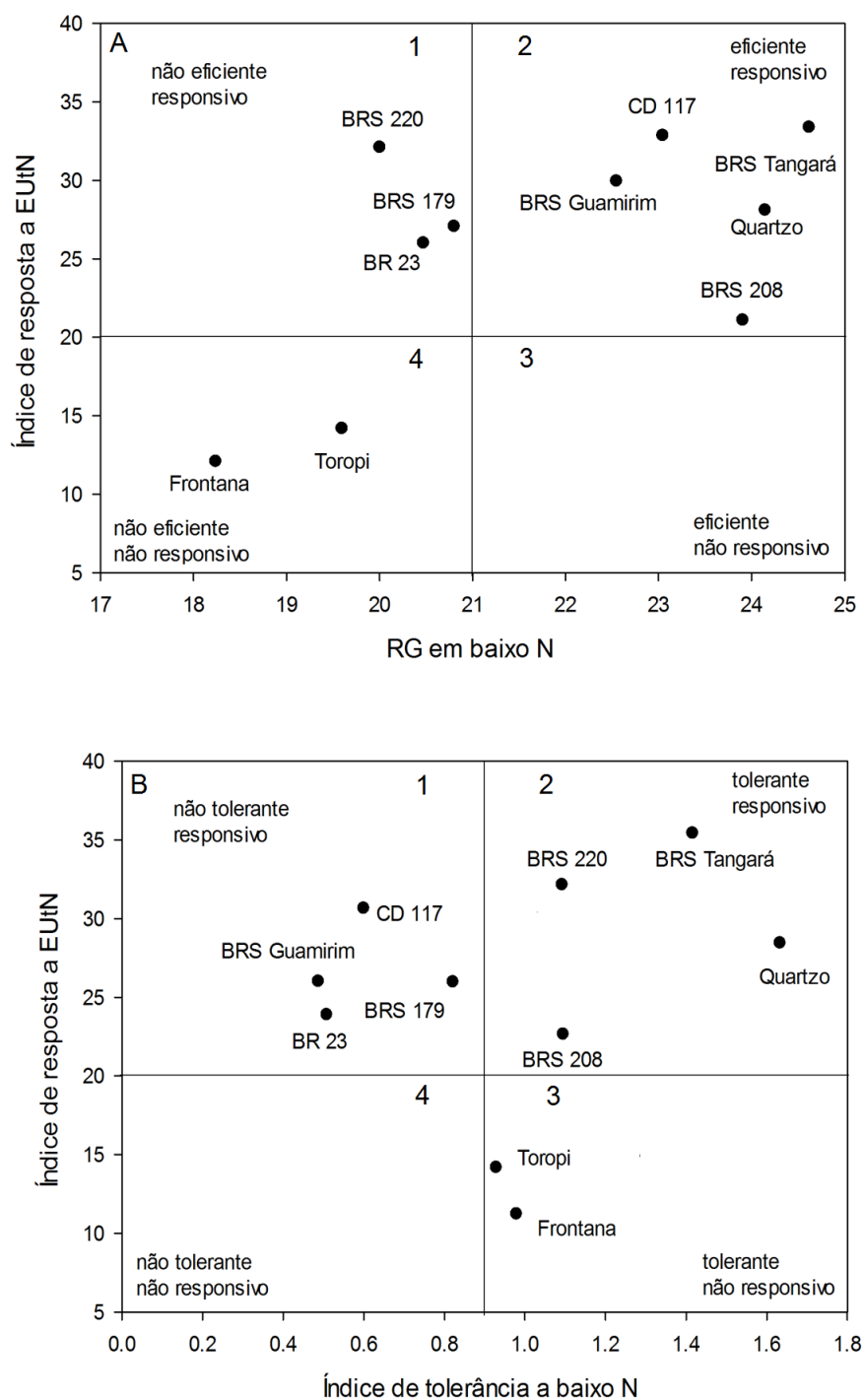


Figura 4.7 Plotagem dos cultivares antigos e modernos em, rendimento de grãos em baixo N e índice de resposta a EUtN (A) e índice de tolerância a baixo N e índice de resposta a EUtN (B). UTFPR, Pato Branco – PR, 2013.

Índice de resposta a EUtN representa a habilidade fisiológica da planta em utilizar cada unidade adicional de N absorvido no incremento da eficiência.

Em resumo os biplots (Figura 4.7A e 4.7B) mostram que os cultivares disponibilizados para cultivo recentemente (Quartzo, CD 117, BRS Tangará, BRS 220, BRS 208 e BRS Guamirim) foram mais eficientes no uso do nitrogênio e mais tolerantes a baixas doses em comparação ao grupo formado pelos cultivares BRS 179, BR 23, Toropi e Frontana.

A caracterização de cultivares quanto a EUN é de extrema importância para aumento do uso racional do nitrogênio. Este estudo indica que a eficiência de absorção e utilização do nitrogênio estiveram associadas ao incremento de eficiência do uso do nitrogênio no período de 1940 a 2009. Contudo, há a necessidade de haver mais estudos, principalmente no entendimento da translocação, remobilização e ciclagem do nutriente na planta.

4.6 CONCLUSÕES

Houve um incremento do rendimento de grãos no período de 1940 a 2009, sendo acompanhado de um aumento da eficiência de uso do nitrogênio.

O progresso alcançado na eficiência de uso do nitrogênio foi associado a eficiência de absorção de nitrogênio em baixas doses de N e a eficiência de utilização e absorção do N em altas doses.

Os cultivares mais recentemente disponibilizados para cultivo (Quartzo, CD 117, BRS Tangará, BRS 220, BRS 208 e BRS Guamirim) foram mais eficientes no uso do nitrogênio e mais tolerantes a baixas doses.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manipulação do período entre a espiguetta terminal e a antese (alongamento), sem aumentar o período de florescimento, é vislumbrado como uma estratégia útil ao aumento do rendimento de grãos em cultivares modernos. Contudo, seu uso como critério de seleção em programas de melhoramento ainda é pouco utilizado.

O ganho de rendimento de grãos nas últimas décadas esteve associado ao aumento do índice de colheita, número de grãos, redução da estatura e aumento do rendimento biológico, contudo atualmente, o ganho genético vem decrescendo, sendo necessário usar novas estratégia de seleção. Neste contexto, o incremento do aparato fotossintético pode ser uma ferramenta interessante para maximizar a partição de fotoassimilados para os grãos.

O ganho em eficiência de uso do nitrogênio alcançado pelo melhoramento ao longo dos anos foi significativo, contudo com as atuais quantidades de nitrogênio aplicadas na cultura, se faz necessário aumentar a eficiência de utilização do nitrogênio em altas doses de N. Para isso, o aumento da absorção até antese e a maximização da eficiência de remobilização do nitrogênio são estratégias viáveis para aumento da absorção e utilização do nutriente, respectivamente.

Por fim, os resultados deste estudo indicam que para a seleção de genótipos superiores e continuidade de obtenção de progresso genético, é necessário utilizar estratégias de seleção multidisciplinares, envolvendo fisiologia, genética molecular, melhoramento de plantas e práticas de manejo.

REFERÊNCIA

ABBATE, P.E.; F.H.; ANDRADE, L.; LAZARO, J.H.; BARIFFI, H.G.; BERARDOCCO, V.H.; MARTURANO, F. Grain yield increase in recente Argentine wheat cultivars. **Crop Sci**, v. 38, p. 1203–1209, 1998.

ACRECHE, M.M.; BRICENO-FELIX, G.; SANCHEZ, J.; SLAFER, G.A. Physiological bases of genetic gains in Mediterranean bread wheat yield in Spain. **Eur J Agron** v. 28, p. 162–170, 2008.

ÁLVARO, F.; ISIDRO, J.; VILLEGAS, D.; GARCÍA DEL MORAL, L.F.; ROYO, C.. Breeding effects on grain filling, biomass partitioning, and remobilization in Mediterranean durum wheat. **Agron. J.**, v. 100, p. 361–370, 2008a

ÁLVARO, F.; ROYO, C.; GARCÍA DEL MORAL, L.F.; VILLEGAS, D. Grain filling and dry matter translocation responses to source–sink modifications in a historical series of durum wheat. **Crop Science**, v. 48, p. 1523–1531, 2008b.

PEDRO, A.; SAVIN, R.; PARRY, M.A.J.; SLAFER, G.A. Selection for high grain number per unit stem length through four generations from mutants in a durum wheat population to increase yields of individual plants and crops. **Field Crops Research** v. 129, p. 59–70, 2012.

ARAUS, J. L.; SLAFER, G. A.; ROYO, C.; SERRET, M. D. Breeding for Yield Potential and Stress Adaptation in Cereals. **Critical Reviews in Plant Science**, v. 27, p. 377–412, 2008.

AUSTIN, R.B. Yield of winter wheat in the United Kingdom: recent advances and prospects. **Crop Science**, v. 39, p. 1604–1610. 1999.

BANCAL, P. Decorrelating source and sink determinism of nitrogen remobilization during grain filling in wheat. **Annals of Botany**, v. 103, p. 1315–1324, 2009.

BARBOTTIN, A.; LECOMTE, C.; BOUCHARD, C.; JEUFFROY, M-H. Nitrogen Remobilization during Grain Filling in Wheat: Genotypic and Environmental Effects. **Crop Sci**, v. 45, p. 1141–1150, 2005.

BARRACLOUGH, P.B.; HOWARTH, J.R.; JONES, J.; LOPEZ-BELLIDO, R.; PARMAR, S.; SHEPHERD, C.E.; HAWKESFORD, M.J. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 1–11, 2010.

BORRAS, L.; SLAFER, G.A.; OTEGUI, M.E. Seed dry weight response to source–sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. **Field Crops Research**, v. 86, p. 131–146, 2004.

BRANCOURT-HULMEL, M.; DOUSSINAULT, G.; LECOMTE, C.; BÉRARD, P.; LE BUANEC, V.; TROTTET, M. Genetic Improvement of agronomic traits of winter wheat cultivars released in France from 1946 to 1992. **Crop Sci**, v. 43, p. 37–45, 2003.

CALDERINI, D.F.; TORRES-LEON, S.; SLAFER, G.A. Consequences of wheat breeding on nitrogen and phosphorus yield grain nitrogen and phosphorus concentration and associated traits. **Ann. Bot.**, v. 76, p. 315–322, 1995.

CONAB – Companhia Nacional do Abastecimento. Acessado em: 29/01/2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2#this&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos. 2013.

CRUZ, C.D. **Programa Genes**: Aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001, 648p.

DE VITA, P.; NICOSIA, O.L.D.; NIGRO, F.; PLATANI, C.; RIEFOLO, C.; FONZO, N. DI; CATTIVELLI, L. Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. **Eur. J. Agron.**, v. 26, p. 39–53. 2007.

DONALD, C.M. Competitive plants, communal plants, and yield in wheat crops. In: UT. Evans and W.J. Peacock (Editors), *Wheat Science - Today and Tomorrow*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 223-247, 1981.

DRECCER, M.F.; VAN HERWAARDEN, A.F.; CHAPMAN, S.C. Grain number and grain weight in wheat lines contrasting for stem water soluble carbohydrate concentration. **Field Crops Res**, v. 112, p. 43–54, 2009.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Upland rice genotypes evaluation for phosphorus use efficiency. **J Plant Nutr.**, v. 20, p. 499–509, 1997.

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: *WORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES*, 1993, Lincoln. Proceedings. Lincoln: INSTOR MIL, 1993. p.142-159.

FANG Y.; LIU, L.; XU, B.C.; LI, F.M. The relationship between competitive ability and yield stability in an old and a modern winter wheat cultivar. **Plant Soil**, v. 347, p. 7–23, 2011.

FISCHER, R.A.; EDMEADES, G.O. Breeding and cereal yield progress. **Crop Science**, v. 50, p 85–98, 2010.

FISCHER, R.A.; REES, D.; SAYRE, K.D.; LU, Z.M.; CONDON, A.G.; SAAVEDRA, A.L. Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate, and cooler canopies. **Crop Sci.**, v. 38, p. 1467–1475, 1998.

FISCHER, R.A. Wheat physiology: a review of recent developments. **Crop and Pasture Science**, v. 62, p. 95–114, 2011.

FISCHER, R.A. Selection traits for improving yield potential. p. 148–159. *In* M.P. Reynolds et al. (ed.) Application of physiology in wheat breeding. CIMMYT, Mexico, DF. 2001.

FISCHER, R.A. Understanding the physiology basis of yield potential in wheat. **Journal of Agricultural Science**, v. 145, p. 99–113, 2007.

FISCHER, R.A. The importance of grain or kernel number in wheat: a reply to Sinclair and Jamieson. **Field Crops Res.** V. 105, p. 15–21, 2008.

FLOOD, P. J.; HARBINSON, J.; AARTS, M. G.M. Natural genetic variation in plant photosynthesis. **Trends in Plant Science**, v. 16, n. 6, p. 327–335, 2011.

FOULKES, M. J.; HAWKESFORD, M. J.; BARRACLOUGH, P. B.; HOLDSWORTH, M. J.; KERR, S.; KIGHTLEY, S.; SHEWRY, P. R. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. *Field Crops Research* n. 114. p.329–342. 2009.

FOULKES, M.J.; SLAFER, G.A.; DAVIES, W.J.; BERRY, P.M.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; MARTRE, P.; CALDERINI, D.F.; GRIFFITHS, S.; REYNOLDS, M.P. Raising yield potential of wheat. III. Optimizing partitioning to grain while maintaining lodging resistance. **J. Exp. Bot.**, v. 62, p. 469–486, 2011.

FOULKES, M.J.; SNAPE, J.W.; SHEARMAN, V.J.; REYNOLDS, M.P.; GAJU, O.; SYLVESTER-BRADLEY, R. Genetic progress in yield potential in wheat: Recent advances and future prospects. **J. Agric. Sci.**, v. 145, p. 17–29, 2007.

FOULKES, M.J.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; SCOTT, R.K. Evidence for differences between winter wheat cultivars in acquisition of soil mineral nitrogen and uptake and utilisation of applied fertilizer nitrogen. **J. Agric. Sci.**, v. 130, p. 29–44, 1998.

FOULKES, M.J.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; WORLAND, A.; SNAPE, J. Effects of a photoperiod sensitivity gene Ppd-D1 on yield potential and drought resistance in UK winter wheat. **Euphytica**, v. 135, p. 63–74, 2004.

GAJU, O.; ALLARD, V.; MARTRE, P.; SNAPE, J. W.; HEUMEZ, E.; LEGOUIS, J.; MOREAU, D.; GRIFITHS, S.; ORFORD, S.; HUBBART, S.; FOULKES, M. J.; BOGARD, M. Identification of traits to improve the nitrogen-use efficiency of wheat genotypes. **Field Crops Research**, v. 123, p. 139–152, 2011.

GARCÍA, G.A.; SERRAGO, R. A.; APPENDINO, M.L; LOMBARDO, L.A.; VANZETTI, L. S.; MARCELO HELGUERA, M; MIRALLES, D.J. Variability of duration of pre-anthesis phases as a strategy for increasing wheat grain yield. **Field Crops Research**, v. 124, p. 408–416, 2011.

GIUNTA, F.; MOTZO, R.; PRUNEDDU, G. Trends since 1900 in the yield potential of Italian-bred durum wheat cultivars. **Europ. J. Agronomy**, v. 27, p. 12–24, 2007.

GONZALEZ, F.G.; SLAFER, G.A.; MIRALLES, D.J. Vernalization and photoperiod responses in wheat pre-flowering reproductive phases. **Field Crops Research**, v. 74, p. 183–195, 2002.

GONZÁLEZ, F. G.; TERRILE, I. I.; FALCÓN, M. O. Spike Fertility and Duration of Stem Elongation as Promising Traits to Improve Potential Grain Number (and Yield): Variation in Modern Argentinean Wheats. **Crop Sci**, v. 51, 2011.

GONZÁLEZ, F.G.; SLAFER, G.A.; MIRALLES, D.J. Grain and floret number in response to photoperiod during stem elongation in fully and slightly vernalized wheats. **Field Crops Res**, v. 81, p. 17–27, 2003.

GONZÁLEZ, F.G.; SLAFER, G.A.; MIRALLES, D.J., Photoperiod during stem elongation in wheat: is its impact on fertile floret and grain number determination similar to that of radiation? **Funct. Plant Biol.** v. 32, p. 181–188, 2005.

GORJANOVIC, B.; KRALJEVIH-BALALIH, M.; JANKOVIH, S. Environmental Effects on Associations among Nitrogen Use Efficiency Traits in Wheat. **Cereal Research Communications**, v. 38, p. 146–153, 2010.

GÓRNY, A. G.; GARCZYNSKI, S.; BANASZAK, Z.; ŁUGOWSKA, B. Genetic variation in the efficiency of nitrogen utilization and photosynthetic activity of flag leaves among the old and modern germplasm of winter wheat. **Journal of Applied Genetics**. v. 47, p. 231–237. 2006.

GORNY, A. G.; LUGOWSKA, B.; BANASZAK, Z.; RATAJCZAK, D. Inheritance of the efficiency of nitrogen uptake and utilization in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under diverse nutrition levels. **Euphytica**, v. 177, p. 191–206. 2011.

GRAYBOSCH, R. A.; PETERSON, C. J. Genetic Improvement in Winter Wheat Yields in the Great Plains of North America, 1959–2008. **Crop Sci.**, v. 50, p. 1882–1890, 2010.

GRIFFITHS, S.; SIMMONDS, J.; LEVERINGTON, M.; WANG, Y.; FISH, L.; SAYERS, L.; ALIBERT, L.; ORFORD, S.; WINGEN, L.; HERRY, L.; FAURE, S.; LAURIE, D.; BILHAM, L.; SNAPE, J.; Meta-QTL analysis of the genetic control of ear emergence in elite European winter wheat germplasm. **Theor. Appl. Genet.**, v. 119, p. 383–395, 2009.

GUARDA, G.; PADOVAN, S.; DELOGU, G.; Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. **European Journal of Agronomy**, v. 21, p. 181–192, 2004.

GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ, M.; REYNOLDS, M.P.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment II. Traits associated with genetic gains in yield. **Field Crops Research**, v. 66, p. 51-62, 2000.

HIREL, B.; LE GOUIS, J.; NEY, B.; GALLAIS, A.; The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 2369–2387, 2007.

ISIDRO, J.; ALVARO, F.; ROYO, C.; VILLEGAS, D.; MIRALLES, D. J.; MORAL, L. F. G. DEL. Changes in duration of developmental phases of durum wheat caused by breeding in Spain and Italy during the 20th century and its impact on yield. **Annals of Botany**, v. 107, p. 1355–1366, 2011.

JIANG, G.M.; GUO, R.J.; SUN, J.Z.; BAI, K.Z.; LIU H.Q.; GAO L.M.; QU, C.M.; KUANG, T.Y.; WANG K.J. Changes in the rate of photosynthesis accompanying the yield increase in wheat cultivars released in the past 50 years. **J Plant Res**, v. 116, p. 347–354, 2003.

KATERJI, N.; MASTRORILLI, M.; RANA, G. Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. **Europ. J. Agronomy**, v. 28, p. 493–507, 2008.

KING, J.; GAY, A.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; BINGHAM, I.; FOULKES, M.J.; GREGORY, P.; ROBINSON, R., Modelling cereal root systems for water and nitrogen capture: towards an economic optimum. **Ann. Bot.**, v. 91, p. 383–390, 2003.

KIRBY, E.J.M.; APPLEYARD, M. **Cereal development guide**. Stoneleigh, UK: NAC Cereal Unit, 1984.

KIRBY, E.J.M.; SPINK, J.H.; FROST, D.L.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; SCOTT, R.K., FOULKES, M.J.; CLARE, R.W.; EVANS, E.J. A study of wheat development in the field: analysis by phases. **European Journal of Agronomy**, v. 11, p. 63–82, 1999.

KUTMAN, U. B.; YILDIZ, B.; CAKMAK, I. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. **Plant and Soil**, v. 342, n. 1-2, p. 149–164, 2011.

LE GOUIS, J.; BEGHIN, D.; HEUMEZ, E.; PLUCHARD, P. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v. 12, p. 163–173, 2000.

LOPES, M. S.; REYNOLDS, M. P.; MANES, Y.; SINGH, R. P.; CROSSA, J.; BRAUN, H. J. Genetic Yield Gains and Changes in Associated Traits of CIMMYT Spring Bread Wheat in a “Historic” Set Representing 30 Years of Breeding. **Crop Sci.** v. 52, p. 1123 – 1131, 2012.

LOPEZ-BELLIDO, R. J; LOPEZ-BELLIDO, L. Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. **Field Crops Research**, v. 71, p. 31-46, 2001.

MASCLAUX-DAUBRESSE, C.; DANIEL-VEDELE, F.; DECHORGNAT, J.; CHARDON, F.; GAUFICHON, L.; SUZUKI, A. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. **Annals of Botany**, p. 1-17, 2010.

MASONI, A.; ERCOLI, L.; MARIOTTI, M.; ARDUINI, I. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type. **Europ. J. Agronomy**, v. 26, p. 179–186, 2007.

MIRALLES, D.J.; SLAFER, G.A. Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced?. **Journal of Agricultural Science**, v. 145, p. 139–149, 2007.

MIRALLES, D.J.; SLAFER, G.A. Yield, biomass and yield components in dwarf, semi-dwarf and tall isogenic lines of spring wheat under recommended and late sowing dates. **Plant Breeding**, v. 114, p. 392–396, 1995.

MIRALLES, D.J.; SLAFER, G.A. Wheat development In: "**Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination**" (E.H. Satorre & G.A. Slafer, Eds), ISBN 1-56022-874-1, Food Product Press, New York, pp: 13-43, 1999.

MIRALLES, D.J.; RICHARDS, R.A.; SLAFER, G.A. Duration of stem elongation period influences the number of fertile florets in wheat and barley. **Aust. J. Plant Physiol**, v. 27, p. 931–940, 2000.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 562–564, 1982.

MOTZO, R.; GIUNTA, F. The effect of breeding on the phenology of Italian durum wheats: From landraces to modern cultivars. **Europ. J. Agronomy**, v. 26, p. 462–470, 2007.

MUURINEN, S.; SLAFER, G.A.; PELTONEN-SAINIO, P. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. **Crop Sci.** V. 46, p. 561–568, 2006.

NERSON, H.; SIBONY, M.; PINTHUS, M. J.; Short communications – a scale for the assessment of the developmental stages of the wheat (*Triticum aestivum* L.) spike. **Annals of Botany**, v. 45, p. 203-204, 1980.

ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; SAYRE, K.D.; RAJARAM, S.; MCMAHON, M. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. **Crop Science**, v. 37, p. 898–904, 1997.

PARRY, M.; REYNOLDS, M.; SALVUCCI, M.; RAINES, C.A.; ANDRALOJC, P.J.; ZHU, X.G.; PRICE, G.D.; CONDON, A.G.; FURBANK, R.T. Raising yield potential of wheat. II. Increasing photosynthetic capacity and efficiency. **J. Exp. Bot.**, v. 62, p. 453–467, 2011.

PEDRO, A.; SAVIN, R.; HABASH, D. Z.; SLAFER, G. A. Physiological attributes associated with yield and stability in selected lines of a durum wheat population. **Euphytica**, v. 180, p. 195–208, 2011.

RAHIMIZADEH, M.; KASHANI, A.; ZARE-FEIZABADI, A.; KOOCHEKI, A. R.; NASSIRI-MAHALLATI, M. Nitrogen use efficiency of wheat as affected by preceding crop, application rate of nitrogen and crop residues. **AJCS**, v. 4(5), p. 363-368, 2010

RAWSON, H.M. An upper limit for spikelet number in wheat, as controlled by photoperiod. **Australian Journal of Agriculture Research**, v. 22, p. 537–546, 1971.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p. 182-194, 2007.

REYNOLDS, M.P.; ACEVEDO, E.; SAYRE, K.D.; FISHER, R.A. Yield potential in modern varieties: its association with a less competitive ideotype. **Field Crops Research**, v. 37, p. 149–160, 1994.

REYNOLDS, M.P.; BORLAUGH, N.E. Impacts of breeding on international collaborative wheat improvement. **Journal of Agricultural Science**, v. 144, p. 3–17, 2006.

REYNOLDS, M.; BONNETT, D.; CHAPMAN, S.C.; FURBANK, R. T.; MANES, Y. MATHER, D. E.;PARRY M. A. J. Raising yield potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 2, pp 439–452, 2011.

REYNOLDS, M.P.; DELGADO, M.I.; GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ, M.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment I: Genetic diversity and crop productivity. **Field Crops Research**, v. 66, p. 37-50, 2000.

REYNOLDS, M.P.; RAJARAM, S.; SAYRE, K.D. Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post-green revolution and approaches for meeting projected global demand. **Crop Sci.** v. 39, p. 1611–1621, 1999.

RIBEIRO, T. L. R.; DA CUNHA, G. R.; PIRES, J. L. F.; PASINATO, A. Respostas fenológicas de cultivares brasileiras de trigo à vernalização e ao fotoperíodo. **Pesq. agropec. bras.**v. 44, n. 11, 2009.

RILEY, W. J.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I.; MATSON, P. A. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite, and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 61, p. 223–236, 2001.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J. C. B.; DIDONET, A. D.; MARCHESE, J. A. Fifty years of wheat breeding in Southern Brazil: yield improvement and associated changes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 817-825, 2007.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J.C.B.; DIDONET, A.D.; ROMAN, E.S. **Desenvolvimento de trigo: efeito da temperatura**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online, 3). **2**

ROYO, C.; VILLEGAS, D.; RHARRABTI, Y.; BLANCO, R.; MARTOS, V.; GARCIA DEL MORAL, L.F. Grain growth and yield formation of durum wheat grown at contracting latitudes and water regimes in a Mediterranean environment. **Cereal Res. Commun.** V. 34, p. 1021–1028, 2006.

ROYO, C.; MARTOS, V.; RAMDANI, A.; VILLEGAS, D.; RHARRABTI, Y.; GARCÍA DEL MORAL, L. F. Changes in Yield and Carbon Isotope Discrimination of Italian and Spanish Durum Wheat during the 20th Century. *Agronomy Journal*, v. 100, 2008.

SADRAS, V.O.; TRÁPANI, N.; PEREYRA, V.R.; LÓPEZ PEREIRA, M.; QUIROZ, F.; MORTARINI, M. Intraspecific competition and fungal diseases as sources of variation in sunflower yield. **Field Crops Research**, v. 67, p. 51–58, 2000.

SADRAS, V. O. A quantitative top-down view of interactions between stresses: theory and analysis of nitrogen-water co-limitation in Mediterranean agro-ecosystems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, p. 1151-1157, 2005.

SADRAS, V.O.; LAWSON, C. Genetic gain in yield and associated changes in phenotype, trait plasticity and competitive ability of South Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. **Crop Pasture Sci.** v. 62, p. 533–549, 2011.

SADRAS, V.O.; LAWSON, C. Nitrogen and water-use efficiency of Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. **Europ. J. Agronomy**, v. 46, p. 34– 41, 2013.

SADRAS, V.O.; LAWSON, C.; MONTORO, A. Photosynthetic traits in Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. **Field Crops Research**, v. 134, p. 19–29, 2012.

SANCHEZ-GARCIA, M.; ÁLVARO, F.; MARTÍN-SÁNCHEZ, J. A.; SILLERO, J. C.; ESCRIBANO, J.; ROYO, C. Breeding effects on the genotype × environment interaction for yield of bread wheat grown in Spain during the 20th century. **Field Crops Research**, v. 126, p. 79–86, 2012a.

SANCHEZ-GARCIA, M., ROYO, C., APARICIO, N., MARTÍN-SÁNCHEZ, J. A., ÁLVARO, F. Genetic improvement of bread wheat yield and associated traits in Spain during the 20th century. *The Journal of Agricultural Science*, 2012b.

SAYRE, K.D.; RAJARAM S.; FISCHER, R.A. Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico. **Crop Science**, v. 37, p. 36–42, 1997.

SERRAGO, R.A.; MIRALLES, D.J.; SLAFER, G.A. Floret fertility in wheat as affected by photoperiod during stem elongation and removal of spikelets at booting. **Eur. J. Agron.**, v. 28, p. 301–308, 2008.

SHARMA, R.C.; CROSSA, J.; VELU, G.; HUERTA-ESPINO, J.; VARGAS, M.; PAYNE, T.S.; SINGH, R.P.; Genetic gains for grain yield in CIMMYT spring bread wheat across international environments, **Crop Science**, v. 52(4), p. 1522-1533, 2012.

SHEARMAN, V.J.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; SCOTT, R.K.; FOULKES, M.J. Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK. **Crop Sci.** v. 45, p. 175–185, 2005.

SLAFER, G.A.; RAWSON, H.M. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: re-examination of some assumptions made by physiologist and modellers. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 21, p. 393–426, 1994.

SLAFER G.A. Wheat development: its role in phenotyping and improving crop adaptation. In *WHEAT Physiological Breeding I: Interdisciplinary Approaches to Improve Crop Adaptation* (eds M. Reynolds, A. Pask & D. Mullan), pp. 107–121. CIMMYT, Mexico, 2012.

SLAFER, G.A.; ABELEDO, L.G.; MIRALLES, D.J.; GONZALEZ, F.G. Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat. **Euphytica**, v. 119, p. 191–197, 2001.

SLAFER, G.A.; ARAUS, J.L.; ROYO, C.; GARCIA DEL MORAL, L.F. Promising eco-physiological traits for genetic improvement of cereal yields in Mediterranean environments. **Annals of Applied Biology**, v. 146, p. 61–70, 2005.

SLAFER, G.A. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. **Ann. Appl. Biol.** v. 142, p. 117–128, 2003.

SLAFER, G.A.; ANDRADE, F.H. Changes in physiological attributes of the dry matter economy of bread wheat (*Triticum aestivum*L.) through genetic improvement of grain yield potential at different regions of the world: A review. **Euphytica**, v. 58, p. 37–49, 1991.

SLAFER, G.A.; ANDRADE, F.H. Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. **Field Crops Res.** v. 31, p. 351–367, 1993.

SONG, L.; LI, F.M.; FAN, X.W.; XIONG, Y.C.; WANG, W.Q.; WU, X.B.; TURNER, N.C. Soil water availability and plant competition affect the yield of spring wheat. **Eur J Agron**, v. 31, p. 51–60, 2009.

STORCK, L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; DAL'COL LUCIO, A.; MISSIO, E. L.; RUBIN, S.A.L. Avaliação da precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de soja. **Ciênc. Agrotec.**, v. 34, p. 572–578, 2010.

SYLVESTER-BRADLEY, R.; KINDRED, D. R. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, v. 60, n. 7, p. 1939–1951, 2009.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2^a ed. Porto Alegre, Departamento de Solos, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. 4

THOMAS J. A.; JEFFREY A. C.; ATSUKO K.; DAVID, M. K. Regulating the proton budget of higher plant photosynthesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. USA 102, 9709–9713, 2005.

TIAN, Z.; JING, Q.; DAI, T.; JIANG, D.; CAO, W. Effects of genetic improvements on grain yield and agronomic traits of winter wheat in the Yangtze River Basin of China. **Field Crops Research**, v. 124, p. 417–425, 2011.

WANG, X.; HU Z.; PENG H.; DU, J.; SUN, Q.; WANG, M.; NI, Z. Relationship of Photosynthetic Carbon Assimilation Related Traits of Flag Leaves with Yield Heterosis in a Wheat Diallel Cross. **Acta Agron Sin**, v. 36(6), p. 1003–1010, 2010.

WANI, B. A.; RAM, M.; YASIN, A.; SINGH, E. Physiological Traits in Integration with Yield and Yield Components in wheat (*Triticum aestivum* L.) Study of their Genetic Variability and Correlation. **Asian Journal of Agricultural Research**. V. 5(3), p. 194–200, 2011.

WHITECHURCH, E.M.; SLAFER, G.A.; MIRALLES, D.J. Variability in the duration of stem elongation in wheat and barley genotypes. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 193, p. 138–145, 2007.

XIAO, Y.G.; QIAN, Z.G.; WU, K.; LIU, J.J.; XIA, X.C.; JI, W.Q.; HE, Z.H. Genetic Gains in Grain Yield and Physiological Traits of Winter Wheat in Shandong Province, China, from 1969 to 2006. **Crop Sci**. v. 52, p. 44–56, 2012.

ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAC, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, p. 415–421, 1974.

ZHANG, H.; TURNER, N. C.; POOLE, M. L. Source–sink balance and manipulating sink–source relations of wheat indicate that the yield potential of wheat is sink-limited in high-rainfall zones. **Crop and Pasture Science** v. 61(10), p. 852-861, 2010.

ZHANG, K.; ZHANG, Y.; CHEN, G.; TIAN, J.. Genetic analysis of grain yield and leaf chlorophyll content in common wheat. **Cereal Research Communications**. v. 37(4), p. 499-511, 2009.

ZHAO, R.F.; CHEN, X.P.; ZHANG, F.S.; ZHANG, H.; SCHRODER, J.; ROMHELD, V. Fertilization and nitrogen balance in a wheat-maize rotation system in North China. **Agron J**, v. 98, p. 935-945, 2006.

ZHENG, T.C.; ZHANG, X.K.; YINA, G.H.; WANG, L.N.; HANA, Y.L.; CHEN, L.; HUANG, F.; TANG, J.W.; XIANG, X.C.; HED, Z.H. Genetic gains in grain yield, net photosynthesis and stomatal conductance achieved in Henan Province of China between 1981 and 2008. **Field Crops Research**, v. 122, p. 225–233, 2011.

ZHOU, Y.; ZHU, H.Z.; CAI, S.B.; HE, Z.H.; ZHANG, X.K.; XIA, X.C.; ZHANG, G.S. Genetic improvement of grain yield and associated traits in the southern China winter wheat region: 1949 to 2000. **Euphytica**, v. 157, p. 465–473, 2007.