

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

RENDIMENTO DE GRÃOS E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CULTIVARES
DE TRIGO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO NITROGENADA TARDIA

Danielle Almeida
Engenheira Agrônoma/UFRGS
Mestre em Fitotecnia/UFRGS

Tese apresentada como um dos requisitos
à obtenção do Grau de Doutor em Fitotecnia
Ênfase Fisiologia e Manejo Vegetal

Porto Alegre (RS), Brasil
Agosto de 2016

CIP - Catalogação na Publicação

Almeida, Danielle
RENDIMENTO DE GRÃOS E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE
CULTIVARES DE TRIGO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO
NITROGENADA TARDIA / Danielle Almeida. -- 2016.
112 f.
Orientador: Christian Bredemeier.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Manejo da adubação. 2. Nitrogênio. 3. Triticum
aestivum. 4. Qualidade. 5. Rendimento de grãos. I.
Bredemeier, Christian, orient. II. Título.

DANIELLE ALMEIDA
Engenheira Agrônoma - UFRGS
Mestre em Fitotecnia - UFRGS

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTOR EM FITOTECNIA

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

Aprovado em: 05.08.2016
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 17.01.2018
Por

CHRISTIAN BREDEMEIER
Orientador - PPG Fitotecnia

CHRISTIAN BREDEMEIER
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia

PAULO REGIS FERREIRA DA SILVA
PPG Fitotecnia/UFRGS

ELIANA MARIA GUARIENTI
EMBRAPA Trigo
Passo Fundo/RS

JOÃO LEONARDO FERNANDES PIRES
EMBRAPA Trigo
Passo Fundo/RS

PAULO VITOR DUTRA DE SOUZA
Diretor em Exercício da
Faculdade de Agronomia

*“Há um tempo em que é preciso abandonar
as roupas usadas, que já tem a forma do
nosso corpo, e esquecer os nossos
caminhos, que nos levam sempre aos
mesmos lugares É tempo de travessia: e, se
não ousarmos fazê-la, teremos ficado para
sempre, a margem de nós mesmos!”*

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, pelas oportunidades e por me conduzir nas melhores escolhas.

Ao Prof. Christian Bredemeier, exemplo de profissional, pela orientação, amizade, paciência e pelos inúmeros ensinamentos durante os seis anos de orientação.

Aos meus pais, Jaime e Suzana, por terem me proporcionado a oportunidade de concluir mais esta etapa em minha vida e terem sempre me apoiado com muito amor e carinho. Esta conquista é mais um fruto da incansável luta de vocês, que nunca mediram esforços para me proporcionar o melhor. Vocês são os exemplos de luta, dignidade e bondade de minha vida.

Aos meus irmãos, Rossana e Tiago, pelo apoio, incentivo e compreensão.

Ao Júnior, pelo carinho, apoio, paciência, compreensão e pelo incentivo em todos os momentos.

À toda minha família (vó, tios, tias, primos e primas), pelo apoio e incentivo, pois sempre foram grandes motivadores nesta caminhada. Em especial ao meu afilhado Fernando e ao meu primo João Vitor.

Ao Moinho Estrela e aos Srs. José Guimarães Martins e Luiz Paulo Bertamani Junior, pela parceria e realização das análises reológicas deste trabalho.

Aos Doutores João Leonardo Fernandes Pires e Eliana M. Guarienti, pesquisadores da EMBRAPA Trigo, e ao Professor Paulo Regis Ferreira da Silva, pela participação na banca examinadora e pelas contribuições a este trabalho.

Aos professores do Departamento de Plantas de Lavoura, pelos tantos ensinamentos, pela minha formação e por me auxiliarem em todos os momentos que tive dúvidas, facilitando meu trabalho.

Aos amigos e colegas de trabalho e aos colegas de Pós-Graduação. Em especial André Luis Vian e as “agroladies”: Catarine, Cecilia, Kelly e Silmara, por toda a ajuda, apoio e amizade.

Aos colegas do IRGA, pelo apoio nessa fase final.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta etapa e para minha formação profissional.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro.

RENDIMENTO DE GRÃOS E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CULTIVARES DE TRIGO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO NITROGENADA TARDIA¹

Autor: Danielle Almeida
Orientador: Christian Bredemeier

RESUMO

A adubação nitrogenada é de fundamental importância em trigo, pois exerce grande influência sobre o rendimento de grãos e a qualidade industrial dos grãos produzidos. Entre as práticas agronômicas, a adubação nitrogenada é considerada como um dos principais fatores que influenciam as proteínas de armazenamento formadoras do glúten, as quais podem influenciar a destinação do trigo como matéria prima para diferentes produtos, como pães, biscoitos e massas alimentícias. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do manejo da adubação nitrogenada no rendimento de grãos, acúmulo de massa seca e nitrogênio nos grãos e sua qualidade tecnológica. Os experimentos foram realizados a campo em 2010, 2011, 2013 e 2014 na EEA/UFRGS (Eldorado do Sul, RS). Em 2010 e 2011 os tratamentos constaram de duas cultivares de trigo classificadas como “pão” (Quartzo e Mirante) e da aplicação ou não de 40 kg N ha⁻¹ adicional no estágio de emborrachamento ou florescimento. Em 2013, os tratamentos constaram de três cultivares de trigo (TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e TBIO Mestre) e da aplicação ou não de 40 kg N ha⁻¹ adicional no estágio de afilhamento, emborrachamento ou florescimento. Em 2014, as cultivares analisadas foram TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e BRS Parrudo e os mesmos tratamentos de 2013. Foram avaliados rendimento de grãos e seus componentes, peso do hectolitro, número de queda, teor de proteína no grão, alveografia (força de glúten (W), tenacidade (P), extensibilidade (L) e relação P/L), farinografia e cor da farinha. O rendimento de grãos foi significativamente incrementado pela dose e não pela época de aplicação dos tratamentos. Entre os componentes do rendimento, o peso de 1.000 grãos apresentou resposta para a aplicação tardia de N (emborrachamento ou florescimento). A relação P/L foi reduzida, em função do aumento na extensibilidade da massa (Valor L). O nitrogênio fornecido no emborrachamento mudou a dinâmica do enchimento de grãos e do acúmulo de N no grão. A cor da farinha escureceu nos tratamentos que receberam N no emborrachamento ou florescimento. A resposta à aplicação de N em estágios tardios de desenvolvimento da cultura varia conforme a cultivar e as condições do ano de cultivo.

¹Tese de doutorado em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (112f.) Agosto, 2016.

GRAIN YIELD AND TECHNOLOGICAL QUALITY OF WHEAT CULTIVARS IN RESPONSE TO NITROGEN LATE FERTILIZATION¹

Author: Danielle Almeida
Adviser: Christian Bredemeier

ABSTRACT

Nitrogen (N) fertilization in wheat can greatly affect grain yield and bread-making quality. N management modifies protein content and composition in wheat grain, determining its different uses. The objective of this work was to evaluate the influence of nitrogen fertilization management on wheat grain yield, dry mass and nitrogen accumulation in the grain and grain technological quality. Field experiments were carried out at EEA/UFRGS (Eldorado do Sul, RS) in 2010, 2011, 2013 and 2014. In 2010 and 2011, treatments consisted of two bread-making cultivars (Quartzo and Mirante) and application of two N rates at booting or flowering (no N or 40 kg N ha⁻¹). In 2013, treatments consisted of three wheat genotypes (TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e TBIO Mestre) and on the application of additional N rate (40 kg ha⁻¹) at tillering, booting or flowering. In 2014, the treatments were the same as in 2013 and the genotypes used were TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e BRS Parrudo. Grain yield and yield components, hectoliter weight, falling number, grain protein content, gluten strength (W), tenacity (P), extensibility (L), relation P/L, farinography and flour color were determined. Grain yield was significantly affected by N fertilization rate and not by time of N application. 1000-grain weight increased with N fertilization at booting or flowering. In general, late N fertilization affected positively grain quality for bread production. relation P/L was reduced, due to an increase on extensibility (Value L). The application of N at booting changed grain filling and N accumulation dynamics in the grain. Flour color was darkened by N fertilization at booting or flowering. The response of late N fertilization at booting or flowering varied according to genotype and year conditions.

¹Doctoral Thesis in Plant Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (112p.) August, 2016.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 Aspectos gerais da cultura do trigo.....	5
2.2 Importância do nitrogênio.....	7
2.2.1 Adubação nitrogenada.....	8
2.3 Qualidade tecnológica do grão.....	9
2.3.1 Glúten.....	10
2.3.1.1 Proteínas formadoras do glúten (gliadinas e gluteninas).....	11
2.3.2 Classificação tecnológica do trigo.....	12
2.3.3 Avaliação da qualidade tecnológica dos grãos de trigo.....	15
2.3.3.1 Alveografia (avaliação da força de glúten - W).....	15
2.3.3.2 Farinografia.....	16
2.3.3.3 Número de queda (Falling number).....	17
2.3.3.4 Peso do hectolitro (PH).....	17
2.4 Influência do nitrogênio na qualidade de grãos de trigo.....	18
2.5 Regiões produtoras de trigo no RS.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Caracterização do ambiente.....	22
3.2 Caracterização dos experimentos.....	23
3.2.1 Cultivares.....	24
3.2.2 Tratamentos.....	26
3.2.3 Variáveis analisadas.....	29
3.3 Análise estatística.....	33
3.4 Condições meteorológicas do período experimental.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 Rendimento de grãos e seus componentes em resposta à adubação nitrogenada.....	41
4.2 Teor de proteína e acúmulo de nitrogênio no grão em função da adubação nitrogenada.....	56
4.3 Qualidade tecnológica de grãos de trigo em resposta à adubação nitrogenada.....	70
4.3.1 Alveografia.....	70
4.3.1.1 Força de glúten (W).....	70
4.3.1.2 Extensibilidade (L), Tenacidade (P) e Relação P/L.....	75
4.3.2 Farinografia.....	80
4.3.2.1 Estabilidade, desenvolvimento e absorção de água.....	80
4.3.3 Número de queda (NQ).....	82
4.3.4 Peso do hectolitro (PH).....	84
4.3.5 Cor da farinha.....	85
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

RELAÇÃO DE TABELAS

	Página
1. Tipificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010.....	13
2. Classificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010.....	13
3. Características físico-químicas das amostras de solo retiradas das áreas experimentais antes da instalação dos experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.....	23
4. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio do experimento realizado no ano de 2010. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2010.....	26
5. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio do experimento realizado no ano de 2011. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2011.....	27
6. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio do experimento realizado no ano de 2013. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2013.....	27
7. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio do experimento realizado no ano de 2014. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2014.....	28
8. Cultivares e variáveis analisadas nos anos de estudo 2010, 2011, 2013 e 2014.....	29
9. Peso de 1000 grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 e 2011.....	46
10. Peso de 1000 grãos das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e BRS Parrudo em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2013 e 2014.....	47
11. Peso final de grão, duração até atingir a 95% peso final de grão e taxa média e máxima de enchimento de grão das cultivares das cultivares TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e Quartzo, sem N adicional ou com N adicional no emborrachamento, em 2013.....	48
12. Número de espigas m ⁻² das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 e 2011.....	52
13. Número de espigas m ⁻² das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e BRS Parrudo em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2013 e 2014.....	53
14. Número de grãos espiga ⁻¹ das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 e 2011.....	54

15. Número de grãos espiga ⁻¹ das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e BRS Parrudo em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento, em 2013 e 2014.....	54
16. Quantidade acumulada de nitrogênio durante o período de enchimento, taxa média e taxa máxima de acúmulo de N nos grãos nas cultivares TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e Quartzo, em função da aplicação ou não de N adicional no estádio do emborrachamento, em 2013. Eldorado do Sul, RS.....	68
17. Parâmetros avaliados na farinografia (absorção de água, desenvolvimento da massa, estabilidade – EST e índice de tolerância à mistura - ITM) da cultivar TBIO Sinuelo, em função das diferentes épocas de aplicação adicional de nitrogênio, em 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.....	81
18. Parâmetros avaliados na farinografia: absorção de água, desenvolvimento da massa, estabilidade (EST.) e índice de tolerância à mistura (ITM) da cultivar TBIO Alvorada, em função das diferentes épocas de aplicação adicional de nitrogênio, em 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.....	81
19. Número de queda das cultivares de trigo TBIO Alvorada e TBIO Sinuelo em função das diferentes épocas de aplicação adicional de nitrogênio, em 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.....	83
20. Peso do hectolitro (PH) das cultivares de trigo TBIO Alvorada e TBIO Sinuelo, em função das diferentes épocas de aplicação adicional de nitrogênio, em 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.....	84
21. Determinação de cor das farinhas de cultivares de trigo pelos parâmetros L*a*b*, sem aplicação adicional de N ou submetidos à aplicação de 40 kg de N ha ⁻¹ no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura, nos anos de 2010, 2011, 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.....	87

RELAÇÃO DE FIGURAS

	Página
1. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2010 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2010.....	35
2. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2011 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2011.....	36
3. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2013 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2013.....	37
4. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2014 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2014.....	38
5. Rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio no estágio de florescimento, em 2010. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	42
6. Rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2011. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	43
7. Rendimento de grãos das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e TBIO Mestre em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento, em 2013. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	44
8. Rendimento de grãos das cultivares de trigo TBIO Mestre, TBIO Sinuelo e BRS Parrudo, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento ou da dose de 40 kg de N ha ⁻¹ (emergência) + 100 kg de N ha ⁻¹ (sexta folha), em 2014. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	45
9. Taxa de acúmulo de matéria seca diária no grão das cultivares de trigo TBIO Alvorada (a), TBIO Sinuelo (b) e Quartzo (c), sem aplicação de N adicional ou com aplicação de N adicional no estágio de emborrachamento. Eldorado do Sul, 2013.	50

10. Teor de proteína nos grãos nas cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função da aplicação de nitrogênio no estágio de florescimento, em 2010. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Eldorado do Sul, RS.....	57
11. Teor de proteína nos grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2011. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Eldorado do Sul, RS.....	58
12. Teor de proteína nos grãos das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e TBIO Mestre, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento, em 2013. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Eldorado do Sul, RS.....	60
13. Teor de proteína nos grãos das cultivares de trigo TBIO Mestre, TBIO Sinuelo e BRS Parrudo, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento ou da dose de 40 kg de N ha ⁻¹ (emergência) e 100 kg de N ha ⁻¹ (sexta folha), em 2014. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	61
14. Variação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) das cultivares de trigo TBIO Sinuelo (a) e TBIO Alvorada (b) entre o início do emborrachamento e durante o enchimento de grãos, em função da aplicação de nitrogênio adicional nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento ou sem aplicação de N adicional, em 2013. Eldorado do Sul, RS. 0=dia do florescimento.....	64
15. Variação do teor relativo de clorofila na folha (leitura do clorofilômetro) nas cultivares de trigo TBIO Sinuelo (a) e TBIO Alvorada (b) durante o enchimento de grãos, em função da aplicação de nitrogênio adicional nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento ou sem aplicação de N adicional, em 2013. Eldorado do Sul, RS.....	66
16. Taxa diária de acúmulo de N nas cultivares de trigo TBIO Alvorada (a), TBIO Sinuelo (b) e Quartzo (c), em função da aplicação ou não de N adicional no estágio do emborrachamento, em 2013. Eldorado do Sul, RS.....	69
17. Força de glúten (W) das diferentes cultivares de trigo utilizadas nos experimentos de 2010, 2011, 2013 e 2014, em função da aplicação adicional de nitrogênio no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	71
18. Tenacidade (P) das diferentes cultivares de trigo utilizadas nos experimentos de 2010, 2011, 2013 e 2014, em função da aplicação adicional de nitrogênio no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.....	76

19. Extensibilidade (L) das diferentes cultivares de trigo utilizadas nos experimentos de 2010, 2011, 2013 e 2014, em função da aplicação adicional de nitrogênio no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS..... 77
20. Relação P/L das diferentes cultivares de trigo utilizadas nos experimentos de 2010, 2011, 2013 e 2014, em função da aplicação adicional de nitrogênio no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS..... 79
21. Relação entre teor de proteína e luminosidade (Valor L*) da farinha de trigo, considerando os experimentos conduzidos em 2010, 2011, 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS..... 89

1 INTRODUÇÃO

A cultura do trigo ocupa lugar de destaque no cenário de produção mundial de grãos, principalmente pelo seu amplo uso na alimentação humana. Características inerentes à cultura geram a matéria prima de inúmeros produtos, como farinha destinada à fabricação de pães, massas e biscoitos e o farelo, usado na alimentação animal, assim como sua utilização na indústria farmacêutica, como o gérmen de trigo.

Entre as culturas de inverno, o trigo é a que apresenta maior área e produção mundial. Na região Sul do Brasil, a rendimento de grãos de trigo apresenta grande oscilação durante os anos de cultivo, fazendo com que a área cultivada também apresente variação entre as diferentes safras.

Inúmeros estresses influenciam a rendimento de grãos da cultura do trigo. Na região Sul do país, se destaca a ocorrência de geadas tardias, no estágio de florescimento da cultura, e o excesso de precipitação pluvial, tanto na fase de crescimento vegetativo quanto na fase reprodutiva, o qual se relaciona a condições de baixa radiação solar, lixiviação de nutrientes do solo, maior incidência de moléstias fúngicas e ocorrência de germinação em pré-colheita. Além disso, a ocorrência de elevadas temperaturas do ar e de deficiências nutricionais também afetam o potencial produtivo da cultura.

Estes fatores, além de interferirem diretamente na produtividade do trigo, podem influenciar na qualidade tecnológica dos grãos, de tal maneira que a planta

não expresse seu potencial genético, produzindo grãos de qualidade diferente da indicada pelo obtentor daquela que se objetiva. Assim, a classificação comercial das cultivares de trigo é um indicativo de qualidade que pode, em muitos casos, não se confirmar, em função da ocorrência ou não destes estresses. O produtor, além de perder pela baixa produtividade, também perde pela desvalorização do produto, uma vez que uma das dificuldades que a comercialização do trigo nacional apresenta dentro do país é o fato de que, em muitos casos, o trigo produzido não é o produto que os moinhos nacionais demandam em relação à qualidade tecnológica. O melhoramento genético está sempre buscando desenvolver novos genótipos indicados para este fim, mas, devido à variabilidade das condições meteorológicas, é difícil o desenvolvimento de cultivares que apresentem total estabilidade para a qualidade tecnológica.

O nitrogênio (N) é um elemento fundamental no metabolismo da planta, sendo constituinte de proteínas, aminoácidos, hormônios, clorofila e inúmeras enzimas. Entre os estresses nutricionais, nota-se grande importância do N para a cultura do trigo, sendo a deficiência deste nutriente um dos principais gargalos para a obtenção de elevadas produtividades, influenciando também a qualidade tecnológica dos grãos.

A adubação nitrogenada é considerada como um dos principais fatores que influenciam as proteínas de armazenamento (formadoras do glúten). Estudos indicam que a aplicação de N pode modificar o conteúdo e a composição das proteínas no grão, as quais são importantes para definir a destinação do trigo como matéria prima para os mais diversos produtos, como, por exemplo, pães, biscoitos e massas alimentícias.

Dependendo da cultivar considerada, a realização de aplicação de fertilizante nitrogenado próxima ao estágio de espigamento ou florescimento da

cultura tem sido recomendada pela empresa obtentora, com o objetivo de aumentar o teor de proteína dos grãos. Esta é uma prática empregada em muitos países nos quais o teor de proteína é estabelecido como critério de comercialização e precificação. Entretanto, no Brasil ainda existe divergência entre os obtentores nessa relação entre qualidade e teor de proteína, uma vez que nem sempre ocorre incremento na qualidade tecnológica com o aumento do teor de proteína no grão. No Brasil, a prática da adubação em cobertura com nitrogênio é adotada, principalmente, como forma de manutenção e maximização do potencial produtivo da cultura do trigo e não visa, diretamente, a melhoria da qualidade final do produto.

Além da busca pela produção de grãos de trigo com melhor qualidade tecnológica, houve, no ano de 2012, mudança na normativa que rege a classificação do trigo no Brasil. Entre essas mudanças, ocorreu a alteração do limite mínimo de força de glúten (W), o qual foi aumentado de $180 \times 10^{-4} J$ para $220 \times 10^{-4} J$ na classe “pão”, e a adição do parâmetro “Estabilidade” como critério de classificação comercial do trigo, além da força de glúten (W) e do número de queda.

Entender se existe incremento na qualidade e no rendimento de grãos de trigo em resposta à aplicação de N em estádios mais tardios do desenvolvimento da cultura (emborrachamento/florescimento) e como essa resposta é influenciada é um desafio que pode, futuramente, auxiliar na tomada de decisão para aprimorar o manejo de nitrogênio nessa cultura.

O presente trabalho objetivou estudar como o manejo tardio da adubação nitrogenada afeta o rendimento de grãos e qualidade tecnológica, para assim servir de ferramenta para desenvolvimento de alternativas que possibilitem melhorar a qualidade dos grãos de trigo produzidos. Neste contexto, as hipóteses

do presente trabalho é que, nitrogênio aplicado nos períodos mais tardios de desenvolvimento da cultura do trigo (emborrachamento e/ou florescimento), não aumenta o rendimento de grãos de trigo, mas pode aumentar o teor de proteína nos grãos de trigo, assim como pode favorecer o enquadramento dos grãos em trigo pão ou trigo melhorador por modificações nos principais parâmetros da qualidade tecnológica. Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Avaliar o efeito da adubação nitrogenada realizada em diferentes épocas de desenvolvimento da cultura sobre o rendimento de grãos e seus componentes.
- Avaliar como a adubação nitrogenada em diferentes épocas de desenvolvimento da cultura afeta o acúmulo de massa seca, proteína e N nos grãos de diferentes cultivares de trigo.
- Identificar os principais parâmetros da qualidade tecnológica de grãos de trigo que são influenciados pelo manejo da adubação nitrogenada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais da cultura do trigo

O trigo (*Triticum aestivum*) é uma planta de ciclo anual, pertencente à família *Poaceae* e ao gênero *Triticum*, cultivada durante os períodos de outono, inverno e primavera na região Sul do País.

A cultura do trigo tem crescimento e desenvolvimento apropriado com temperaturas do ar na faixa de 10°C a 24°C, necessitando de período de baixas temperaturas no início do ciclo e umidade do ar relativamente baixa. Baixas temperaturas do ar são obtidas por efeito de latitude e/ou altitude (regiões com latitudes e/ou altitudes mais elevadas). No entanto, a cultura exige, no restante do ciclo, período com temperaturas um pouco mais elevadas, sem ocorrência de geadas. Nas principais áreas de cultivo deste cereal no mundo, a precipitação pluvial anual varia entre 250 mm e 1.750 mm, com predominância entre 380 mm e 1.130 mm por ano (Mundstock, 1999).

O trigo apresenta grande importância mundial, uma vez que é a segunda cultura produtora de grãos em termos de produção, sendo superado apenas pela cultura do milho. O consumo médio de trigo no Brasil foi de, aproximadamente, 10,3 milhões de toneladas no ano de 2015, sendo que o Brasil importou, em média, 5,17 milhões de toneladas de grãos de trigo (CONAB, 2016). Atualmente, apesar dos avanços na área tecnológica gerados pela pesquisa e do aumento no rendimento de grãos, grande parte do trigo consumido no Brasil ainda é

importada. Isto tem como uma das causas principais a instabilidade da produção brasileira de trigo no que se refere à qualidade da farinha, dificultando, desta maneira, sua comercialização e destinação (Tonon, 2010).

O grão de trigo é consumido na forma de pão, massa alimentícia, bolo e biscoito ou, também, como ração animal, quando não atinge a qualidade exigida para consumo humano. No Brasil, aproximadamente 52% da farinha de trigo produzida é utilizada para panificação industrial, 21% para uso doméstico, 16% para fabricação de massas alimentícias e 11% para fabricação de biscoitos (ABITRIGO, 2012).

A produtividade de trigo varia conforme as condições meteorológicas de cada ano de cultivo. A região Sul, apesar de ser a maior produtora de trigo, responsável por mais de 90 % da produção do país, apresenta maior instabilidade de produtividade que as demais regiões. Um exemplo é o que aconteceu nas safras de 2013, 2014 e 2015 no Estado do Rio grande do Sul, no qual a média de produtividade foi de 3.060, 1.330 e 1.700 kg ha⁻¹, respectivamente. Isso mostra a variabilidade das condições de produção entre os anos. Devido ao grande risco de produção no estado do RS, a área cultivada apresenta variação conforme o ano, sendo que esta vem apresentando redução nas safras de 2014 e 2015. Além disso, as estimativas de área cultivada com trigo, na safra de 2016, indicam redução de 11,2% no Rio Grande do Sul (CONAB, 2016).

Além do problema causado diretamente na produtividade, as perdas na cultura do trigo são ainda maiores do que em outras culturas, pois os grãos devem apresentar características de qualidade tecnológica inerente à cultura e estas são muito sensíveis e variáveis conforme, as cultivares, condições meteorológicas, manejo da adubação, controle fitossanitário, entre outros. Nas safras de 2014 e 2015, grande parte do trigo colhido não apresentou qualidade

para uso no seu fim principal, sendo o grão muitas vezes vendido a preços mais baixos a países com menor rigor no controle de qualidade (CONAB, 2016).

A exigência de qualidade do produto é crescente, sendo uma tendência o aumento no uso de cultivares de trigo classificadas como “pão” e “melhorador”, visando aumentar a competitividade no mercado e a obtenção de preços mais elevados. Os produtores estão buscando utilizar cultivares classificadas como trigo “pão” e trigo “melhorador” para atender a esta demanda seletiva, sendo que aproximadamente 90% das cultivares de trigo utilizadas no Rio Grande do Sul são classificadas nas classes “pão” e “melhorador” (CONAB, 2016).

2.2 Importância do nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes mais importantes para as plantas cultivadas, pois participa diretamente dos processos de crescimento e desenvolvimento, desempenhando inúmeras funções na fisiologia da planta.

Este elemento é constituinte de paredes celulares, clorofila, proteínas, ácidos nucléicos e outros componentes da célula. A deficiência de nitrogênio na planta causa clorose das folhas, devido à redução do conteúdo de clorofila. Além disso, sua deficiência resulta em folhas menores e em menor afilamento, rendimento de grãos e teor de proteína nos grãos (Harper, 1994), bem como promove redução na taxa fotossintética por unidade de área foliar e menor disponibilidade de aminoácidos (Shangguan *et al.*, 2000).

Apesar da sua importância fisiológica, em regiões tropicais e subtropicais, devido ao grande número de reações a que está sujeito e a sua alta instabilidade no solo, o nitrogênio é um dos nutrientes mais difíceis de serem manejados (Ernani, 2003). Devido a esse fato, o manejo do N deve ser o mais eficiente

possível, utilizando-se doses adequadas nos períodos indicados de desenvolvimento da planta.

2.2.1 Adubação nitrogenada

O rendimento de grãos médio obtido em lavouras comerciais de cereais de estação fria no Estado do RS está aquém do seu potencial (Variani, 2011). A interação de condições meteorológicas e manejo resulta em variações, de ano para ano, no potencial produtivo de grãos e na necessidade de nitrogênio pelos cereais de estação fria (Cassman *et al.*, 2002). Em trigo, a construção do potencial produtivo e da qualidade tecnológica é dependente do correto emprego das práticas culturais. Entre estas, destacam-se a dose e a época de aplicação de nitrogênio, de acordo com condições específicas de cada lavoura (Mundstock, 1999).

A indicação de adubação nitrogenada em espécies produtoras de grãos apresenta inúmeros desafios, em função da dificuldade de prever-se a quantidade de N mineralizado pelo solo a partir da matéria orgânica e da alta mobilidade do nitrato no perfil do solo. Além disso, normalmente existe grande variabilidade espacial do teor de nitrato e da capacidade de suprimento de N pelo solo, bem como do estado nutricional das plantas em relação ao N em condições de lavoura. Além disso, os valores de N mineral no solo podem variar entre regiões e dentro de uma mesma região, bem como durante o ciclo de desenvolvimento das culturas (Poletto *et al.*, 2008).

Atualmente, a indicação de adubação nitrogenada para a cultura do trigo no estado do Rio Grande do Sul utiliza o teor de matéria orgânica do solo, a cultura antecessora (leguminosa ou poácea) e o rendimento esperado (expectativa de rendimento) para determinação da dose total de N a ser aplicada

(Cunha *et al.*, 2016). Essa indicação possibilita que o produtor estime de maneira simples a quantidade de nitrogênio a ser utilizada em sua lavoura, mas não é totalmente precisa, uma vez que os processos envolvidos na dinâmica deste nutriente são muito influenciados pelo ambiente (Argenta & Silva, 1999).

A relação entre nutrição e produção é de fundamental importância para todas as culturas, mas a adubação nitrogenada é particularmente importante em trigo, pois influencia o conteúdo e a composição das proteínas armazenadas no grão, o que designa a destinação do trigo como matéria prima para determinados produtos e sua qualidade para produção de pães e de outros produtos alimentícios (Godfrey *et al.*, 2010). Neste sentido, a tecnologia que se tem disponível atualmente, em relação à utilização de fertilizantes nitrogenados para produção de trigo no Sul do Brasil, foi desenvolvida levando-se em consideração apenas aspectos relacionados à produtividade da cultura. Desta maneira, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias que dizem respeito ao manejo da fertilização nitrogenada em trigo que propiciem igualmente a obtenção de elevados rendimento de grãos e de grãos de elevada qualidade tecnológica (Rodrigues *et al.*, 2010a).

2.3 Qualidade tecnológica do grão

O conceito de qualidade tecnológica de grãos (e da farinha) de trigo é o somatório de diferentes características que, em conjunto, fazem com que estes sejam apropriados para uma respectiva finalidade (Tonon, 2010). A qualidade do grão de trigo é dependente das interações que a cultura sofre no campo, das condições do solo, clima, condições meteorológicas, incidência de pragas e moléstias, manejo da cultura e genótipo utilizado, bem como das operações de colheita, secagem, armazenamento e moagem (Pomeranz, 1987).

A farinha de trigo, ao ser misturada com água, tem capacidade de formar uma massa capaz de reter o gás carbônico produzido durante a fermentação, o que gera aumento do volume do pão. Isso ocorre, pois, o trigo é um cereal cuja farinha possui propriedades do glúten, apresentando, assim, maior aptidão para o processo de panificação (Mandarino, 1993). Na prática, o termo glúten refere-se às proteínas gliadinas e gluteninas, as quais desempenham papel fundamental na determinação da qualidade de panificação, conferindo capacidade de absorção de água, coesividade, viscosidade e elasticidade à massa (Torbica *et al.*, 2007).

2.3.1 Glúten

O glúten é composto pela mistura de cadeias proteicas longas de gliadinas e gluteninas. A função das proteínas que compõem o glúten é fornecer reservas de carbono, nitrogênio e enxofre para suprir as necessidades de nutrientes durante o processo de germinação do grão. Sendo assim, as proteínas formadoras do glúten são classificadas como proteínas de reservas (Tonon, 2010).

As proteínas do glúten são divididas em dois grupos, segundo sua solubilidade em solução de etanol-água, sendo as gliadinas solúveis e as gluteninas insolúveis nesta solução (Katagiri *et al.*, 2011). Estas duas frações proteicas constituem cerca de 80-85% das proteínas do grão de trigo (Shewry *et al.*, 1995) e são importantes contribuintes para as propriedades reológicas da massa, apresentando funções distintas.

As proteínas do glúten estão entre as mais complexas encontradas na natureza, devido à sua composição e à variabilidade causada por genótipo, condições de cultivo e processos tecnológicos (Weiser, 2007). A qualidade tecnológica do trigo e a composição das proteínas do glúten são determinadas

inicialmente pelo genótipo. No entanto, essas características são fortemente influenciadas pelo ambiente durante o período de enchimento de grãos. As variáveis ambientais com maior influência sobre desenvolvimento do grão de trigo, a acumulação de proteínas e a deposição de amido são, principalmente, a nutrição mineral (especialmente nitrogênio e enxofre), a temperatura e a precipitação (Altenbach *et al.*, 2003).

2.3.1.1 Proteínas formadoras do glúten (gliadinas e gluteninas)

As proteínas de reserva do grão são constituídas por aproximadamente 50% de gliadinas, enquanto que entre 10% e 40% são subunidades de gluteninas de alto peso molecular (APM) e baixo peso molecular (BPM), respectivamente (Payne *et al.*, 1984).

As gliadinas são proteínas monoméricas que possuem pouca elasticidade e são menos coesas do que as gluteninas. Dessa maneira, a sua principal função se relaciona com a viscosidade e a extensibilidade da massa (Wieser, 2007). As gliadinas apresentam peso molecular entre 28,000 e 55,000 e inicialmente eram separadas em quatro categorias, com base na sua mobilidade em baixo pH em gel de electroforese ($\alpha > \beta > \gamma > \omega$) (Wrigley *et al.*, 2006). Novos estudos sobre sequências de aminoácidos tem demonstrado que a mobilidade em eletroforese nem sempre reflete as relações de proteínas e que as α - e β -gliadinas pertencem a um mesmo grupo (Tipo α/β). Métodos modernos, como a eletroforese bidimensional e a cromatografia de fase reversa (RP-HPLC), permitem uma separação mais precisa das frações de gliadina (Wieser, 2007).

As gluteninas são proteínas poliméricas, sendo classificadas de acordo com seu peso molecular, possuindo subunidades de alto (APM) e de baixo peso molecular (BPM). As gluteninas são coesas e elásticas e são responsáveis pela

resistência da massa (Wieser, 2007). As BPM representam a maior parte do total de gluteninas presentes no endosperma do grão de trigo, entretanto recebem menos atenção por parte dos pesquisadores que as APM. As APM, embora sejam um dos componentes minoritários das proteínas do endosperma do grão de trigo, são primordiais no processo de panificação, por serem o principal determinante da elasticidade do glúten (Georget *et al.*, 2008).

O balanço entre as proteínas formadoras de glúten é responsável pelas propriedades físicas da massa, tais como força, extensibilidade e capacidade de expansão (Naeem *et al.*, 2012). Sendo assim, a relação entre essas duas frações proteicas nos grãos de trigo é fator determinante na qualidade final do produto (Weiser, 2007).

Vários estudos têm mostrado que o aumento dos níveis de nitrogênio no grão de trigo são associado ao aumento das proporções de gliadinas, resultando em aumento na capacidade de extensão da massa. No entanto, o efeito da adubação nitrogenada na composição das proteínas do grão não é consistente, variando entre cultivares (Pechanek *et al.*, 1997). Dessa maneira, é necessário entender o que ocorre com os genótipos utilizados no país quando são submetidos à adubação nitrogenada tardia, realizada próxima ao florescimento da cultura.

2.3.2 Classificação tecnológica do trigo

Os diferentes produtos que possuem a farinha de trigo como matéria prima exigem características físico-químicas e reológicas específicas para que este produto final apresente as características desejadas pelo consumidor. Desta maneira, sendo a farinha obtida a partir do trigo, pode-se dizer que, para a

fabricação de vários produtos, são necessários diferentes tipos de grãos de trigo (Guarienti, 2009).

A partir de julho de 2012, a classificação de trigo passou por mudanças e atualmente segue a Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010 (Brasil, 2010) (Tabelas 1 e 2).

TABELA 1. Tipificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010.

Tipo	Peso do hectolitro (kg hl ⁻¹)	Matérias estranhas/ impurezas (% máx.)	Defeitos (% máxima)			Total de defeitos (% max.)
			Danificado por insetos	Pelo calor, mofados e ardidos	Chochos, triguilhos e quebrados	
1	78	1,00	0,50	0,50	1,50	2,00
2	75	1,50	1,00	1,00	2,50	3,50
3	72	2,00	2,00	2,00	5,00	7,00
Fora de tipo	<72	>2,00	>2,00	10,00	>5,00	>7,00

Fonte: Brasil (2010).

TABELA 2. Classificação do trigo destinado à moagem e a outras finalidades, segundo Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010.

Classe	Força do glúten (x10 ⁻⁴ J) (valor mínimo)		Estabilidade (minutos)	Número de queda (s) (valor mínimo)
Melhorador	300	e	14	250
Pão	220	ou	10	220
Doméstico	160	ou	6	220
Básico	100	ou	3	200
Outros usos	Qualquer		Qualquer	Qualquer

Fonte: Brasil (2010).

Em relação à tipificação, os grãos de trigo eram classificados, anteriormente, pelas normas contidas na Instrução Normativa nº 7 (Brasil, 2001), em três tipos, expressos por números de 1 a 3 e definidos em função do limite mínimo do peso do hectolitro (PH) e dos limites máximos dos percentuais de umidade, matérias estranhas e impurezas e grãos avariados. Na Instrução

Normativa nº 38 (Brasil, 2010), os mesmos tipos foram mantidos, sendo incluído um tipo denominado “fora de tipo” (Tabela 1).

Em relação à classificação, o trigo anteriormente era classificado em cinco classes (“brando”, “pão”, “melhorador”, “outros usos” e “*durum*”), as quais eram definidas em função dos valores dos testes de alveografia (força de glúten - W) e número de queda (*Falling number*). Na Instrução Normativa nº38 (Brasil, 2010), os grãos continuam sendo divididos em cinco classes, porém com diferentes denominações (“melhorador”, “pão”, “doméstico”, “básico” e “outros usos”) e critérios, sendo que o parâmetro “Estabilidade” entrou como critério de classificação (Tabela 2). A classe “pão” teve o limite mínimo de força de glúten (W) aumentado de 180×10^{-4} J para 220×10^{-4} J. Para ser enquadrado na classe “melhorador”, o grão de trigo deve atender simultaneamente os valores mínimos estabelecidos para força do glúten (W), estabilidade da massa e número de queda. Já para ser enquadrado nas demais classes, o grão deve apresentar os valores mínimos estabelecidos para força do glúten ou estabilidade e número de queda (Brasil, 2010).

A destinação dos grãos de trigo varia conforme sua classificação. O trigo classificado como “doméstico” é utilizado na fabricação de bolos, biscoitos doces, produtos de confeitaria, pizzas e massas do tipo caseira fresca. A classe tipo “pão” engloba grãos de trigo com aptidão para produção de pães (tipo francês ou d'água) e também podem ser utilizados para a produção de massas alimentícias secas e folhados ou em uso doméstico, dependendo de suas características de força de glúten (W). Já o trigo enquadrado na classe “melhorador” é normalmente utilizado em misturas com grãos de genótipos de trigo “doméstico”, para fins de panificação e produção de massas alimentícias, biscoitos do tipo *crackers* e pães industriais (pão de forma e pão para hambúrguer). Na classe do trigo *durum*,

especificamente os grãos da espécie *Triticum durum* L., estão os genótipos de trigo para produção de massas alimentícias secas. Grãos de trigo classificados na classe “outros usos” são os destinados à alimentação animal ou algum outro uso industrial (Scheeren & Miranda, 1999).

2.3.3 Avaliação da qualidade tecnológica dos grãos de trigo

A qualidade tecnológica dos grãos é avaliada por meio de testes físico-químicos, como peso do hectolitro e número de queda (*Falling number*), e testes reológicos, tais como alveografia e farinografia. Existem adicionalmente outros testes utilizados para avaliar a qualidade tecnológica de grãos de trigo, os quais não serão abordados no presente trabalho.

2.3.3.1 Alveografia (avaliação da força de glúten – W)

A alveografia é um teste reológico que simula, graficamente, o comportamento da farinha durante a fase de fermentação no processo de panificação, sendo realizado por equipamento denominado alveógrafo (Tonon, 2010). Este teste analisa as propriedades de tenacidade (Valor P), que indica a pressão máxima necessária para expandir a massa, e extensibilidade (Valor L), que indica a capacidade máxima de extensão da massa, sem que ela se rompa.

Através desse teste, é quantificado o parâmetro “W” (força de glúten), que indica a força ou trabalho mecânico ($W = \text{work} = \text{trabalho}$) necessário para expandir a massa. A relação entre a tenacidade e a extensibilidade da massa (relação P/L) expressa o equilíbrio da massa (Embrapa, 2016).

2.3.3.2 Farinografia

A farinografia é um dos testes mais completos e sensíveis para avaliação da qualidade de mistura e absorção de água da massa da farinha de trigo (Guarienti, 1996).

O aparelho utilizado para a realização desta análise chama-se farinógrafo, que gera um gráfico denominado farinograma. Em uma primeira etapa, a quantidade de água acrescentada indica a absorção de água pela farinha em questão. Esta absorção é um indicativo da quantidade de água necessária para a produção do pão oriundo desta farinha. Já a segunda etapa consiste no farinograma propriamente dito, sendo que o gráfico apresenta no eixo da abcissa (Eixo x) o tempo, expresso em minutos e, no eixo da ordenada, a consistência da massa, em unidades Brabender (U.B.) ou unidade farinográfica (U.F.) (escala de 0 a 1.000). A análise farinográfica se efetua para uma consistência fixa de massa de 500 UB's (UFRGS, 2016).

Os parâmetros de qualidade medidos através do farinograma são:

Absorção de água: é a quantidade de água necessária a ser adicionada à farinha, para que esta adquira consistência padrão na linha de 500 unidades Brabender, sendo expressa em percentual.

Tempo de desenvolvimento da massa (TDM): É o intervalo de tempo contado a partir da primeira adição de água ao ponto de máxima consistência (500 unidades Brabender). Na prática, o tempo de desenvolvimento da massa indica o tempo que o profissional de panificação dispõe para determinar o percentual de absorção de água da farinha que está trabalhando, de modo a deixar a massa com a consistência ideal para a fabricação de pães (Guarienti, 1996).

Estabilidade (EST): É a diferença de tempo entre o ponto onde o topo da curva intercepta primeiramente a linha de 500 UB (tempo de chegada) e o ponto onde o

topo da curva centra exatamente a linha dos 500 UB (tempo de saída). A estabilidade fornece um indicativo da resistência que a massa possui ao tratamento mecânico e ao tempo do processo fermentativo na fabricação do pão (Guarienti,1996).

Índice de tolerância à mistura (ITM): É a diferença, expressa em unidades farinográficas, entre o topo da curva no pico e o topo da curva medido cinco minutos após o pico ser alcançado. Este índice fornece informações sobre a maior ou menor tolerância da massa à mistura (Guarienti,1996).

2.3.3.3 Número de queda (*Falling number*)

O número de queda (*Falling number*) é uma avaliação indireta da atividade da enzima alfa-amilase presente no grão de trigo. Através deste teste, pode-se detectar a ocorrência de germinação dos grãos na espiga (germinação pré-colheita), fato que diminui a qualidade do grão, pois, quando ocorre ativação da enzima alfa-amilase, esta degrada o amido acumulado no grão, inviabilizando o emprego da farinha resultante para fins industriais.

Através deste teste é possível prever o comportamento da farinha durante a etapa de fermentação da massa no processo de panificação. Assim, por meio desse índice, pode-se estimar a capacidade de fermentação que a massa de uma determinada farinha possui (Cazetta *et al.*, 2008). Quanto menor o número de queda, maior o teor de enzima presente na farinha.

2.3.3.4 Peso do hectolitro (PH)

O peso do hectolitro é o peso de 100 litros de grãos e expressa, indiretamente, atributos de qualidade de grãos, em especial aqueles relacionados à moagem.

Na determinação do peso do hectolitro estão relacionadas inúmeras características do grão, como forma, textura do tegumento, tamanho, peso e características extrínsecas ao grão de trigo, como presença de palha, terra e outras matérias estranhas misturadas aos grãos. Valores muito baixos de peso do hectolitro podem indicar ocorrência de estresses na lavoura que tenham afetado o enchimento de grãos e, em consequência, sua qualidade (Guarienti, 1996).

O peso do hectolitro é tradicionalmente utilizado como parâmetro de comercialização em vários países, sendo que, no caso de trigo, o peso do hectolitro básico considerado é de 78 kg hl⁻¹. O preço padrão que é fixado ao trigo pressupõe este valor, sendo que o desvio deste valor para cima ou para baixo determina acréscimo ou diminuição do preço pago por determinado lote de grãos de trigo, respectivamente. O preço diferencial relaciona-se ao rendimento de extração de farinha, pois grãos que apresentam peso de hectolitro acima de 78 kg/hl resultam em maior rendimento de extração de farinha no moinho (Mundstock, 1999). A simplicidade e a rapidez na avaliação do peso do hectolitro fizeram com que este teste fosse amplamente adotado como um indicador rápido e prático para avaliação de qualidade de grãos de trigo (Mundstock, 1999).

2.4 Influência do nitrogênio na qualidade de grãos de trigo

A classificação comercial (classe) dos genótipos de trigo é um indicativo de qualidade que pode, em muitos casos, não se confirmar, em função de vários fatores que a influenciam, tais como adubação, controle fitossanitário, manejo do solo, condições meteorológicas e manejo pré e pós-colheita dos grãos (Guarienti, 2009).

Além do efeito positivo na produtividade de grãos, a nutrição com N na cultura do trigo está intimamente ligada aos processos fisiológicos e metabólicos

(síntese de proteínas) que definem os parâmetros de qualidade tecnológica dos grãos (Miranda et al., 2011). O teor de proteína no grão é um fator importante na indicação da destinação dos grãos de trigo e também na sua qualidade de panificação. Ajustes de mercado para o trigo, baseados no conteúdo de proteína do grão, foram estabelecidos em vários locais do mundo, onde são pagos “prêmios” para grãos de trigo que apresentam teor de proteína acima de um determinado nível padrão (Woolfolk *et al.*, 2002). Contudo, elevado teor de proteína no grão não é, por si só, indicativo de qualidade adequada, visto que a qualidade de panificação depende também da composição e da interação das principais proteínas formadoras do glúten em trigo (gluteninas e gliadinas) (Porceddu citado por Silva *et al.*, 2004).

Segundo Johansson *et al.* (2001), o teor de proteína e a composição de subunidades de proteínas específicas influenciam a qualidade de panificação do trigo. Em relações às práticas agronômicas, a adubação nitrogenada é considerada o principal fator que influencia o acúmulo de proteínas de armazenamento, bem como a qualidade tecnológica dos grãos de trigo (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010). Segundo Wright *et al.* (2004), a aplicação de nitrogênio após a antese em plantas de trigo deficientes de nitrogênio incrementa a qualidade do grão significativamente, enquanto que, para plantas bem supridas de nitrogênio, essa aplicação tem pouco efeito sobre a melhoria da qualidade.

Entre os fatores do ambiente, a fertilização, especialmente a adubação nitrogenada, pode ser ajustada facilmente, quando comparada a outros fatores que afetam a qualidade tecnológica do trigo, como, por exemplo, fatores meteorológicos (Xue *et al.*, 2016).

2.5 Regiões produtoras de trigo no RS

A produção de trigo no Estado, cultura de inverno altamente suscetível às oscilações meteorológicas, se caracteriza pela consorciação com a produção de soja e de milho, cultivadas no verão. Por isso, a produção anual sofre variação considerável e as maiores regiões produtoras no Rio Grande do Sul localizam-se principalmente na porção norte e noroeste do Estado (SPGGRS, 2016). Para fins de experimentação e indicações de cultivares as áreas produtoras de trigo são divididas em regiões. As regiões homogêneas de adaptação de cultivares de trigo no Brasil (Brasil, 2008), surgiram em decorrência da necessidade de se aperfeiçoar a rede de experimentação para a execução de ensaios de Valor de Cultivo e uso (ensaios VCU) (Cunha, *et al* 2011) e têm a finalidade de habilitar previamente cultivares para as diferentes características regionais.

As regiões homogêneas de adaptação, especificadas no Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Brasil, 2008), correspondem às seguintes regiões para a realização de ensaios de VCU: região 1, fria e úmida e alta - Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná; região 2, moderadamente quente, úmida e baixa - Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná; região 3, quente, moderadamente seca e baixa - Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul (Castro, *et al.* 2016).

O Rio Grande do Sul apresenta duas regiões distintas de cultivo: uma fria, úmida e alta e outra quente, úmida e baixa. Dentro do estado essas características influenciam de maneira distinta tanto a produtividade de grãos, como a qualidade de grãos nas diferentes regiões de cultivo. Os reflexos dessas diferenças regionais são perceptíveis na expressão do potencial de rendimento de trigo, tanto nas estatísticas de lavouras em campos de agricultores quanto nos dados da rede de ensaios experimentais. Pela condição ambiente mais favorável para trigo, maiores rendimentos (e menor variabilidade entre safras),

sistematicamente, têm sido obtidos na zona "fria e úmida", em decorrência de maior altitude/latitude (Cunha, *et al.* 2011). Temperaturas elevadas durante o enchimento de grãos aumentam o teor de proteínas, modificam composição e as propriedades funcionais do amido e também alteração das proteínas (Nuttall, *et al.* 2017). Assim, deve-se considerar, além da resposta de N para cada genótipo, a região em que estes genótipos serão cultivados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do ambiente

Os experimentos de campo foram conduzidos na estação de crescimento da cultura do trigo nos anos de 2010, 2011, 2013 e 2014 na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul (RS). Os dados de 2010 e 2011 também já foram apresentados na dissertação de mestrado (Almeida, 2012).

A EEA/UFRGS está situada na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, com altitude média de 46 m acima do nível do mar. O clima da região é subtropical de verão úmido quente, do tipo Cfa, conforme a classificação de Koeppen (Ipagro, 1979). A precipitação pluvial média anual em Eldorado do Sul é de 1.440 mm e a temperatura média mensal varia entre 13,5°C e 24,6°C, entre o mês mais frio e o mês mais quente (Bergamaschi *et al.*, 2003). A região homogênea de adaptação de cultivares de trigo na qual a EEA/UFRGS está inserida é a Região 2, caracterizada como moderadamente quente, úmida e baixa.

Os dados meteorológicos do período de realização dos experimentos foram obtidos na estação meteorológica automática da UFRGS na Estação Experimental, distante aproximadamente 2 km da área experimental. Os dados coletados foram temperatura média do ar, radiação solar global e precipitação pluvial durante a estação de crescimento da cultura. Estes dados meteorológicos

são apresentados juntamente com os dados meteorológicos da série histórica dos anos de 1970 a 2000 (Bergamaschi *et al.*, 2003).

O solo da área experimental pertence à unidade de mapeamento São Jerônimo, caracterizado como Argissolo Vermelho distrófico típico (Streck *et al.*, 2008). A área onde foram realizados os trabalhos experimentais está sendo cultivada em sistema de plantio direto há 20 anos. Durante o verão, é feita rotação entre as culturas de soja e milho. No inverno, são cultivados nabo forrageiro, ervilhaca, trigo ou aveia branca como culturas antecessoras aos cultivos de verão.

Antes da instalação dos experimentos, foi coletada amostra de solo representativa da área de estudo, composta de seis sub-amostras, na profundidade de 0 a 20 cm. A análise da amostra foi realizada pelo Laboratório de Análises de Solos da UFRGS, sendo os resultados apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Características físico-químicas do solo das áreas experimentais antes da instalação dos experimentos. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS.

Ano	Argila %	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	MO ¹ g kg ⁻¹	Al ³⁺ ----- cmol _c dm ⁻³ -----	Ca ²⁺ ----- cmol _c dm ⁻³ -----	Mg ²⁺ ----- cmol _c dm ⁻³ -----	V ² %
2010	25	5,5	44	159	19	0	3,3	1,6	46
2011	30	5,5	32	185	19	0	3,1	1,4	47
2013	28	5,6	34	195	16	0	3,8	1,6	60

¹ MO=matéria orgânica

² V=saturação de bases

3.2 Caracterização dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro (em 2010) ou cinco repetições (em 2011, 2013 e 2014). Cada unidade experimental foi composta por área de 6,48 m², com 12 linhas espaçadas em 0,18 m e 3,0 m de comprimento, com exceção do ano de 2013, no qual as unidades experimentais apresentaram 5 m de comprimento,

totalizando área de 10,8 m². A densidade de semeadura foi de 300 sementes aptas m⁻² em todos os experimentos.

A semeadura, nos anos de 2010 e 2011, ocorreu sobre restos culturais de milho, nas datas de 01 de julho e 30 de junho, respectivamente. Já em 2013 e 2014, a semeadura foi realizada sobre restos culturais de soja, nas datas de 02 de julho e 10 de julho, respectivamente.

Nos quatro anos, a área experimental recebeu, uniformemente, adubação com fósforo e potássio um dia antes da semeadura, sendo os fertilizantes aplicados em linha. A adubação correspondeu à aplicação de 300 kg ha⁻¹ da formulação 0-22-30 (NPK), sendo o P₂O₅ e o K₂O aplicados na forma de superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente.

As sementes foram tratadas com fungicida e inseticida no dia da semeadura. A ocorrência de doenças, como manchas foliares e ferrugem da folha, foi controlada ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Em 2014, a ocorrência de doenças foi superior aos demais anos de estudo. Não houve necessidade de controle de plantas daninhas em pós-emergência durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do trigo.

Houve diferença de tratamentos, cultivares e variáveis analisadas entre os diferentes anos de condução dos experimentos. Assim, será descrita abaixo a maneira como os diferentes experimentos foram conduzidos.

3.2.1 Cultivares

No ano de 2010 e 2011, foram utilizadas as cultivares Quartzo e Mirante. As duas cultivares apresentam ciclo médio e são indicadas para cultivo em todas as regiões homogêneas de adaptação dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, sendo classificadas como trigo classe “pão” (Cunha *et al.*,

2016). Em relação à germinação na espiga, a cultivar Quartzo é considerada resistente a moderadamente resistente, enquanto que a cultivar Mirante é classificada como moderadamente suscetível (Cunha *et al.*, 2016). Na época de condução do presente trabalho, essas duas cultivares apresentavam grande participação nas áreas semeadas com trigo, sendo que, em 2011, a cultivar Quartzo respondeu por 28,3% da produção bruta total de sementes de trigo no estado do RS, enquanto que a cultivar Mirante respondeu por 23,3% (APASSUL, 2013).

No ano de 2013, as cultivares utilizadas foram TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e Quartzo. Essas cultivares, segundo a empresa obtentora, apresentam diferentes respostas da qualidade de grãos à aplicação de nitrogênio tardio (emborrachamento ou florescimento). A cultivar TBIO Sinuelo pode apresentar melhoria na qualidade de grãos (teor de proteína e força de glúten - W) quando submetida ao manejo do N tardio. Já as cultivares TBIO Alvorada e TBIO Mestre estão incluídas no grupo de cultivares que não são responsivas ao manejo de N tardio (BIOTRIGO, 2016). Em relação ao ciclo, as cultivares Quartzo, TBIO Alvorada e TBIO Mestre apresentam ciclo médio. Já a cultivar TBIO Sinuelo apresenta ciclo médio-tardio. Em relação à qualidade tecnológica, as cultivares Quartzo, TBIO Sinuelo e TBIO Alvorada são classificadas comercialmente como trigo Pão, enquanto que a cultivar TBIO Mestre é classificada como trigo Melhorador (Cunha *et al.*, 2016). Em relação à germinação em pré-colheita, as cultivares são consideradas resistentes a moderadamente resistentes.

Em 2014, as cultivares utilizadas foram TBIO Sinuelo e TBIO Mestre, as quais já tiveram suas características descritas acima, e a cultivar BRS Parrudo. A cultivar BRS Parrudo apresenta ciclo precoce e é classificada comercialmente

como Trigo Melhorador. É considerada moderadamente suscetível à germinação na espiga (Cunha *et al.*, 2016).

3.2.2 Tratamentos

No ano de 2010, todos os tratamentos receberam 20 kg de N ha⁻¹ na emergência das plântulas e 80 kg de N ha⁻¹ no estágio de seis folhas expandidas do colmo principal. Foram utilizados dois níveis de nitrogênio (N) aplicados por ocasião do florescimento da cultura (sem N ou 40 kg ha⁻¹) (Tabela 4). O florescimento foi caracterizado quando, no mínimo, 50% das plantas da parcela apresentavam anteras visíveis.

TABELA 4. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio do experimento realizado no ano de 2010. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2010.

Ano	Emergência	Seis folhas ¹	Florescimento ²
	----- kg N ha ⁻¹ -----		
2010	20	80	---
	20	80	40

¹Estádio de seis folhas completamente expandidas.

²Parcela com, no mínimo, 50% das plantas florescidas (visualização das anteras).

No experimento realizado em 2011, todos os tratamentos também receberam 20 kg de N ha⁻¹ na emergência e 80 kg de N ha⁻¹ no estágio de seis folhas expandidas. Além da dose adicional no florescimento (40 kg de N ha⁻¹), utilizou-se um tratamento no qual as plantas receberam N adicional aplicado no estágio de emborrachamento da cultura (40 kg ha⁻¹) (Tabela 5). O estágio de emborrachamento foi definido como sendo o estágio no qual a espiga encontrava-se envolta pela bainha da folha bandeira.

TABELA 5. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio do experimento realizado no ano de 2011. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2011.

Ano	Emergência	Seis folhas¹	Emborrachamento²	Florescimento³
----- kg N ha ⁻¹ -----				
2011	20	80	---	---
	20	80	40	---
	20	80	---	40

¹Estádio de seis folhas completamente expandidas.

²Estádio no qual a espiga encontra-se envolta pela bainha da folha bandeira.

³Parcela com, no mínimo, 50% das plantas florescidas (visualização das anteras).

Em 2013, os tratamentos utilizados foram os mesmo de 2011, porém adicionou-se mais um tratamento, ou seja, aplicação de 20 kg N ha⁻¹ na emergência, 40 kg de N ha⁻¹ no início do afilhamento (estádio de três folhas completamente expandidas) e 80 kg N ha⁻¹ no estágio de seis folhas completamente expandidas (Tabela 6).

TABELA 6. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio do experimento realizado no ano de 2013. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2013.

Ano	Emergência	Afilhamento¹	Seis folhas²	Emborrachamento³	Florescimento⁴
-----kg N ha ⁻¹ -----					
2013	20	---	80	---	---
	20	40	80	---	---
	20	---	80	40	---
	20	---	80	---	40

¹ Parcela com, no mínimo, 50% das plantas com o primeiro afilho visível.

²Estádio de seis folhas completamente expandidas.

³Estádio no qual a espiga encontra-se envolta pela bainha da folha bandeira.

⁴Parcela com, no mínimo, 50% das plantas florescidas (visualização das anteras).

Já em 2014, além dos mesmos tratamentos realizados em 2013, se adicionou um tratamento onde se aplicou 40 kg N ha⁻¹ na emergência e 100 kg N ha⁻¹ na sexta folha (Tabela 7).

TABELA 7. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio do experimento realizado no ano de 2014. EEA/UFRGS, Eldorado do Sul, RS, 2014.

Ano	Emergência	Afilhamento ¹	Seis folhas ²	Emborra- chamento ³	Flores- cimento ⁴
-----kg N ha ⁻¹ -----					
	20	---	80	---	---
	20	40	80	---	---
2014	20	---	80	40	---
	20	---	80	---	40
	40	---	100	---	---

¹ Parcela com, no mínimo, 50% das plantas com o primeiro afilho visível.

² Estádio de seis folhas completamente expandidas (Haun, 1973).

³ Estádio no qual a espiga encontra-se envolta pela bainha da folha bandeira.

⁴ Parcela com, no mínimo, 50% das plantas florescidas (visualização das anteras).

Em todos os experimentos, o nitrogênio foi aplicado na forma de ureia, contendo 45% de N.

3.2.3 Variáveis analisadas

A Tabela 8 apresenta os parâmetros analisados para cada cultivar em cada ano de estudo.

TABELA 8. Cultivares e parâmetros analisados nos anos de estudo 2010, 2011, 2013 e 2014.

Ano	Cultivar	Variável analisada
2010	Quartzo Mirante	- Rendimento de grãos, peso de mil grãos, número de espigas por área e número de grãos por espiga - Teor de proteína - Peso do hectolitro - Alveografia, número de queda
2011	Quartzo Mirante	- Rendimento de grãos, peso de mil grãos, número de espigas por área e número de grãos por espiga - Teor de proteína - Peso do hectolitro - Alveografia, número de queda (menos no tratamento que recebeu N adicional no emborrachamento na cultivar Mirante) - Teor de clorofila na folha bandeira (somente da cultivar Quartzo)
2013	TBIO Alvorada TBIO Sinuelo TBIO Mestre	- Rendimento de grãos, peso de mil grãos, número de espigas por área e número de grãos por espiga - Teor de proteína - Peso do hectolitro - Alveografia, número de queda - Farinografia - Leitura da reflectância do dossel (somente cultivares TBIO Alvorada e TBIO Sinuelo) - Teor de clorofila na folha bandeira (somente cultivares TBIO Alvorada e TBIO Sinuelo) - Taxa de acúmulo de matéria seca no grão e taxa de acúmulo de N (cultivares TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e Quartzo, nos tratamentos que não receberam N adicional e com N adicional no emborrachamento)
2014	TBIO Sinuelo TBIO Mestre ¹ BRS Parrudo ¹	- Rendimento de grãos, peso de mil grãos, número de espigas por área e número de grãos por espiga - Teor de proteína - Peso do hectolitro - Alveografia ¹ , número de queda (Somente cultivar TBIO Sinuelo) - Farinografia ¹ (Somente cultivar TBIO Sinuelo, no tratamento que não recebeu N adicional e nos tratamentos que receberam N adicional no afilamento e emborrachamento)

¹Nas cultivares TBIO Mestre e BRS Parrudo não foram realizados os testes de alveografia e farinografia, pois a câmara fria em que o material dessas cultivares estava estragou e comprometeu as amostras.

As avaliações foram efetuadas da seguinte maneira:

Rendimento de grãos: foi realizada a colheita de uma área de 4,05 m² em cada unidade experimental, o que corresponde às oito linhas centrais. No ano de

2013, as parcelas eram maiores, totalizando área de colheita de 7,2 m². A colheita foi realizada com colhedora automotriz de parcelas. Após a colheita, foi quantificado o peso de grãos por unidade experimental e extrapolado para rendimento de grãos (em kg ha⁻¹), na umidade de 130 g kg⁻¹.

Peso de mil grãos: foi avaliado pela pesagem de três amostras de 100 grãos de cada unidade experimental. Após, foi calculado o peso médio das três amostras de 100 grãos e o valor multiplicado por 10, na umidade de 130 g kg⁻¹.

Número de espigas m⁻²: foi realizado por ocasião da colheita pela contagem do número de espigas existentes em 1,5 m de linha, o que corresponde a 0,27 m², e extrapolado para número de espigas m⁻².

Número de grãos espiga⁻¹: foi estimado pela divisão do número de grãos m⁻² pelo número de espigas m⁻².

Peso do hectolitro (PH): é a massa de 100 litros de grãos de trigo, expressa em quilogramas por hectolitro (kg hl⁻¹). A quantificação da massa de 100 litros de grãos foi realizada com auxílio de balança hectolítrica, com capacidade de 250 mL, segundo metodologia descrita no Manual de Análise de Sementes publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 1992).

Teor de nitrogênio e proteína nos grãos: a avaliação do teor de nitrogênio no grão foi realizada pelo método Kjeldahl, conforme metodologia descrita por Tedesco *et al.* (1995). O teor de proteína no grão foi obtido pela multiplicação do seu teor de N por 5,7 (Lopez-Bellido *et al.*, 2004).

Alveografia: avalia a força ou o trabalho mecânico necessário para expandir uma bolha de massa até a ruptura (W - força de glúten, expresso em 10⁻⁴ Joules). Este teste também avalia a tenacidade (Valor P), a extensibilidade (Valor L) (que são expressas em mm) e a relação tenacidade/extensibilidade (relação P/L). Este teste reológico é realizado pelo alveógrafo Chopin, onde é

preparada uma massa com farinha de trigo e solução de cloreto de sódio. Esta massa é cortada em pequenos discos, os quais são levados ao equipamento. Então, insufla-se ar sob a lâmina da massa, provocando a formação de uma bolha. As variações de pressão até a ruptura desta bolha de massa são registradas por um manômetro, sendo os valores expressos em forma gráfica (Tonon, 2010). Esta avaliação foi realizada de acordo com o método 54-30A (AACC, 1995). Esse teste foi realizado pelo Moinho Estrela (Canoas, RS).

Farinografia: teste usado para avaliar a qualidade de mistura da massa de farinha de trigo. Fornece a informação de absorção de água, tempo de desenvolvimento da massa, estabilidade e o índice de tolerância a mistura. Esse teste foi realizado pelo Moinho Estrela (Canoas, RS).

Número de queda: este teste tem por finalidade verificar a atividade da enzima alfa-amilase no grão, sendo dado pela medida do tempo (em segundos) em que um êmbolo leva para atravessar a suspensão gelatinizada de amido contida em um tubo de vidro (Cazetta *et al.*, 2008). A avaliação foi feita com aparelho denominado “Falling Number de Hagberg”. O número de queda, ou “*falling number*”, é um método descrito na AACC (*American Association of Cereal Chemists*), sob o número 56-81B (AACC, 1995). Esse teste foi realizado pelo Moinho Estrela (Canoas, RS).

Leitura da reflectância do dossel: a reflectância do dossel foi avaliada pelo radiômetro Greenseeker. Este equipamento fornece o valor do “Índice de vegetação por diferença normalizada” (NDVI). O aparelho foi posicionado paralelamente às linhas da cultura, em uma altura entre 0,8 e 1,0 m acima do topo do dossel. As leituras foram realizadas por ocasião do deslocamento linear do equipamento sobre a unidade experimental, com largura útil captada pelo sensor de 0,7 a 0,8 m. Após o acionamento do sensor, ocorre a leitura de um

ponto sobre o dossel a cada 0,1 segundo, totalizando cerca de 40 pontos medidos em cada unidade experimental. As leituras foram realizadas entre o estágio de emborrachamento e o início do enchimento de grãos, em todo o comprimento da parcela.

Teor de clorofila na folha bandeira: as medições foram realizadas utilizando o clorofilômetro Minolta (Modelo SPAD-520®). O clorofilômetro utiliza fontes luminosas e detectores para medir a luz transmitida pela lâmina foliar, em dois comprimentos de onda (região do vermelho – 650 nm – e do infravermelho – 940 nm – do espectro). A leitura é dada em unidades SPAD (Soil and Plant Analysis Development), que indicam a intensidade da coloração verde da folha e, indiretamente, a quantidade de clorofila (Piekielek & Fox, 1992). As medições foram realizadas entre os estádios de espigamento e início de enchimento de grãos. As avaliações foram realizadas na porção mediana da folha, sendo obtido um valor médio por parcela. Cada valor foi resultado da média do valor da leitura SPAD de 20 plantas/parcela.

Taxa de acúmulo de matéria seca no grão e taxa de acúmulo de N no grão: foram realizadas 12 coletas de 10 espigas por parcela nas cultivares Quartzo, TBIO Sinuelo e TBIO Alvorada. Essas coletas foram realizadas nos tratamentos em que as plantas de trigo não receberam N adicional e de plantas que receberam aplicação adicional de 40 kg de ha⁻¹ no emborrachamento. As espigas foram coletadas a partir da antese até após a maturação fisiológica, para acompanhamento da dinâmica de acúmulo de N durante o período de enchimento de grãos e o acúmulo de matéria seca (MS) no grão.

Os grãos do terço médio das espigas foram separados e secos em estufa a 60°C. Depois, foram contados e pesados e quantificado o peso médio do grão em

cada coleta e seu respectivo teor de N. O N foi avaliado conforme metodologia descrita anteriormente.

Com a MS e o N dos grãos (mg) de cada data de coleta e os dias correspondentes, foi determinada a taxa de acúmulo de MS e N nos grãos. O ajuste foi realizado pelo modelo matemático de regressão assintótica, função “Gompertz”, com auxílio do aplicativo Sigma Plot versão 10.0, a qual tem como variável dependente a MS acumulada (mg) e como variável independente o período de acúmulo (dias) do florescimento à maturação fisiológica. A equação genérica da função assintótica de “Gompertz” utilizada foi:

$$MS = a \cdot \exp(-\exp(-(x-x_0)/b))$$

Sendo MS a matéria seca de um grão (mg), x é o tempo em dias após a antese, e a, b, x₀ os coeficientes de ajuste do modelo matemático.

A duração do período de enchimento de grãos foi obtida quando o MS estava entre 1% (x₁) até 95% (x₂) do peso final de grão. A taxa média de enchimento de grão e do acúmulo de N foi calculada para o período entre x₁ e x₂.

3.3 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$), com auxílio do aplicativo ASSISTAT versão 7.7. Quando houve significância estatística, foi feita comparação entre médias dos tratamentos pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Quando pertinente, foi determinado o coeficiente de correlação linear de Pearson entre algumas variáveis. Estas análises foram realizadas com auxílio do aplicativo Sigma Plot versão 10.0.

3.4 Condições meteorológicas dos períodos experimentais

A cultura do trigo necessita de variação climática diferenciada da maioria das culturas de grãos. Na fase inicial do ciclo da cultura de trigo, a exigência é por temperaturas baixas, tolerando geadas moderadas. A fase de floração e enchimento de grãos é favorecida por baixa umidade e temperatura do ar mais elevada, diminuindo a incidência de moléstias e favorecendo a qualidade do grão a ser colhido.

Na safra de 2010, as condições meteorológicas foram favoráveis à cultura na maioria das regiões produtoras. Já em 2011, as melhores condições meteorológicas para a cultura ocorreram no Rio Grande do Sul, principalmente no período de colheita, o que favoreceu a qualidade do produto colhido (CONAB, 2012).

Na safra de 2013, o desempenho da cultura superou todas as expectativas e o estado obteve o maior rendimento de grãos por unidade de área de toda a história da triticultura gaúcha. Apesar de ter ocorrido pontualmente fatores meteorológicos adversos, como geada, granizo e ventos fortes, que afetaram o rendimento de grãos em algumas regiões, a média do estado, ainda assim, atingiu 3.060 kg ha^{-1} , 57,7% maior do que a safra 2012/13 (CONAB, 2016).

Já a safra de 2014, o excesso de umidade não permitiu a semeadura dentro da janela indicada na maioria das regiões produtoras. Durante o desenvolvimento da cultura, vários fatores adversos, como geadas, chuvas torrenciais, falta de luminosidade, calor excessivo, ataque de doenças em geral, granizo e acamamento influenciaram para que o resultado final fosse frustrante na maioria das regiões. O resultado o baixo rendimento de grãos com qualidade inferior aos padrões de comercialização. Em consequência, cerca de 85% dos produtores recorrem ao PROAGRO e ao seguro agrícola (CONAB, 2016). Assim,

as condições meteorológicas interferiram nos experimentos do mesmo modo que interferiram nas respectivas safras.

As Figuras 1, 2, 3 e 4 mostram os dados meteorológicos da EEA/UFRGS, local de realização do presente estudo, nos anos de 2010, 2011, 2013 e 2014, respectivamente.

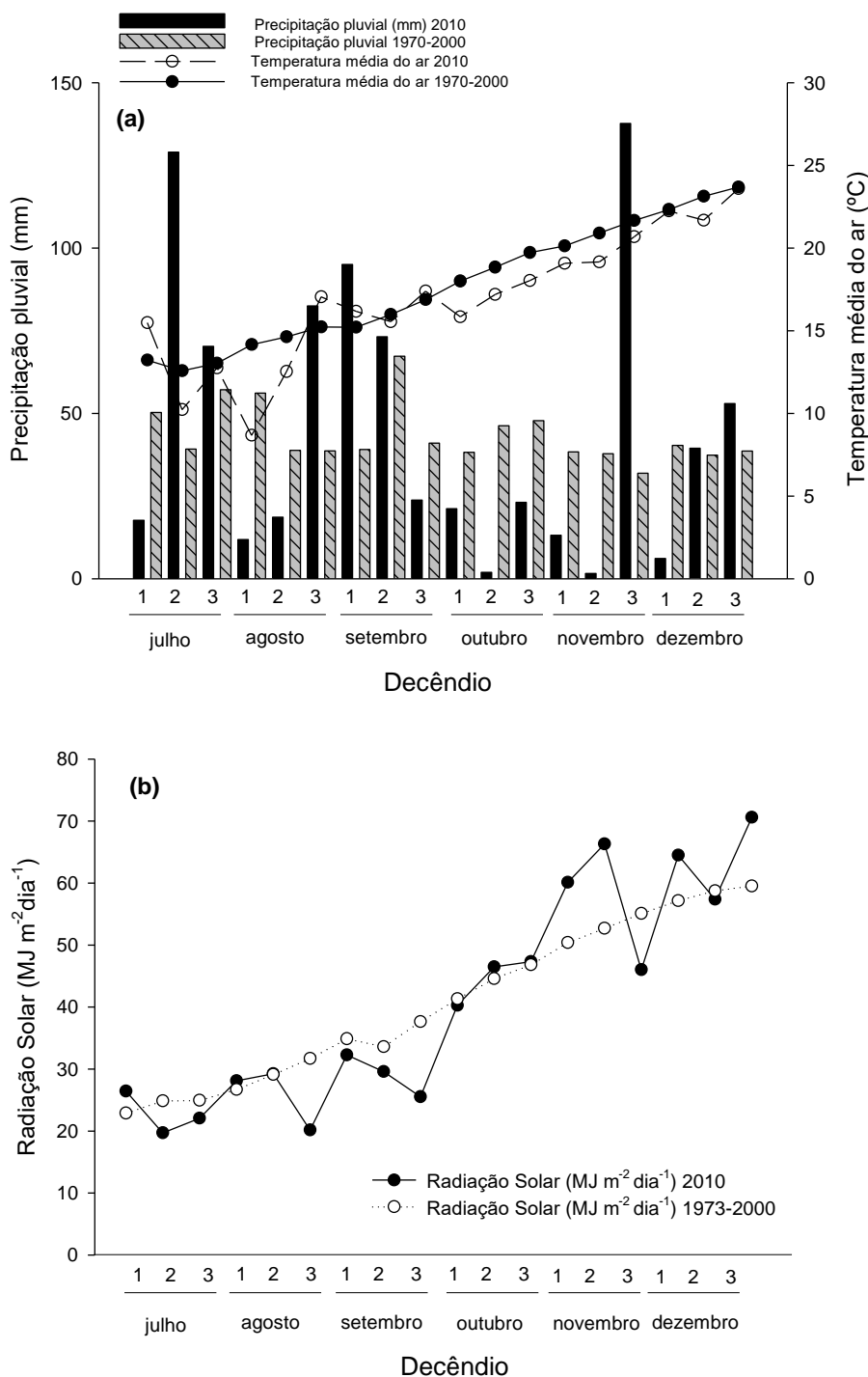


FIGURA 1. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2010 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS.

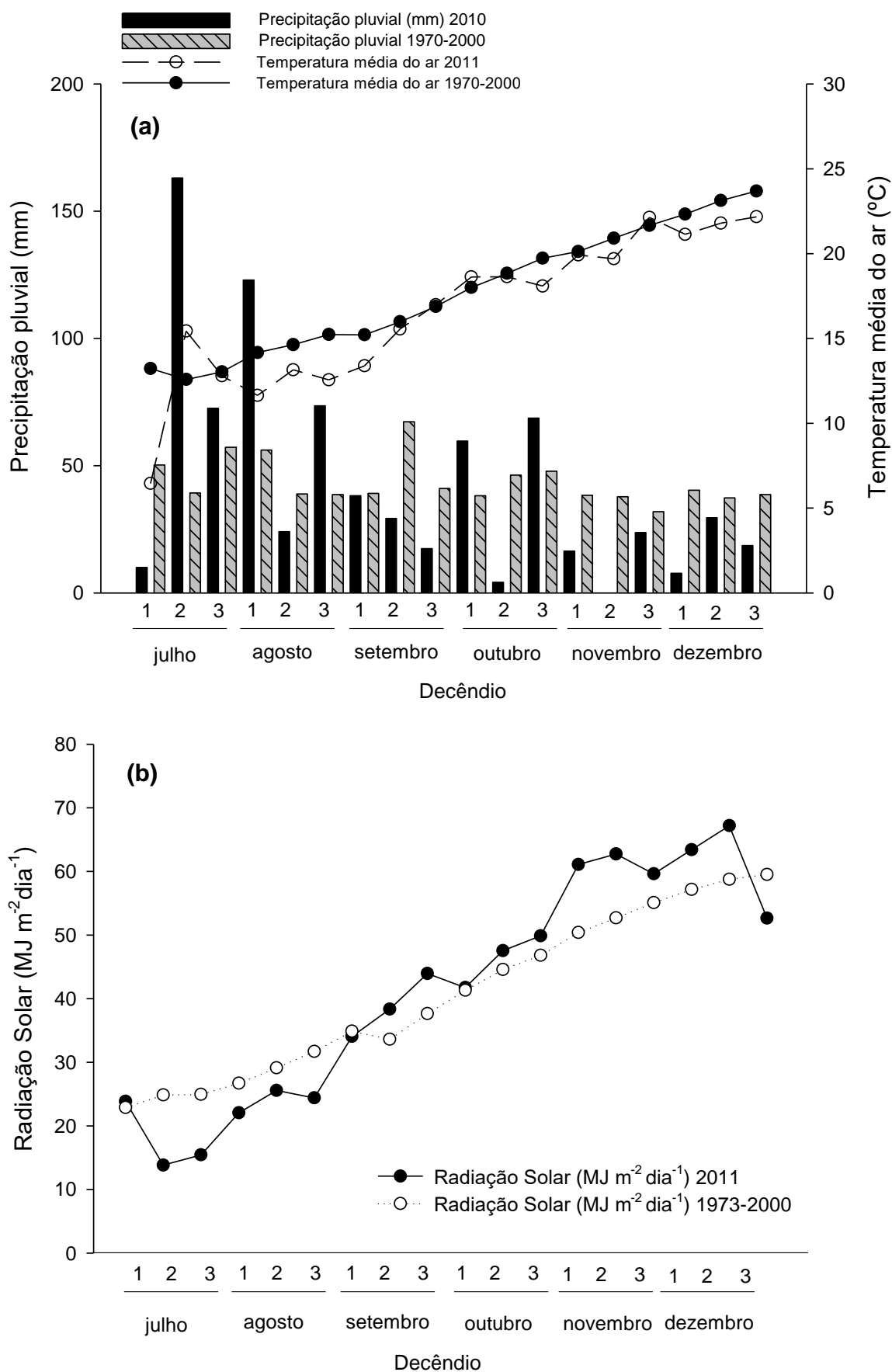


FIGURA 2. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2011 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS.

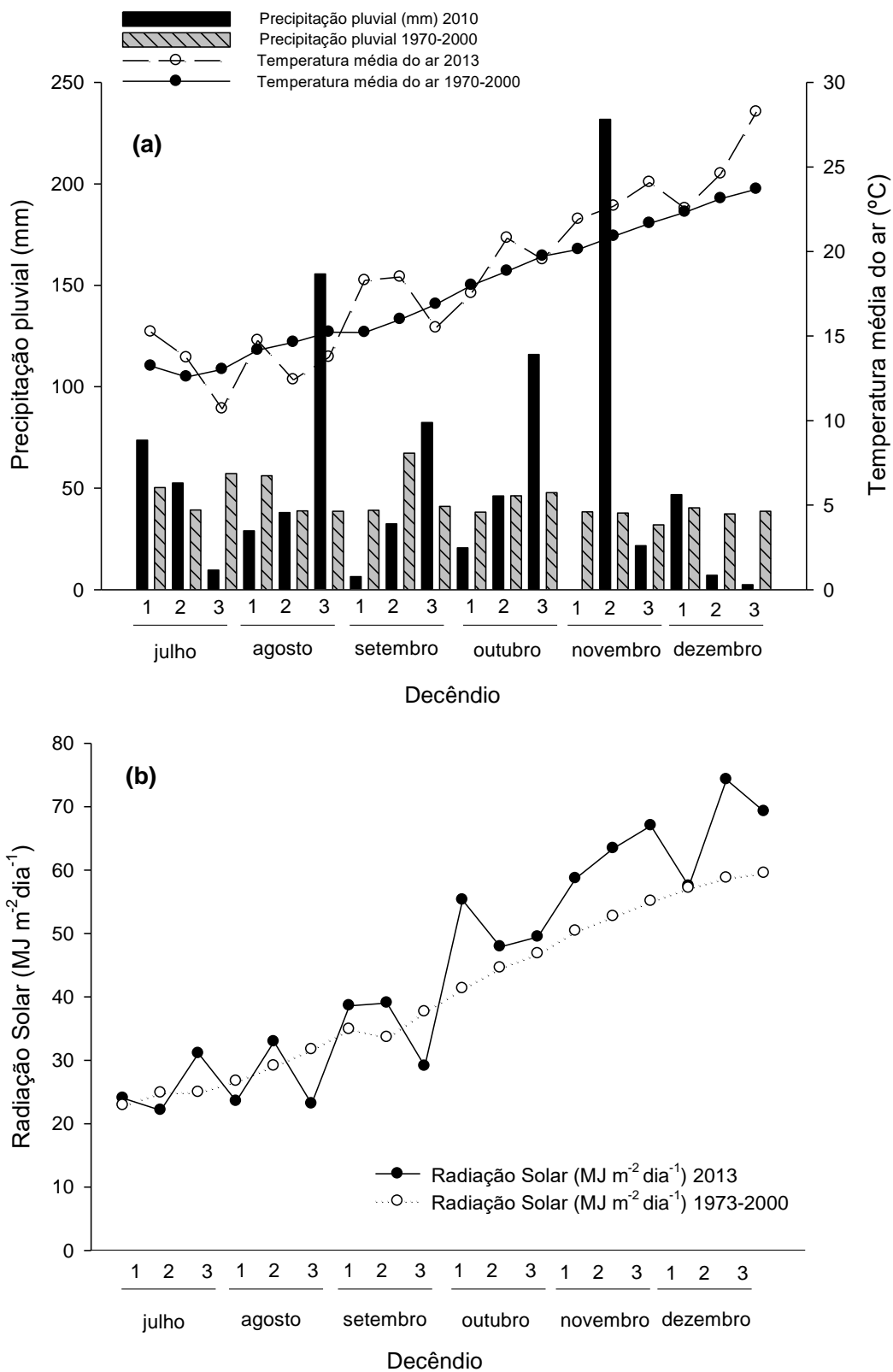


FIGURA 3. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2013 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2013.

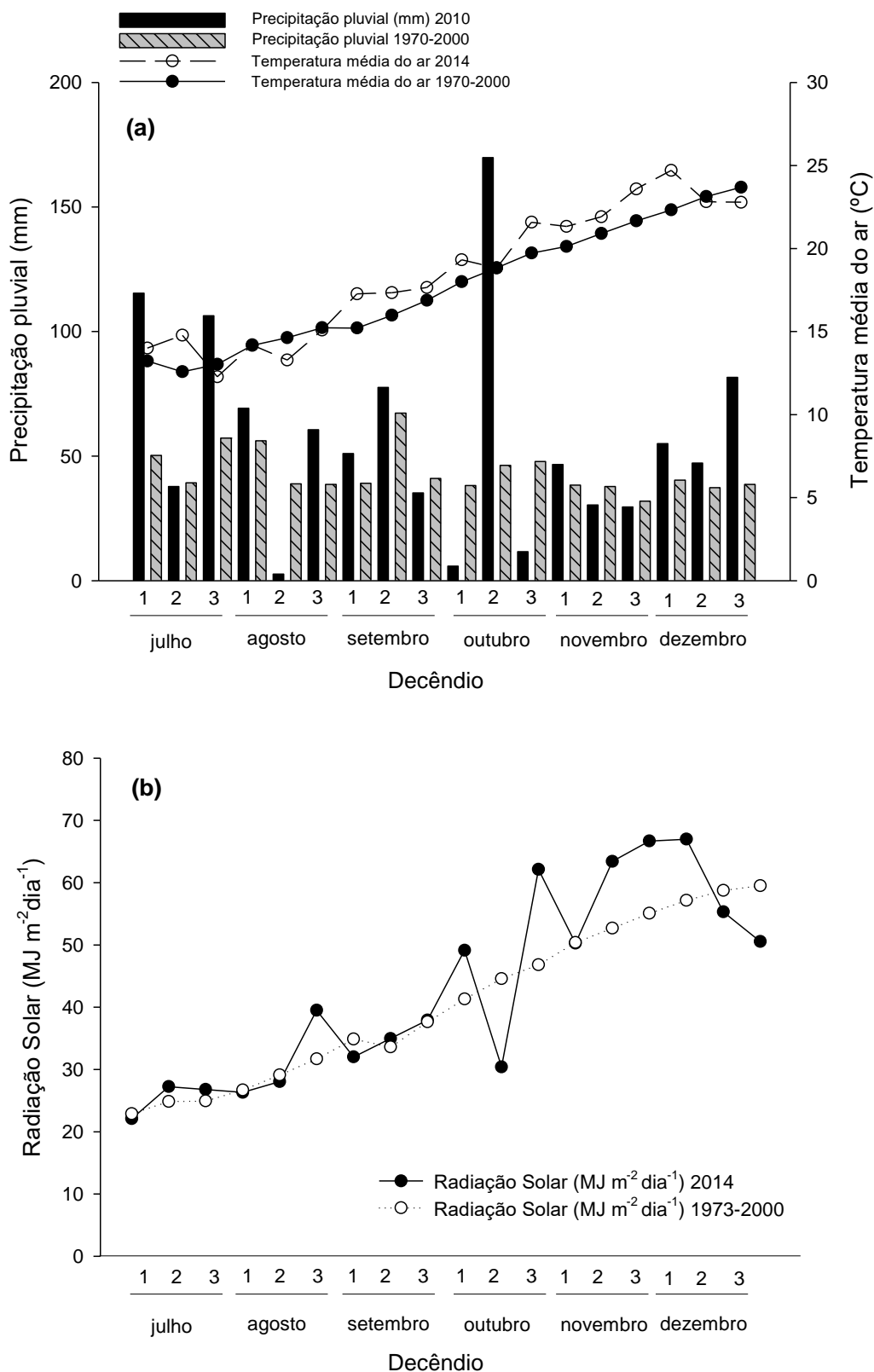


FIGURA 4. Temperatura média do ar e precipitação pluvial (a) e radiação solar (b) no ano de 2014 e normal climática (1970-2000). Eldorado do Sul, RS, 2014.

A temperatura do ar se manteve abaixo da média histórica durante quase todo ciclo da cultura em 2010 e 2011 (Figuras 1.a e 2.a).

Em relação à precipitação pluvial, os anos de 2010, 2011 e 2014 apresentaram precipitação pluvial acima da média histórica no início do cultivo (Figuras 1.a, 2.a e 4.a). No ano de 2010, houve maior volume de chuvas durante o mês de setembro, diminuindo a radiação solar neste mesmo mês (Figura 1.b). Antes da colheita, no ano de 2010, também ocorreu alta precipitação pluvial no terceiro decêndio do mês de novembro. Esta precipitação pluvial, entretanto, se concentrou em dois dias, provavelmente tendo pouco efeito sobre o rendimento de grãos e sobre a ocorrência de germinação pré-colheita.

Em 2011, o mês de outubro apresentou precipitação pluvial mais elevada no primeiro e terceiro decêndios, porém com pequeno efeito sobre a radiação solar, a qual se manteve acima da média histórica a partir do primeiro decêndio de setembro até o momento da colheita do experimento (Figura 2.b).

Conforme comentado anteriormente, o ano de 2013 apresentou condições favoráveis de desenvolvimento na maioria das regiões produtoras. O mesmo pode ser observado no local de estudo, onde, mesmo com a ocorrência de picos de elevada precipitação pluvial durante cultivo, os mesmos ocorreram em fases em que não houve comprometimento do desempenho da cultura (Figura 3.a). Além disso, ocorreram temperaturas do ar e radiação solar favoráveis ao desenvolvimento da cultura (Figuras 3.a e 3.b).

Já em 2014, a temperatura do ar e a precipitação pluvial se mantiveram superior à normal climatológica em praticamente todo o ciclo de desenvolvimento do trigo (Figura 4.a). A média histórica para o período (julho a novembro) apresenta acúmulo de 820 mm de precipitação, enquanto que, no ano de 2014, a

precipitação acumulada entre os meses de julho e novembro foi de 1.080 mm, ou seja, 260 mm a mais que a normal climatológica da região.

Essas chuvas foram bem distribuídas durante os meses de cultivo. Na Figura 4.a, é possível observar que poucos decêndios entre julho e novembro apresentaram menos de 50 mm de precipitação. No ano de 2014, a radiação solar se manteve próxima da média histórica nos meses de cultivo do trigo (Figura 4.b).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Rendimento de grãos e seus componentes em resposta à adubação nitrogenada

Como explicado no Capítulo 3, todos os tratamentos receberam a aplicação de 20 kg de N ha⁻¹ na emergência das plantas e 80 kg de N ha⁻¹ por ocasião do estágio de seis folhas, exceto no ano de 2014, onde também há um tratamento que recebeu 40 kg de N ha⁻¹ na emergência das plantas e 100 kg de N ha⁻¹ por ocasião da sexta folha. Assim, o que diferencia os tratamentos é a não aplicação de N em nenhum outro momento (“sem N adicional”) ou a dose adicional de 40 kg de N ha⁻¹ no afilhamento ou emborrachamento ou florescimento.

Para o rendimento de grãos, tanto no ano de 2010 quanto no ano de 2011, as duas cultivares utilizadas (Quartzo e Mirante) apresentaram o mesmo comportamento estatístico dentro de cada ano de cultivo (Figuras 5 e 6).

Tanto em 2010 quanto em 2011, nenhuma das duas cultivares apresentou diferença significativa entre o tratamento que não recebeu N adicional e o tratamento que recebeu aplicação de N no florescimento (Figuras 5 e 6).

Em 2011, para as duas cultivares, as plantas que receberam aplicação de fertilizante nitrogenado no estágio de emborrachamento da cultura apresentaram aumento significativo de rendimento de grãos quando comparadas às plantas que não receberam N adicional ou que receberam aplicação de N por ocasião do florescimento (Figura 6). Quando a dose de 40 kg de N ha⁻¹ foi aplicado no

período do emborrachamento, a cultivar Quartzo apresentou incremento de 17% em relação aos outros tratamentos (Figura 6). Já na cultivar Mirante, o incremento no rendimento proporcionado pela aplicação de N no emborrachamento foi de quase 30 %, sendo que o rendimento de grãos foi de 2.510 kg ha⁻¹ quando não houve aplicação adicional de N ou quando a aplicação adicional foi fornecida no florescimento, enquanto que o rendimento de grãos foi de 3.237 kg ha⁻¹ quando o N foi aplicado no estágio de emborrachamento (Figura 6).

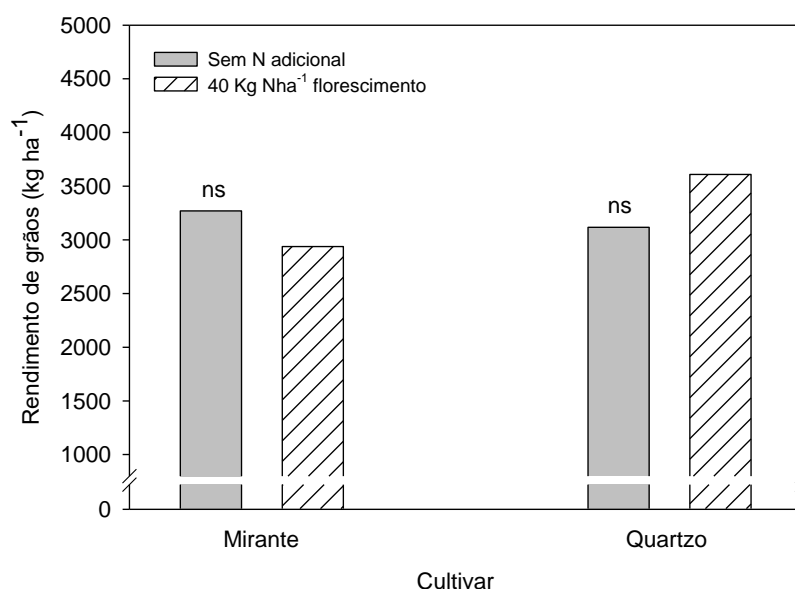


FIGURA 5. Rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio no estágio de florescimento, em 2010. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

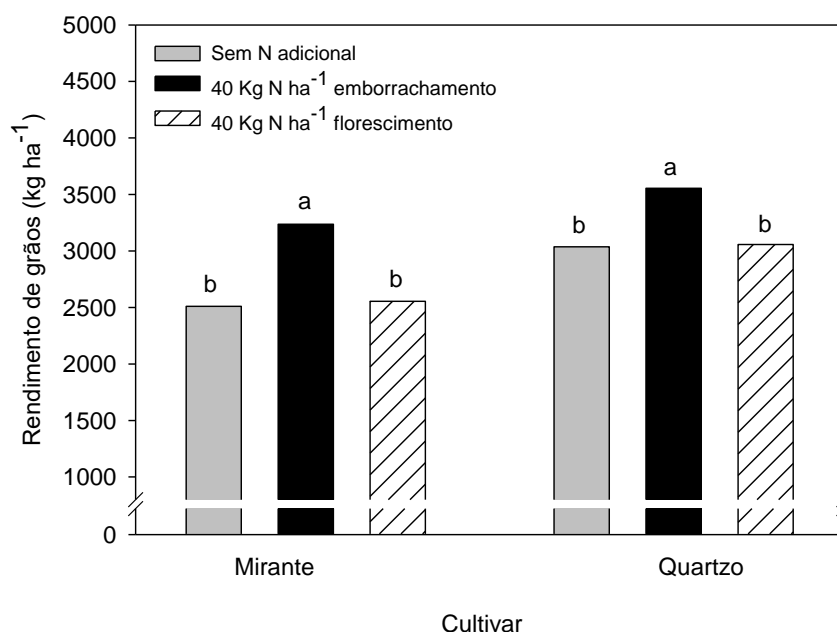


FIGURA 6. Rendimento de grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2011. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

Em 2013, cada cultivar analisada apresentou um tipo de resposta para os tratamentos utilizados (Figura 7). A cultivar TBIO Alvorada não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. A resposta da cultivar TBIO Sinuelo foi relacionada a dose de N aplicada e não à época, pois todos os tratamentos que receberam 40 kg de N ha⁻¹ adicional, independente da época aplicada, apresentaram rendimento de grãos superior ao tratamento que não recebeu de N adicional. Para cultivar TBIO Mestre, os únicos tratamentos que apresentaram diferença significativa entre si foram o tratamento que recebeu N no florescimento, com o maior rendimento de grãos, e os tratamentos sem N adicional e N no emborrachamento, com os menores rendimentos de grãos. No ano de 2013, os rendimentos foram elevados, sendo que os incrementos de rendimento de grãos com a aplicação de N giraram em torno de 10 %, nos tratamentos que apresentaram resposta positiva, nas cultivar TBIO Sinuelo e TBIO Mestre.

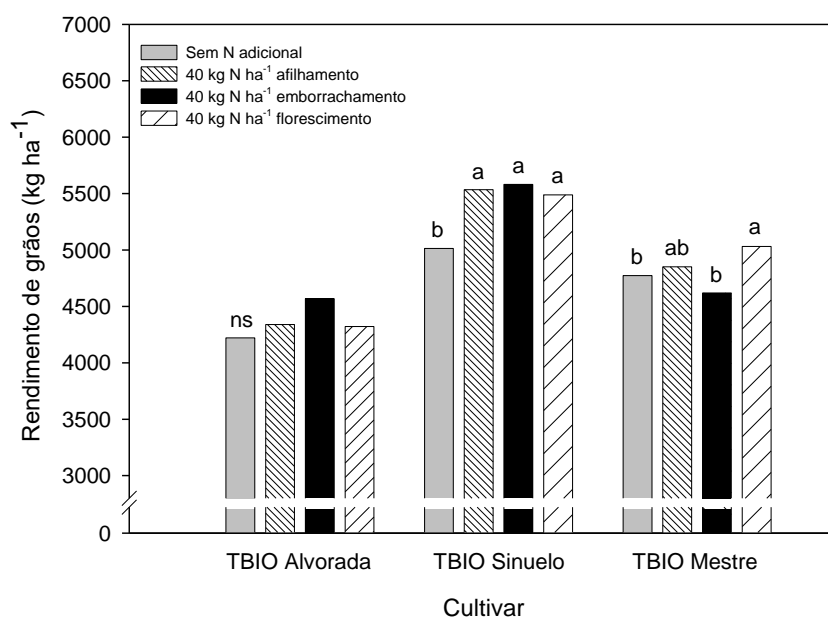


FIGURA 7. Rendimento de grãos das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e TBIO Mestre em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento, em 2013. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

Em 2014, o menor rendimento de grãos em todas as cultivares foi observado no tratamento que não recebeu N adicional (Figura 8). Já o maior rendimento de grãos na cultivar TBIO Mestre foi proporcionado pela aplicação de N no afilhamento. Para cultivar TBIO Sinuelo, o maior rendimento de grãos foi observado no tratamento que recebeu 40 kg de N ha⁻¹ na emergência das plantas e 100 kg de N ha⁻¹ por ocasião da sexta folha. Na cultivar BRS Parrudo, quando fornecido o N adicional no período de emborrachamento, observou-se maior rendimento de grãos (Figura 8).

As demais épocas de aplicação dentro de cada cultivar não foram diferentes estatisticamente nem do tratamento sem N adicional e nem do tratamento que apresentou maior rendimento em cada cultivar, citados acima (Figura 8). Estes tratamentos apresentaram valores de rendimentos de grãos

intermediários, indicando que, de modo geral, o incremento na produtividade no ano de 2014 não apresentou uma época específica de aplicação de N que tenha sido determinante para o aumento do rendimento, e sim o aumento da dose de N (aplicação adicional de 40 kg de N ha⁻¹).

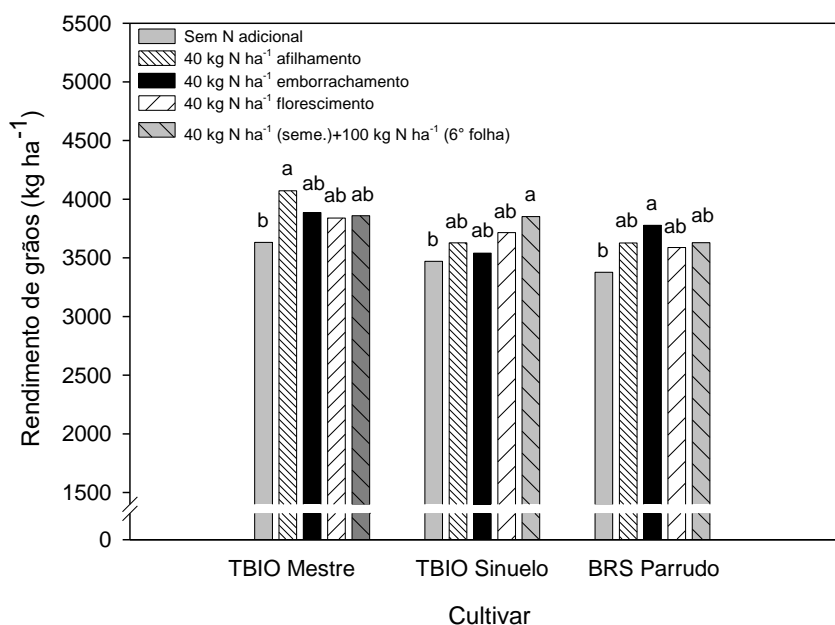


FIGURA 8. Rendimento de grãos das cultivares de trigo TBIO Mestre, TBIO Sinuelo e BRS Parrudo, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afileamento, emborrachamento ou florescimento ou da dose de 40 kg de N ha⁻¹ (emergência) + 100 kg de N ha⁻¹ (sexta folha), em 2014. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

Devido ao excesso de chuva e às altas temperaturas no ano de 2014 (Figura 4.a), os rendimentos de grãos ficaram abaixo do potencial produtivo das cultivares analisadas neste ano.

A cultura do trigo apresenta diferentes exigências climáticas durante o ciclo de cultivo. Na fase vegetativa, a cultura se beneficia pela ocorrência de baixas temperaturas do ar. No florescimento e enchimento de grãos, a planta apresenta maior sensibilidade à ocorrência de baixas temperaturas do ar, sendo que estas fases exigem temperaturas do ar mais elevadas e umidade relativa do ar baixa,

favorecendo a sanidade da cultura. Períodos com elevada precipitação pluvial no florescimento tendem a desfavorecer a polinização do trigo e favorecer a ocorrência de moléstias, afetando o potencial produtivo da cultura (Mundstock, 1999).

Nas cultivares Quartzo e Mirante, em 2010, o peso de 1.000 grãos apresentou aumento com a dose adicional de N somente na cultivar Quartzo (Tabela 9). Em 2011, o aumento do peso do grão nessas cultivares ocorreu independentemente da época de aplicação (emborrachamento ou florescimento) (Tabela 9).

TABELA 9. Peso de 1.000 grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 e 2011.

Ano	Tratamento	Mirante	Quartzo
		Peso de 1.000 grãos ----- (g) -----	
2010	Sem N adicional	39,51 ns	36,65 b ¹
	Florescimento	39,83	39,53 a
	CV ² (%)	2,14	1,47
2011	Sem N adicional	39,55 b	39,41 b
	Emborrachamento	42,90 a	41,1 a
	Florescimento	43,53 a	41,8 a
	CV(%)	3,00	2,50

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

²Coeficiente de variação

ns= não significativo

O peso de 1.000 grãos da cultivar Quartzo variou entre 36,6 g (no ano de 2010, sem aplicação de N nos estádios tardios estudados) e 41,8 g (no ano de 2011, com aplicação de N no emborrachamento). Já a cultivar Mirante apresentou variação do peso do grão entre 39,5 g (no tratamento que não recebeu aplicação tardia de N, nos dois anos de estudo) e 43,5 g (em 2011, com aplicação de N no estádio de florescimento) (Tabela 9). Mesmo com o aumento do peso do grão

proporcionado pelas aplicações tardias de N, o peso de 1.000 grãos das duas cultivares, nos dois anos de cultivo, se manteve em valor considerado médio e adequado para o seu processamento industrial (Guarienti, 1996).

Em 2013, a cultivar TBIO Alvorada não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (Tabela 10). Já para as cultivares TBIO Sinuelo e TBIO Mestre, o aumento do peso de 1.000 grãos foi verificado no tratamento que recebeu aplicação de N no florescimento, sendo que, para cultivar TBIO Mestre, ocorreu diferença estatística somente do tratamento sem N adicional. O mesmo ocorreu nestas cultivares no ano de 2014, onde a aplicação de 40 kg de N ha⁻¹ por ocasião do florescimento promoveu o incremento no peso do grão. Já a cultivar BRS Parrudo, que também foi analisada em 2014, não apresentou diferença estatística entre os tratamentos para o peso de 1.000 grãos.

TABELA 10. Peso de 1.000 grãos das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e BRS Parrudo em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2013 e 2014.

Ano	Época	TBIO Alvorada	TBIO Sinuelo	TBIO Mestre	BRS Parrudo
Peso de 1.000 grãos					
(g)					
2013	Sem N adicional	36,16 ns	40,22 b	41,98 b	----
	Afilhamento	36,16	39,68 b	42,57 ab	----
	Emborrachamento	36,24	40,28 b	42,55 ab	----
	Florescimento	37,29	41,76 a	43,45 a	----
CV(%) ²		2,33	1,08	1,48	
2014	Sem N adicional	----	30,99 c	31,94 b	32,36 ns
	Afilhamento	----	29,62 bc	31,21 b	32,39
	Emborrachamento	----	31,79 b	33,08 ab	33,20
	Florescimento	----	33,21 a	34,04 a	33,57
	40+100 kg de N ³	----	30,99 bc	31,90 b	32,88
CV(%)			2,01	3,27	2,35

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p < 0,05).

²Coefficiente de variação

³40 kg de N ha⁻¹ na emergência das plântulas e 100 kg ha⁻¹ na sexta folha

ns= não significativo

De maneira geral, quando observados os dados de todas as cultivares analisadas e em todos os anos de estudo, verifica-se que, quando ocorre resposta para aumento do peso de 1.000 grãos em função da aplicação adicional de N, está resposta é mais pronunciada quanto mais tarde esse N for aplicado, ou seja, mais próximo ao florescimento.

Em 2013, foram realizadas coletas de grãos, periodicamente, desde a antese até a maturação fisiológica dos grãos nas cultivares TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e Quartzo (semeada no ano de 2013 somente para este fim), no tratamento que não recebeu N adicional e no tratamento que recebeu 40 kg de N ha⁻¹ no emborrachamento. Por meio do modelo matemático *Gompertz*, foi calculada a duração do período de enchimento de grão, a taxa média de acúmulo de massa seca e a taxa máxima de acúmulo durante o enchimento dos grãos.

Na Tabela 11, são mostrados os dados de peso final do grão, a duração do período de enchimento (considerada quando o grão atingiu 95 % do seu peso final) e as taxas média e máxima de acúmulo de massa seca durante o enchimento dos grãos.

TABELA 11. Peso final de grão, duração até atingir a 95% peso final de grão e taxa média e máxima de enchimento de grão das cultivares das cultivares TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e Quartzo, sem N adicional ou com N adicional no emborrachamento, em 2013.

Cultivar	Tratamento	Peso final grão (mg)	Duração (dias)	Taxa média (mg grão ⁻¹ dia ⁻¹)	Taxa máxima (mg grão ⁻¹ dia ⁻¹)
Alvorada	Sem N adicional	36,12	36	0,97	1,80
	Emborrachamento	37,12	37	0,99	1,70
Sinuelo	Sem N adicional	41,13	36	1,10	1,73
	Emborrachamento	41,77	37	1,10	1,66
Quartzo	Sem N adicional	43,60	39	1,05	1,74
	Emborrachamento	43,69	39	1,08	1,69

A duração do enchimento de grãos na cultivar TBIO Alvorada e TBIO Sinuelo no tratamento que recebeu N no emborrachamento foi um dia maior quando comparada com o tratamento que não recebeu N adicional. A cultivar Quartzo apresentou o mesmo número de dias para a duração do enchimento de grão para os dois tratamentos. Em todas as cultivares, a aplicação de N no emborrachamento apresentou taxa média de enchimento de grãos igual ou superior ao tratamento sem N. Já a taxa máxima de enchimento de grãos foi inferior quando as plantas receberam N no emborrachamento.

Pela taxa de acúmulo de matéria seca (MS) diária (Figura 9), pode-se observar a dinâmica do enchimento de grãos expostos ou não à adubação nitrogenada tardia no estágio de emborrachamento.

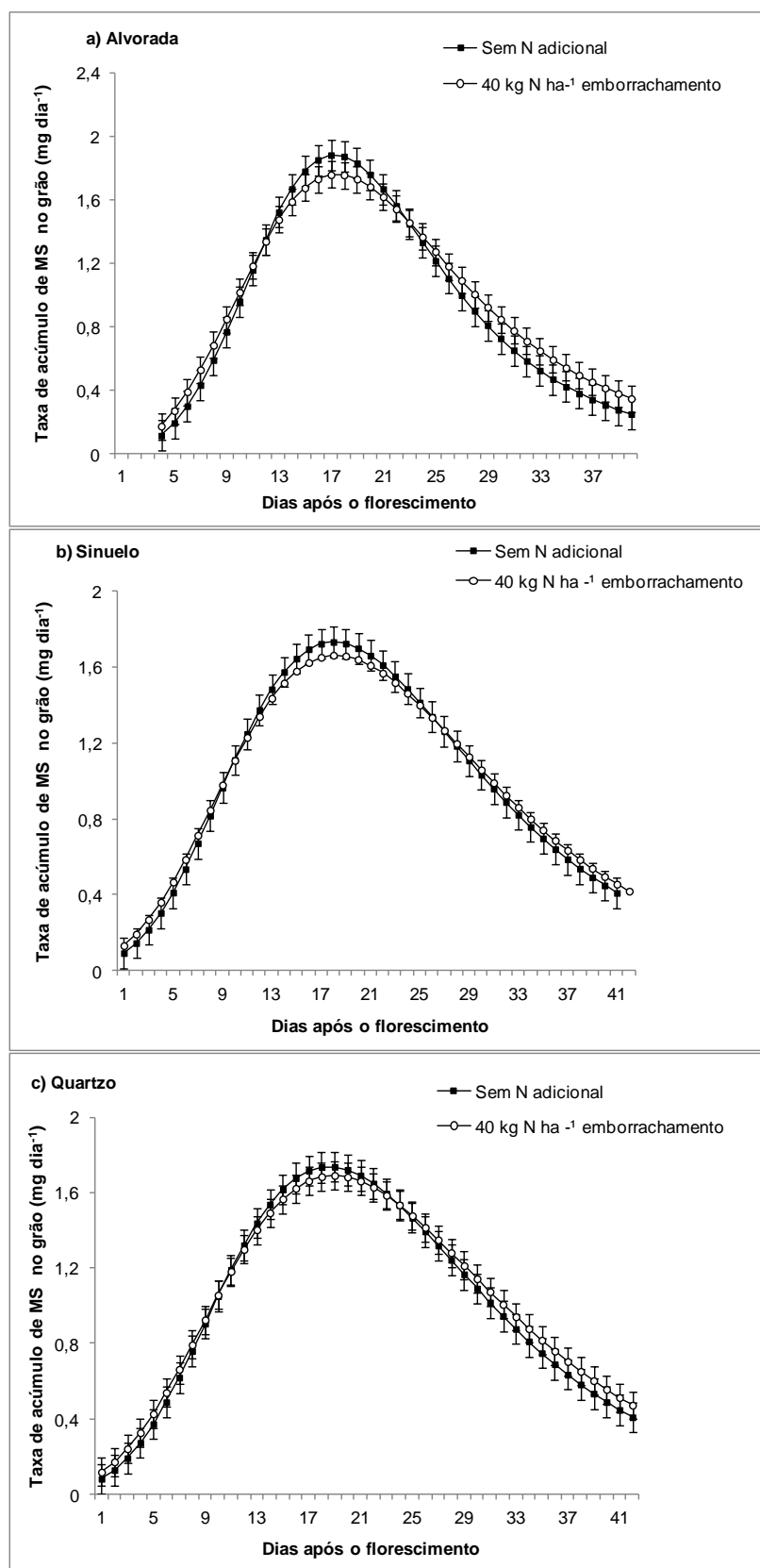


FIGURA 9. Taxa de acúmulo de matéria seca diária no grão das cultivares de trigo TBIO Alvorada (a), TBIO Sinuelo (b) e Quartzo (c), sem aplicação de N adicional ou com aplicação de N adicional no estágio de emborrachamento, em 2013.

Na Figura 9, é possível observar que não houve diferença na taxa de acúmulo de MS durante todo o enchimento do grão, mas a dinâmica de acúmulo foi igual para todas as cultivares. A curva do tratamento que recebeu N no emborrachamento começa com acúmulo superior de MS, depois é ultrapassada pela curva do tratamento que não recebeu N adicional. A curva do tratamento que não recebeu N adicional no emborrachamento decai mais rapidamente que a curva que recebeu N neste estágio, ultrapassando novamente essa curva. Isso indica que, mesmo não havendo diferença estatística no peso final do grão, a suplementação com N em períodos mais tardios de desenvolvimento da cultura modifica a maneira como ocorre a dinâmica do enchimento de grãos.

O peso de 1.000 grãos apresenta forte controle genético, mas, em menor grau, também pode ser influenciado pelas condições de cultivo e manejo pós-colheita dos grãos (Ortolan, 2006), sendo que este componente do rendimento de grãos pode ser significativamente influenciado por aplicações tardias de N entre os estádios de emborrachamento e enchimento de grãos (Yano *et al.*, 2005; Varga & Svecnjak, 2006; Abedi *et al.*, 2011). Em alguns casos, a aplicação tardia de N, após o início do alongamento dos entrenós, pode aumentar a massa do grão, em função da manutenção da área foliar ativa por um período mais longo (McMaster, 1997), podendo resultar em incrementos no rendimento de grãos (Bredemeier & Mundstock, 2001).

Este componente não apresenta importância somente na formação do rendimento de grãos. O peso do grão influencia o processo industrial, pois grãos de tamanho excessivo podem causar problemas nos equipamentos de limpeza e moagem, enquanto que grãos muito pequenos podem passar pelas peneiras de limpeza e acarretar em perdas na produção de farinha, em função da diminuição

da quantidade de trigo moído. Segundo Guarienti (1996), o ideal é que os grãos sejam de tamanho médio, apresentando peso de 1.000 grãos entre 36 e 45 g. Somente no ano de 2014 o peso de 1.000 grãos apresentou valores abaixo de 36 g. Isso ocorreu devido às condições meteorológicas desfavoráveis neste ano de estudo, especialmente em relação à ocorrência de temperaturas do ar acima da normal climática (Figura 5).

Em relação ao componente do rendimento número de espigas m^{-2} , houve diferença estatística somente na cultivar Mirante (dois anos de estudo) e na cultivar Quartzo (ano 2010) (Tabela 12). Nestes dois anos de estudo, esta variável apresentou o mesmo comportamento do rendimento de grãos, ou seja, foi maior onde ocorreu maior rendimento de grãos e menor onde ocorreu menor rendimento de grãos.

No ano de 2013 e 2014, não houve diferença estatística para número de espigas m^{-2} em nenhum tratamento de nenhuma cultivar (Tabela 13).

TABELA 12. Número de espigas m^{-2} das cultivares de trigo Quartzo e Mirante em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 e 2011.

Ano	Tratamento	Mirante	Quartzo
		Espiga m^2 ----- (n°) -----	
2010	Sem N adicional	459 a ¹	384 a ¹
	Florescimento	389 b	402 b
	CV ² (%)	2,04	13,75
2011	Sem N adicional	390 ab	512 ns
	Emborrachamento	415 a	555
	Florescimento	363 b	520
	CV(%)	7,00	12,50

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

²Coefficiente de variação

ns= não significativo

TABELA 13. Número de espigas m⁻² das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e BRS Parrudo em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2013 e 2014.

Ano	Época	TBIO	TBIO	TBIO	BRS
		Alvorada	Sinuelo	Mestre	Parrudo
Espiga m²					
----- (n ^o) -----					
2013	Sem N adicional	548 ns	588 ns	555 ns	----
	Afilhamento	562	542	591	----
	Emborrachamento	522	582	505	----
	Florescimento	513	555	546	----
CV(%) ¹		7,57	8,58	9,90	
2014	Sem N adicional	----	521 ns	502 ns	409 ns
	Afilhamento	----	517	568	441
	Emborrachamento	----	538	485	437
	Florescimento	----	545	535	420
	40+100 kg de N ²	----	548	553	433
CV(%)			14,40	9,52	7,25

¹Coefficiente de variação

²40 kg de N ha⁻¹ na emergência das plântulas e 100 kg ha⁻¹ na sexta folha

ns= não significativo

Nas Tabelas 14 e 15 está apresentado o número de grãos espiga⁻¹ obtido para as cultivares de trigo estudadas nos anos de 2010 e 2011 e nos anos 2013 e 2014, respectivamente. Como pode ser observado, este componente não apresentou variação estatística em nenhum ano, cultivar e tratamento.

TABELA 14. Número de grãos espiga⁻¹ das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2010 e 2011.

Ano	Tratamento	Mirante	Quartzo
		Grãos espiga ⁻¹ ----- (n°) -----	
2010	Sem N adicional	18,1 ns	22,6 ns
	Florescimento	19,0	22,6
	CV ¹ (%)	8,20	7,75
2011	Sem N adicional	15,1 ns	16,3 ns
	Emborrachamento	15,3	17,9
	Florescimento	14,3	16,4
	CV(%)	9,3	11,10

¹Coefficiente de variação
ns= não significativo

TABELA 15. Número de grãos espiga⁻¹ das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo, TBIO Mestre e BRS Parrudo em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento, em 2013 e 2014.

Ano	Época	TBIO Alvorada	TBIO Sinuelo	TBIO Mestre	BRS Parrudo
		Grão espiga ⁻¹ ----- (n°) -----			
2013	Sem N adicional	21,1 ns	22,8 ns	20,4 ns	----
	Afilhamento	21,2	26,1	19,5	----
	Emborrachamento	24,3	24,1	20,5	----
	Florescimento	22,7	23,7	21,2	----
	CV(%) ¹	9,51	8,58	8,40	
2014	Sem N adicional	----	21,5 ns	23,4 ns	25,7 ns
	Afilhamento	----	23,9	22,8	25,4
	Emborrachamento	----	21,4	24,8	26,0
	Florescimento	----	21,2	21,3	25,5
	40+100 kg de N ²	----	23,8	21,9	25,6
	CV(%)		14,40	8,77	9,45

¹Coefficiente de variação

²40 kg de N ha⁻¹ na emergência das plântulas e 100 kg ha⁻¹ na sexta folha

ns= não significativo

O rendimento de grãos em trigo pode ser estimado pelos seus componentes, os quais, por sua vez, são definidos em pré-antese (número de plantas área^{-1} , número de espigas m^{-2} e número de grãos espiga $^{-1}$) e em pós-antese (peso do grão). Todos os componentes do rendimento de grãos de trigo podem se beneficiar em maior ou menor grau da adubação nitrogenada, com exceção da população de plantas, a qual é influenciada por fatores como densidade de semeadura, qualidade de semente e condição física do solo (Lamothe *et al.*, 2006).

O suprimento de N para as plantas de trigo nos períodos em que o potencial de rendimento de grãos está sendo estabelecido é fundamental para promover elevado rendimento de grãos, sendo que os componentes de rendimento de grãos, como o número de espigas por área e o número de espiguetas por espiga, sofrem forte influência pela variação do momento em que o nitrogênio é fornecido (Braz *et al.*, 2006).

O nitrogênio deve ser fornecido às plantas de trigo preferencialmente entre a emergência e a emissão da 7ª folha do colmo principal. No início deste período, existe alta exigência de N para estabelecer o número de espiguetas diferenciadas e, conseqüentemente, o número de grãos por espiga. Na época da emissão da sétima folha do colmo principal, o fornecimento de nitrogênio é crítico para determinar a sobrevivência de maior número de colmos e, assim, potencializar o número de espigas por área (Bredemeier & Mundstock, 2001). Sendo assim, em relação à adubação nitrogenada, as adubações de base e cobertura (estádio de 6-7 folhas completamente expandidas) são as principais formadoras do potencial produtivo em trigo.

Os resultados reportados na literatura para aplicações de N em estádios de desenvolvimento mais próximos a floração têm sido variáveis. Garrido-lestache *et al.*(2004) e Yano *et al.* (2005) não observaram incremento no rendimento de grãos com aplicação de N no espigamento e emborrachamento, respectivamente. Por outro lado, Abedi *et al.* (2011) verificaram resposta significativa de incremento do rendimento de grãos em função da aplicação de N por ocasião do enchimento de grãos. Pequenos incrementos nos diferentes componentes do rendimento de grãos, mesmo sem apresentar diferença estatística, quando somados podem favorecer o incremento do rendimento de grãos.

4.2 Teor de proteína e acúmulo de nitrogênio no grão em função da adubação nitrogenada

Para os cereais de estação fria, o nitrogênio é o nutriente com maior influência sobre o potencial produtivo (Varianni, 2010). Além do potencial produtivo, em trigo a disponibilidade de N no ambiente tem efeito sobre o conteúdo de proteína e a composição do grão, o que, por sua vez, pode afetar suas propriedades para processamento (Chope *et al.*, 2014).

O aumento no rendimento de grãos pode reduzir a qualidade do trigo para panificação, uma vez que, em situação de elevado rendimento (elevado número de grãos por unidade de área), pode ocorrer a diluição da proteína entre os grãos formados. Portanto, a gestão adequada da fertilização nitrogenada é essencial para assegurar a produção de trigo de alta qualidade (Abedi *et al.*, 2011).

Nos experimentos realizados foi verificado o teor de proteína em função dos tratamentos utilizados. Para a cultivar Quartzo e Mirante, nos anos de 2010 e 2011, independente da época que foi fornecida a dose adicional de N

(emborrachamento ou florescimento), foi constatado aumento do teor de proteína em relação ao tratamento que não recebeu esta aplicação de N adicional (Figuras 10 e 11).

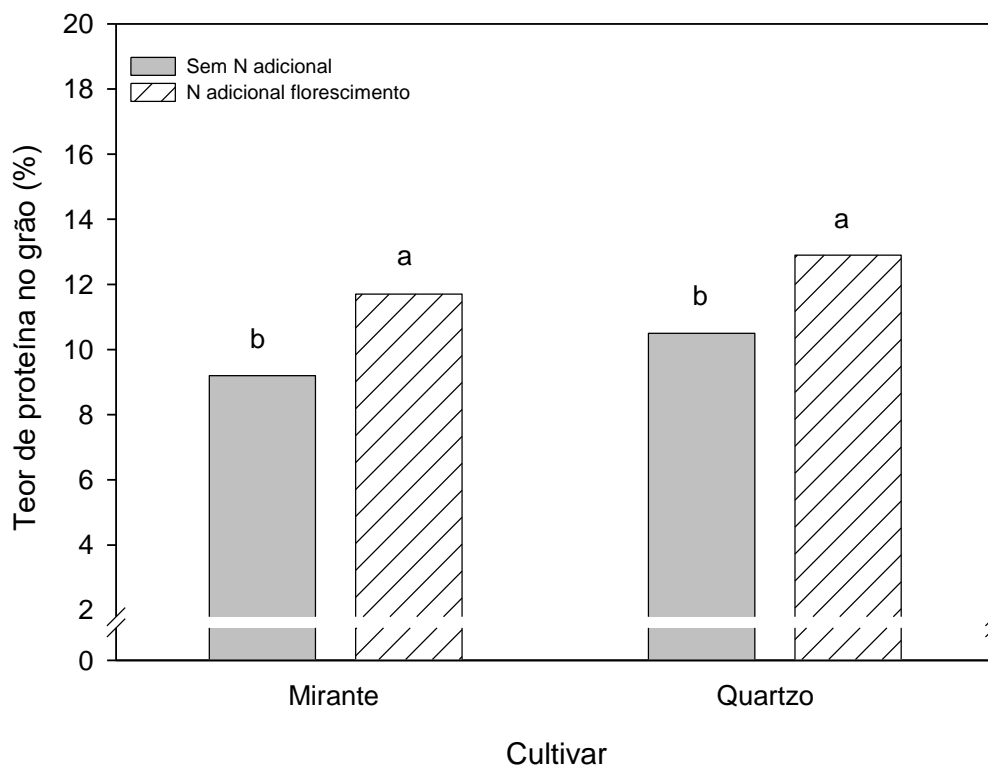


FIGURA 10. Teor de proteína nos grãos nas cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função da aplicação de nitrogênio no estágio de florescimento, em 2010. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. Eldorado do Sul, RS.

No ano de 2010, a cultivar Quartzo apresentou teor de proteína de 10,5% quando não houve aplicação de N no estágio de florescimento, sendo que a aplicação de N neste período promoveu aumento para 12,9% no teor de proteína (Figura 10). O mesmo comportamento foi verificado com a cultivar de trigo Mirante, na qual o teor de proteína aumentou de 9,3% para 11,7% em função da aplicação adicional de N no estágio de florescimento da cultura (Figura 10).

Já em 2011, a variação no teor de proteína foi maior. No caso da cultivar Quartzo, foi observado aumento de 10,7% para 14,0% no teor de proteína quando as plantas receberam N por ocasião do emborrachamento ou florescimento da cultura (Figura 11). A cultivar Mirante, por outro lado, apresentou teor de proteína de 10,5% quando não foi fornecido N nos estádios tardios, sendo que o teor de proteína aumentou para 13% e 12,3% quando ocorreu aplicação adicional de N nos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura, respectivamente (Figura 11).

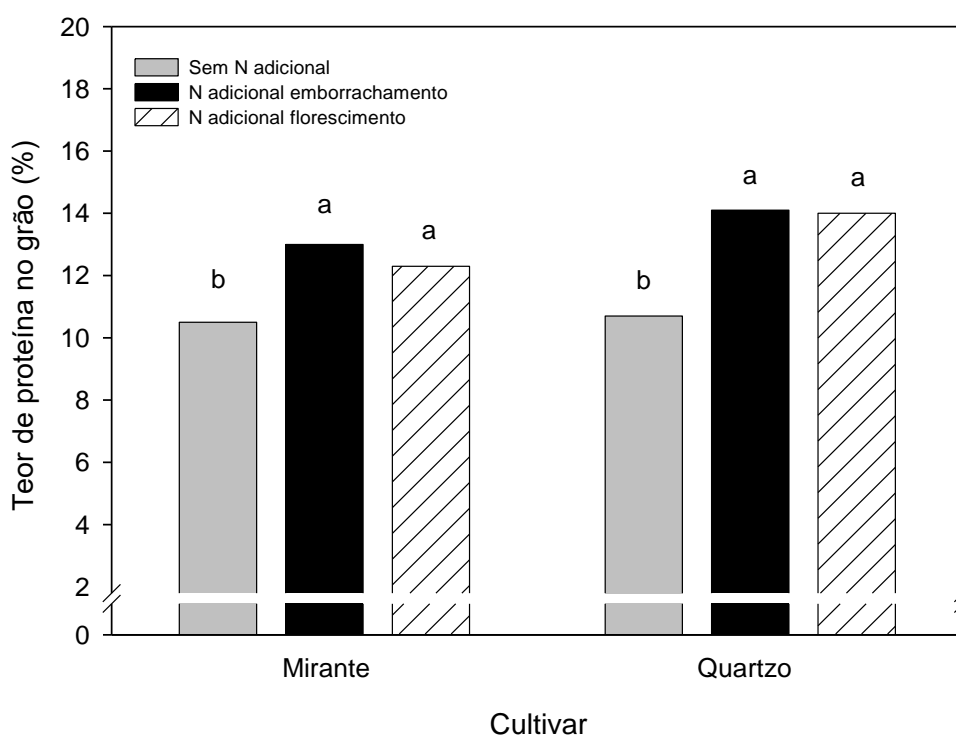


FIGURA 11. Teor de proteína nos grãos das cultivares de trigo Quartzo e Mirante, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento, em 2011. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Eldorado do Sul, RS.

Em 2013, a cultivar TBIO Alvorada apresentou reposta ligada a época de aplicação, pois os maiores teores de proteína apresentados foram observados

quando o N adicional foi fornecido em estádios mais tardios de desenvolvimento da cultura (emborrachamento ou florescimento) (Figura 12). A aplicação tardia na cultivar TBIO Alvorada aumentou entre 1,5 e 2,5 pontos percentuais o teor de proteína no grão. Já as cultivares TBIO Sinuelo e TBIO Mestre não apresentaram essa mesma resposta (Figura 12).

A cultivar TBIO Sinuelo apresentou os menores teores de proteína para o tratamento que recebeu N adicional no aphilamento. Os grãos do tratamento que não recebeu N adicional e os grãos do tratamento em que o N foi aplicado no florescimento não apresentaram diferença estatística. O maior teor de proteína foi verificado quando o N foi fornecido no estágio de emborrachamento. Já a cultivar TBIO Mestre apresentou teor de proteína mais elevado quando o N adicional foi fornecido no estágio de florescimento da cultura. Os resultados encontrados para as três cultivares, no ano de 2013, indicam que aumento de proteína no grão teve relação com a época de aplicação de N, sendo maior quando o N foi aplicado em estádios tardios do desenvolvimento da cultura (Emborrachamento ou florescimento da cultura).

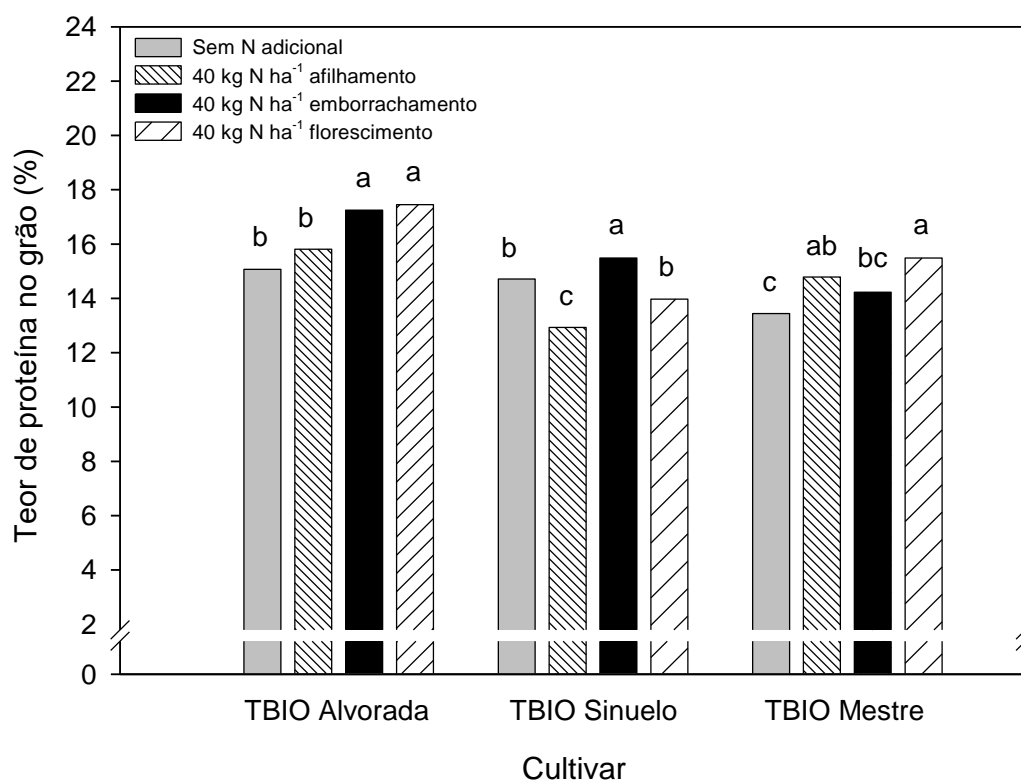


FIGURA 12. Teor de proteína nos grãos das cultivares de trigo TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e TBIO Mestre, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento, em 2013. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Eldorado do Sul, RS.

Todos os tratamentos receberam a aplicação de 20 kg de N ha⁻¹ na emergência das plântulas e a dose de 80 kg de N ha⁻¹ no estádio de seis folhas. Assim, o tratamento que não recebeu N adicional recebeu o total de 100 kg de N ha⁻¹, enquanto que os tratamentos que receberam 40 kg de N ha⁻¹ no afilhamento, florescimento ou no emborrachamento receberam a aplicação de dose total de 140 kg de N ha⁻¹ durante todo o ciclo. Assim, foi inserido um tratamento adicional no ano de 2014, o qual teve a dose de N na base de 40 kg ha⁻¹ e 100 kg ha⁻¹ no estádio de seis folhas, totalizando também a dose total de 140 kg de N ha⁻¹.

Em 2014, a cultivar TBIO Mestre apresentou maior teor de N no tratamento que recebeu aplicação adicional de N no estágio de florescimento e no tratamento que foi introduzido nesse ano de pesquisa, no qual se aplicou 40 kg de N ha⁻¹ na emergência das plantas e 100 kg ha⁻¹ no estágio de seis folhas expandidas do colmo principal (Figura 13). A cultivar TBIO Sinuelo também apresentou resposta semelhante à cultivar TBIO Mestre, com teores de proteína mais elevados nos mesmos tratamentos, sendo superiores os demais tratamentos (Figura 13). Já a cultivar BRS Parrudo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, apresentando alto teor de proteína em todos os tratamentos (Figura 13).

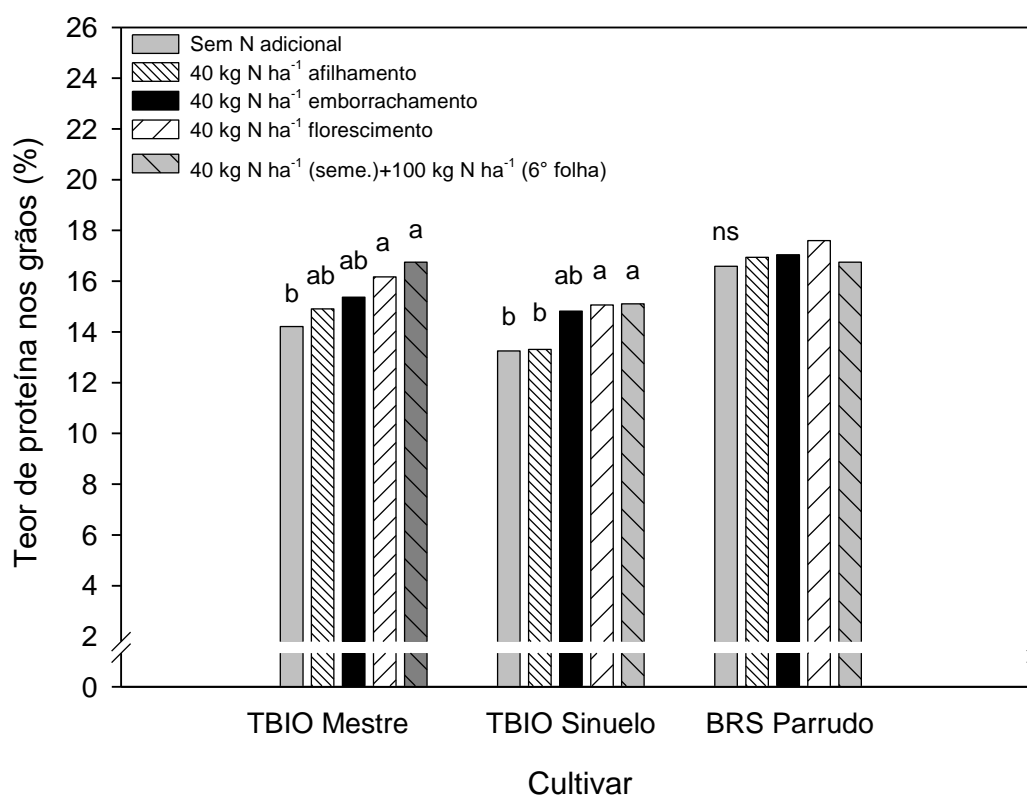


FIGURA 13. Teor de proteína nos grãos das cultivares de trigo TBIO Mestre, TBIO Sinuelo e BRS Parrudo, em função da aplicação de nitrogênio nos estádios de afilamento, emborrachamento ou florescimento ou da dose de 40 kg de N ha⁻¹ (emergência) e 100 kg de N ha⁻¹ (sexta folha), em 2014. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

Com os resultados encontrados nos quatro anos de pesquisa, pode-se afirmar que, na maioria das situações, ocorreu aumento do teor de proteína nos grãos com a aplicação adicional de N nos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura do trigo. Entretanto, a resposta do teor de proteína em relação do nitrogênio variou conforme o genótipo considerado.

A síntese e o acúmulo de proteínas em resposta à disponibilidade de N são dependentes de fatores genéticos, variando entre espécies. Dentro da mesma espécie, existem variações entre genótipos e, considerando o limite genético, a quantidade de proteína produzida é influenciada por fatores nutricionais, principalmente pela adubação nitrogenada (Rodrigues *et al.*, 2010c), mas as condições meteorológicas do ano de cultivo como, por exemplo, temperatura do ar e precipitação pluvial, também influenciam o acúmulo de proteínas nos grãos (Chope *et al.*, 2014; Dupont *et al.*, 2006). Dependendo do estágio de desenvolvimento de ocorrência dessas condições e da cultivar utilizada, as respostas ao N podem ser contrastantes.

A divisão da quantidade total de N a ser aplicada em maior número de aplicações tem sido considerada como estratégia para aumentar a concentração de N nos grãos (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2012). Desta maneira, aplicações tardias de N para promover aumento do teor de proteína e para melhoria da qualidade de grãos tem sido objeto de estudo de inúmeros trabalhos de pesquisa. Garrido-Lestache *et al.* (2004) verificaram aumento no teor de proteína em grãos de trigo em três anos de estudo, em função da aplicação foliar de ureia por ocasião da emergência da espiga (espigamento), sendo esta resposta igualmente reportada por Fuertes-Mendizábal *et al.* (2010).

Visando estudar de maneira mais aprofundada a resposta do teor de proteína em relação à aplicação tardia de N na cultura do trigo, foram realizadas, no ano de 2013, avaliações de reflectância do dossel.

A avaliação das propriedades ópticas das folhas, tais como transmitância, reflectância e fluorescência, são formas indiretas de avaliar o estado nutricional de uma cultura. A reflectância do dossel foi avaliada no experimento conduzido no ano de 2013, utilizando-se o radiômetro óptico ativo Greenseeker. Este equipamento fornece o valor do “índice de vegetação por diferença normalizada” (NDVI). Também, foi avaliada a transmitância da folha bandeira, pelo emprego de clorofilômetro, a qual indica o valor relativo do teor de clorofila na folha. As leituras com o sensor Greenseeker foram realizadas entre o início do emborrachamento e durante o enchimento de grãos da cultura.

A variação nos valores do NDVI ao longo deste período de desenvolvimento está apresentada na Figura 14 para as cultivares TBIO Sinuelo (Figura 14.a) e TBIO Alvorada (Figura 14.b). Já as leituras com o clorofilômetro foram realizadas durante o enchimento de grãos na cultivar TBIO Sinuelo (Figura 15.a) e TBIO Alvorada (Figura 15.b).

As variações do NDVI durante o ciclo da cultura ocorrem em função do acúmulo de biomassa na parte aérea durante o período vegetativo (Grohs, 2008) e do maior acúmulo de N nos tecidos em função da aplicação de doses crescentes de fertilizante nitrogenado (Wright, 2004). A maior disponibilidade de nitrogênio aumenta o acúmulo de biomassa e a quantidade de moléculas de clorofila nas folhas. Quanto maior o acúmulo de biomassa fotossinteticamente ativa, maior é a reflectância da energia incidente na porção do infravermelho próximo (IVP) do espectro e menor é a reflectância no intervalo de comprimento

de onda correspondente ao vermelho (V), havendo aumento da razão IVP/V (Rizzi, 2004) e, em consequência, aumento do valor do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

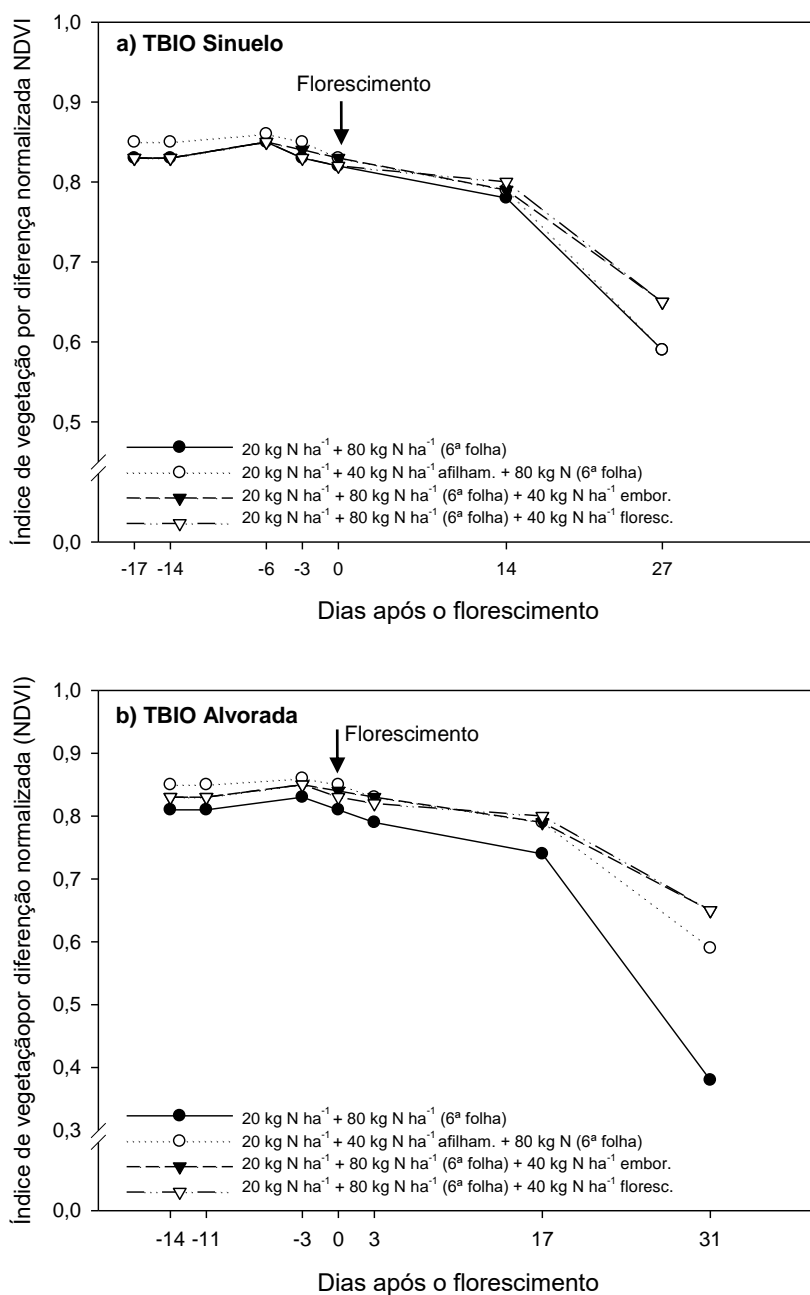


FIGURA 14. Variação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) das cultivares de trigo TBIO Sinuelo (a) e TBIO Alvorada (b) entre o início do emborrachamento e durante o enchimento de grãos, em função da aplicação de nitrogênio adicional nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento ou sem aplicação de N adicional, em 2013. Eldorado do Sul, RS. 0=dia do florescimento.

A partir do florescimento, todos os tratamentos, nas duas cultivares, apresentaram redução no valor do NDVI (Figura 14), sendo que, a partir dos 14 dias após o florescimento, essa queda se acentua na cultivar TBIO Sinuelo, ficando visível a separação entre os tratamentos que receberam N tardio, os quais apresentam maior NDVI, e os demais tratamentos (Figura 14.a). Na cultivar TBIO Alvorada, essa diminuição mais acentuada no NDVI ocorreu a partir de 17 dias após o florescimento, sendo que o tratamento que não recebeu N adicional e o tratamento que recebeu N no afilhamento apresentaram diminuição mais acentuada dos valores de NDVI (Figura 14.b).

Além da avaliação do NDVI, foi realizada medição do teor relativo de clorofila na folha, utilizando equipamento denominado clorofilômetro. A utilização deste instrumento está fundamentada na relação existente entre teor de N e teor de clorofila na folha (Rambo, 2008). Como pode ser observado na Figura 15, o teor relativo de clorofila na folha apresentou queda acentuada em torno da metade do enchimento dos grãos. As 29 dias após o florescimento, as duas cultivares apresentam dois grupos distintos em relação ao teor relativo de clorofila na folha, ou seja, um grupo com teor de clorofila mais elevado, composto pelos tratamentos que receberam aplicação adicional de N nos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura e um grupo com o teor de clorofila mais baixo, composto pelo tratamento que não recebeu N adicional e o tratamento que recebeu aplicação adicional de N no estágio de afilhamento (Figura 15).

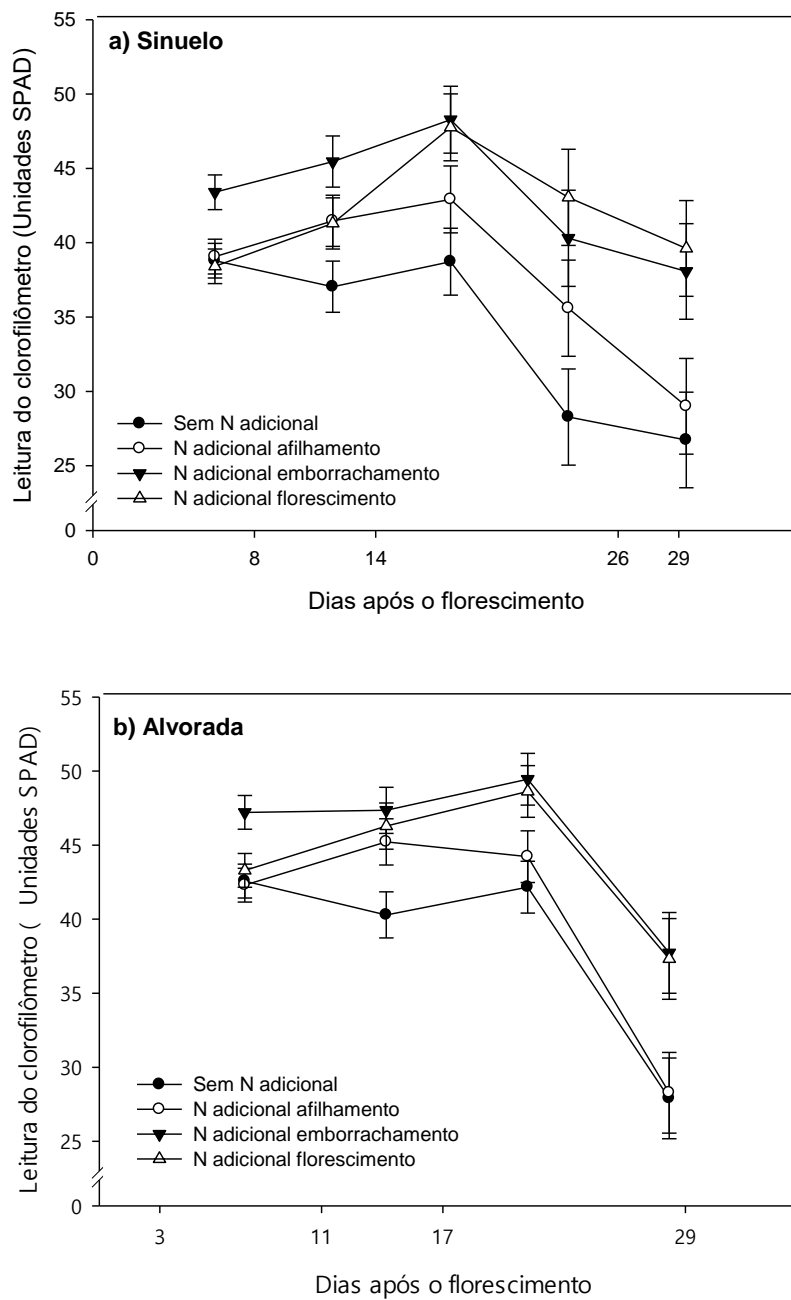


FIGURA 15. Variação do teor relativo de clorofila na folha (leitura do clorofilômetro) nas cultivares de trigo TBIO Sinuelo (a) e TBIO Alvorada (b) durante o enchimento de grãos, em função da aplicação de nitrogênio adicional nos estádios de afilhamento, emborrachamento ou florescimento ou sem aplicação de N adicional, em 2013. Eldorado do Sul, RS.

Existem duas fontes de N para os grãos, ou seja, o N armazenado em partes vegetativas da planta até a antese e a absorção de N diretamente do solo após a antese, ou seja, o N absorvido durante o enchimento de grãos (Fuertes-Mendizábal *et al.*, 2010). Aproximadamente dois terços do N acumulado nos grãos de trigo são provenientes da translocação deste nutriente das partes vegetativas, o qual foi assimilado antes da antese e, aproximadamente, um terço de N acumulado é assimilado durante o período de enchimento de grãos (Rodrigues *et al.*, 2010c). O N absorvido desde o início do espigamento (emergência da inflorescência) contribui principalmente para o incremento do teor de proteína do grão (Lamonthe, 2006).

Do mesmo modo que foi acompanhado, em 2013, o comportamento do enchimento de grãos para as cultivares TBIO Sinuelo, TBIO Alvorada e Quartzo, por meio de coletas periódicas de grãos da antese até a maturação fisiológica dos grãos, também foi avaliado o acúmulo de N nos grãos no tratamento que não recebeu N adicional e no tratamento que recebeu 40 kg de N ha⁻¹ no estágio de emborrachamento. A partir de informações geradas pelo modelo matemático *Gompertz*, se calculou a taxa média, a taxa máxima e a taxa de acúmulo diária de nitrogênio nos grãos dos dois tratamentos acima citados (Tabela 16).

Como pode ser visto na Tabela 16, todas as cultivares apresentaram taxa média de acúmulo de N no grão superior no tratamento que recebeu aplicação adicional de N no estágio de emborrachamento, quando comparado ao tratamento que não recebeu esta aplicação adicional de N. A taxa máxima de acúmulo de N no grão também foi superior, em todas as cultivares, no tratamento que recebeu aplicação adicional de N. Isso resultou em maior quantidade de N acumulado nesse tratamento. Isso justifica o maior teor de proteína observado

nessas cultivares no tratamento que recebeu aplicação adicional de N no emborrachamento, no estudo conduzido em 2013.

TABELA 16. Quantidade acumulada de nitrogênio durante o período de enchimento, taxa média e taxa máxima de acúmulo de N nos grãos nas cultivares TBIO Alvorada, TBIO Sinuelo e Quartzo, em função da aplicação ou não de N adicional no estágio do emborrachamento, em 2013. Eldorado do Sul, RS.

Cultivar	Tratamento	Nitrogênio acumulado (mg)	Taxa média (mg grão⁻¹)	Taxa máxima (mg grão⁻¹ dia⁻¹)
Alvorada	Sem N adicional	4,68	0,12	0,16
	N Emborrachamento	5,24	0,13	0,17
Sinuelo	Sem N adicional	4,66	0,12	0,21
	N Emborrachamento	5,39	0,14	0,23
Quartzo	Sem N adicional	4,94	0,12	0,17
	N Emborrachamento	5,54	0,13	0,18

Na Figura 16, pode-se observar que, durante o período de enchimento de grãos, o acúmulo diário de N apresentou diferenças entre os tratamentos para todas as cultivares. A cultivar TBIO Alvorada apresentou maior acúmulo em toda metade final do enchimento de grãos quando foi fornecido N adicional no estágio do emborrachamento. As demais cultivares (TBIO Sinuelo e Quartzo) apresentaram diferenças na taxa de acúmulo diário no final do período de enchimento de grãos, sendo esta taxa superior no tratamento que recebeu aplicação adicional de N no estágio de emborrachamento, quando comparado ao tratamento que não recebeu esta aplicação (Figura 16).

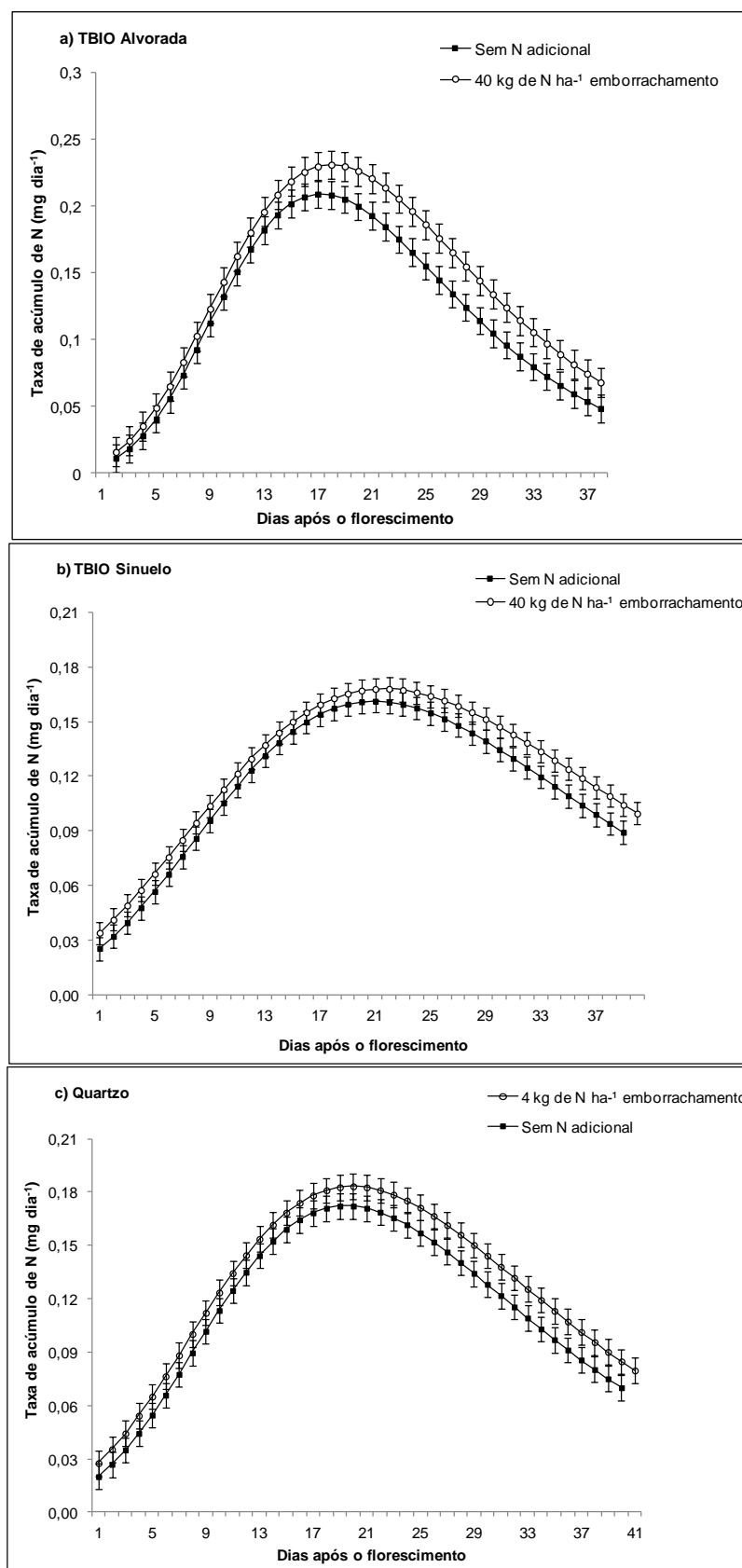


FIGURA 16. Taxa diária de acúmulo de N nas cultivares de trigo TBIO Alvorada (a), TBIO Sinuelo (b) e Quartzo (c), em função da aplicação ou não de N adicional no estágio do emborrachamento, em 2013. Eldorado do Sul, RS.

4.3 Qualidade tecnológica de grãos de trigo em resposta à adubação nitrogenada

Os principais parâmetros utilizados para analisar a qualidade de grãos de trigo e, conseqüentemente, definir o seu uso final são quantificados pelos testes de alveografia, farinografia, número de queda (Falling number) e peso do hectolitro (PH). Abaixo, será apresentado como os principais parâmetros de qualidade tecnológica foram influenciados pela adubação nitrogenada.

4.3.1 Alveografia

4.3.1.1 Força de glúten (W)

Entre os parâmetros que definem a qualidade tecnológica do trigo, o valor de W é um dos mais importantes, sendo utilizado para classificar o trigo, junto com a estabilidade e o número de queda.

Na legislação vigente, Normativa nº 38 (Brasil, 2010), os valores para W estabelecidos em cada classe são: trigo “básico”, com valor de W entre $100 \times 10^{-4} \text{J}$ e $159 \times 10^{-4} \text{J}$; trigo “doméstico”, com valores de W entre $160 \times 10^{-4} \text{J}$ e $219 \times 10^{-4} \text{J}$; trigo “pão”, com valores de W entre $220 \times 10^{-4} \text{J}$ e $299 \times 10^{-4} \text{J}$ e “melhorador”, que deve apresentar valor de W igual ou superior a $300 \times 10^{-4} \text{J}$ (Brasil, 2010). Trigos com W inferior a $100 \times 10^{-4} \text{J}$ são classificados como “outros usos”. Conforme varia a finalidade do produto, também variam os valores de W que o grão de trigo precisa apresentar.

Existe grande discussão em relação aos efeitos da adubação nitrogenada no aumento dos valores de W, tanto para dose como para a época de aplicação.

Nas avaliações realizadas nos anos de 2010, 2011 e 2014, os tratamentos que receberam aplicação de N adicional nos estádios de emborrachamento ou

florescimento apresentaram valores superiores de W em relação ao tratamento que não recebeu N adicional (Figura 17). O ano de 2013 foi o que apresentou menores variações nos valores de W , sendo que a cultivar TBIO Alvorada não apresentou diferença estatística entre os tratamentos e a cultivar TBIO Sinuelo apresentou diferença apenas entre o tratamento com aplicação suplementar de N no afilhamento e os tratamentos com aplicação de N no emborrachamento ou florescimento (Figura 17). Houve grande amplitude de resposta à adubação adicional de N nas cultivares e nos anos analisados (Figura 17).

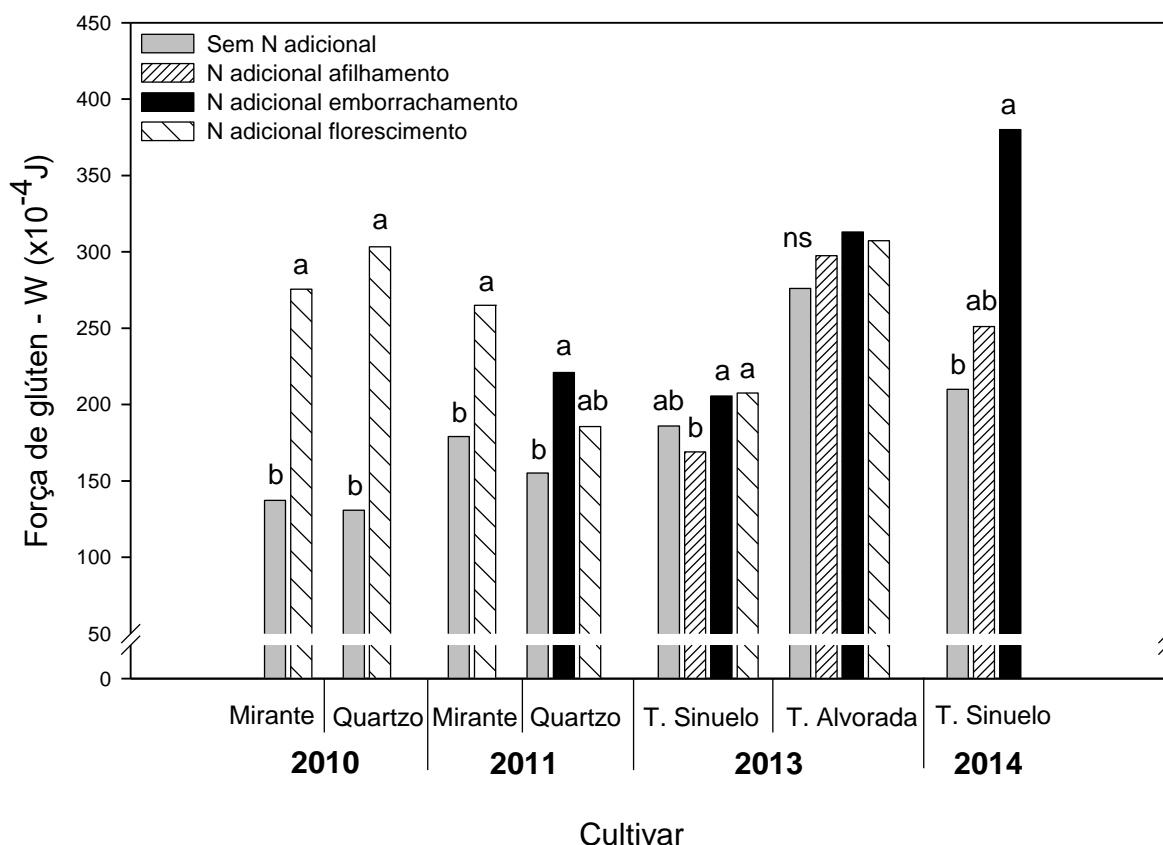


FIGURA 17. Força de glúten (W) das diferentes cultivares de trigo utilizadas nos experimentos de 2010, 2011, 2013 e 2014, em função da aplicação adicional de nitrogênio no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

No ano de 2010, na cultivar Quartzo, os grãos do tratamento que não recebeu aplicação de N no florescimento seriam classificados como “doméstico”. Por outro lado, os grãos resultantes do tratamento que recebeu suplementação de N por ocasião do florescimento passariam a ser enquadrados na classificação trigo “melhorador”, considerando somente os valores de W para a classificação (Figura 17).

No experimento conduzido em 2011, a força de glúten apresentou menor variação. Sem aplicação de N no estágio de florescimento, os grãos da cultivar Quartzo apresentaram valor de W igual a $155 \times 10^{-4} \text{J}$. Por outro lado, quando foi fornecido N no florescimento, o valor de W aumentou para $186 \times 10^{-4} \text{J}$ (Figura 17). Considerando somente o valor de W, os grãos de trigo do tratamento que recebeu N no período de florescimento, apesar de apresentarem maior valor de força de glúten (W) em comparação ao tratamento que não recebeu N no florescimento, não seriam enquadrados em classe superior, sendo classificados na classe “doméstico”. Para a cultivar Quartzo, em 2011, o melhor resultado para força de glúten foi observado no tratamento que recebeu aplicação de N por ocasião do estágio de emborrachamento, apresentando valor de W de $221 \times 10^{-4} \text{J}$, sendo classificado como “pão”.

A cultivar Mirante apresentou o mesmo comportamento nos dois anos de estudo que incluíram esta cultivar (Figura 17). Quando não foi fornecido N no período de florescimento, no ano de 2010, o valor de W foi de $137 \times 10^{-4} \text{J}$ e, no ano de 2011, de $179 \times 10^{-4} \text{J}$, sendo classificada como “doméstico”, segundo Normativa nº 38 (Brasil, 2010). Já quando houve a aplicação de N adicional por ocasião do florescimento, o valor de W aumentou para $275 \times 10^{-4} \text{J}$, em 2010, e para $265 \times 10^{-4} \text{J}$, em 2011. Nos dois anos, os grãos do tratamento que recebeu aplicação adicional

de N no estágio de florescimento seriam classificados na classe “pão”, levando em consideração apenas a força de glúten (Brasil, 2010).

No ano de 2013, a cultivar TBIO Sinuelo não apresentou diferença significativa entre o tratamento que não recebeu N adicional e a aplicação tardia de N (emborrachamento ou florescimento), sendo que os grãos de trigo provenientes de qualquer tratamento na cultivar TBIO Sinuelo seriam classificados como trigo “doméstico”. O tratamento que recebeu N por ocasião do afilhamento apresentou os menores valores de W, mas também se enquadrariam na classe “doméstico” (Figura 17).

Apesar de não haver diferença estatística entre os diferentes tratamentos para valores de força de glúten (W) na cultivar TBIO Alvorada, os valores de W foram superiores a $300 \times 10^{-4} \text{J}$ nos tratamentos que receberam N tardio (emborrachamento e florescimento). Assim, considerando somente o valor de W, este trigo seria classificado como trigo “melhorador”. Já para o tratamento que não recebeu N adicional e o tratamento que recebeu N adicional por ocasião do afilhamento, os grãos seriam classificados como trigo “pão”.

No ano de 2014, a única cultivar analisada no teste de alveografia foi a cultivar TBIO Sinuelo. O tratamento que não recebeu N adicional e o tratamento em que o N foi suplementado no afilhamento foram enquadrados na classe “pão”. Já quando a suplementação de N ocorreu mais tardiamente (emborrachamento), a classe foi de trigo “melhorador” (Figura 17).

Esta grande diferença observada em 2010 e 2014 entre os tratamentos sem aplicação adicional de N e com aplicação adicional de N em estádios mais tardios (emborrachamento ou florescimento) (Figura 17) pode estar relacionada ao período de tempo no qual as amostras de grãos de trigo permaneceram

armazenadas. As amostras de grãos do experimento realizado em 2010 e 2014 foram armazenadas em sacos de papel em câmara fria na Estação Experimental Agronômica/UFRGS (Eldorado do Sul, RS) sob temperatura do ar de 10°C, por período aproximado de 10 meses, antes de serem encaminhadas para realização do teste reológico de alveografia.

Carneiro *et al.* (2005) avaliaram a variação na força de glúten (W) de grãos de trigo armazenados durante um período de oito meses e verificaram que, durante o período de armazenamento, a força de glúten (W) aumentou. Neste caso, a melhor qualidade da farinha de grãos de trigo armazenados pode estar relacionada com modificações bioquímicas que ocorrem nos grãos durante o armazenamento. Deliberali *et al.* (2010) observaram incremento da força de glúten (W) nos grãos até o oitavo mês de armazenamento após a colheita e redução da força de glúten aos 12 meses de armazenamento.

Um mecanismo que ocorre durante o armazenamento dos grãos é que os grupos tióis (-SH) presentes na proteína do trigo sofrem oxidação, favorecendo a formação de pontes dissulfídicas, as quais fortalecem o glúten e aumentam a capacidade elástica (elasticidade) da massa. Essa oxidação seria promovida pelo oxigênio atmosférico e/ou pela presença de ácidos graxos livres, os quais, durante o período de armazenamento, tem sua concentração aumentada (Pirozzi & Germani, 1998).

Em contrapartida, Mezei *et al.* (2007) avaliaram quatro genótipos de trigo durante 129 dias de armazenamento, sendo que, em todos os genótipos, foi observado decréscimo entre 20% e 40% nos valores de força de glúten (W). Assim, diferentes genótipos de trigo podem apresentar comportamento distinto

em relação à influência do tempo de armazenamento sobre a qualidade tecnológica da farinha (Pirozzi & Germani, 1998).

O aumento nos valores de W verificado nos anos de estudo com a adubação nitrogenada adicional nos estádios de emborrachamento ou florescimento corroboram com os resultados de Fuertes-Mendizábal *et al.* (2010), que verificaram aumento de 83% na força de glúten quando a dose de 140 kg de N ha⁻¹ foi parcelada em três aplicações, incluindo uma aplicação no estádio de espigamento da cultura. Aplicações de N realizadas no início do espigamento também aumentaram o teor de proteína do grão e a força de glúten (W) em experimentos realizados durante três anos por Garrido-Lestache *et al.* (2004).

4.3.1.2 Extensibilidade (L), Tenacidade (P) e Relação P/L

A força de glúten (W) é definida pela área do gráfico gerada pelo valor P , relacionado à tenacidade (Figura 18), e o valor L , relacionado à extensibilidade da massa (Figura 19). A relação entre esses parâmetros (relação P/L) (Figura 20) também é um indicativo de qualidade, uma vez que farinhas com valores da relação P/L abaixo de 0,60 podem ser consideradas de glúten extensível, de 0,61 a 1,20 de glúten balanceado, e com valores de P/L acima de 1,21 de glúten tenaz (Guarienti, 1996). Estes valores também influenciam na destinação final dos grãos de trigo.

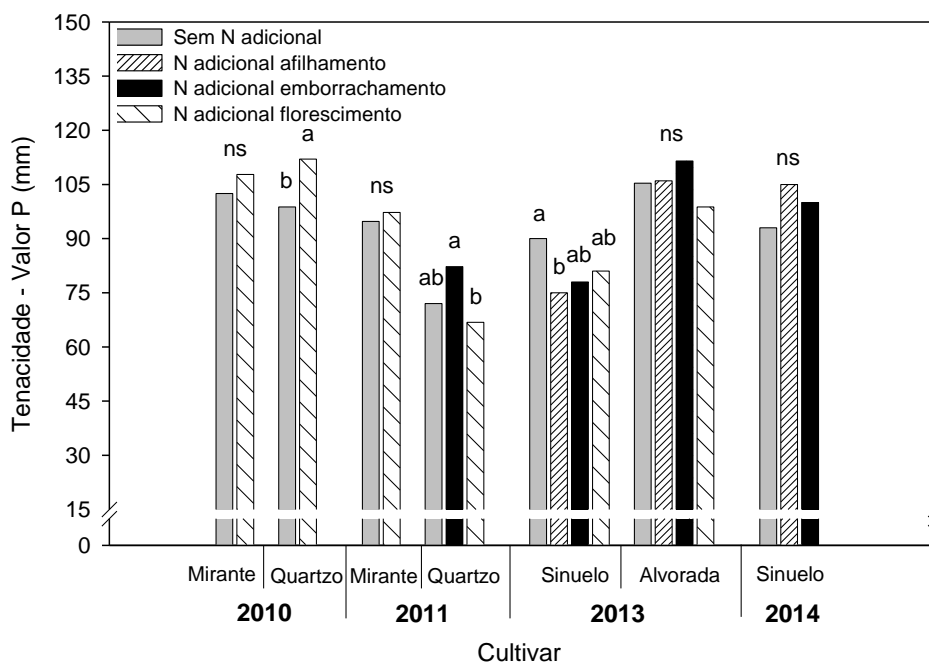


FIGURA 18. Tenacidade (P) das diferentes cultivares de trigo utilizadas nos experimentos de 2010, 2011, 2013 e 2014, em função da aplicação adicional de nitrogênio no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

No ano de 2010, a cultivar Quartzo apresentou incremento nos valores de P (tenacidade da massa) quando foi fornecido N adicional no estágio de florescimento, sendo que o valor de P aumentou de 98,8 mm para 112 mm, quando se compara os tratamentos sem ou com aplicação de N no florescimento (Figura 18). Já no ano de 2011 (Figura 18), o valor mais baixo de P para a cultivar Quartzo foi observado no tratamento que recebeu aplicação adicional de N no florescimento, enquanto que o valor mais elevado foi verificado quando foi aplicado N por ocasião do emborrachamento da cultura.

No caso da cultivar Mirante, em 2010 e 2011, e da cultivar TBIO Alvorada, em 2013, não foi observada diferença significativa entre os diferentes tratamentos (Figura 18).

A cultivar TBIO Sinuelo, no ano de 2013, apresentou comportamento oposto a cultivar Quartzo, apresentando maiores valores de P quando não foi fornecido N adicional. Já no ano de 2014, esta cultivar não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos (Figura 18).

De maneira geral, em todos os anos de estudo os valores de extensibilidade (L) (Figura 19) variaram mais que os valores de tenacidade(P) (Figura 18), em função da aplicação adicional de N em estádios mais tardios de desenvolvimento (emborrachamento ou florescimento).

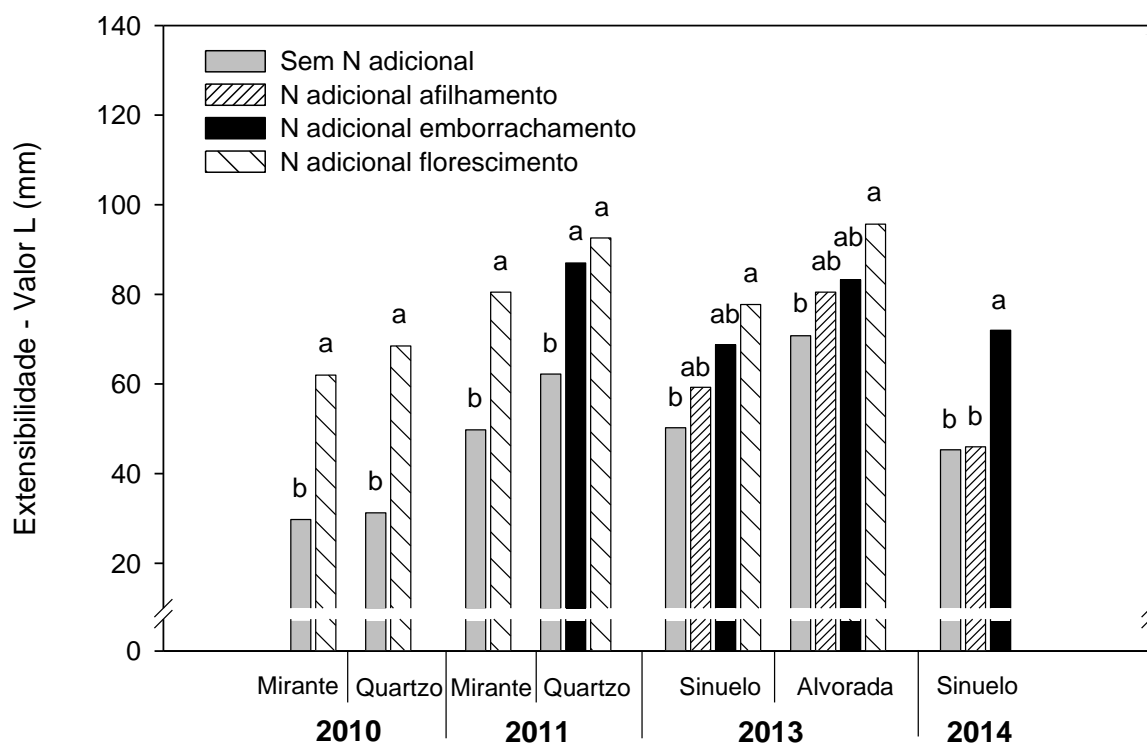


FIGURA 19. Extensibilidade (L) das diferentes cultivares de trigo utilizadas nos experimentos de 2010, 2011, 2013 e 2014, em função da aplicação adicional de nitrogênio no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

Em todas as cultivares e nos quatro anos de estudo, o tratamento que não recebeu N adicional apresentou os menores valores de extensibilidade da massa

(Valor L) (Figura 19). Apesar de não haver diferença estatística entre os tratamentos que receberam a dose de 40 kg de N ha⁻¹, o resultado encontrado mostra uma tendência de que, quanto mais tarde ocorre a aplicação de N, maior é o aumento no valor de L (extensibilidade), conforme mostrado na Figura 19.

Os resultados encontrados no presente trabalho concordam com os encontrados por Fuertes-Mendizabál *et al.* (2010). Estes autores verificaram que, tanto a maior dose de N como a maior divisão da dose (aplicação da mesma dose de N em duas ou três vezes), aumentou significativamente a extensibilidade da massa (Valor L), sendo que a dose de 140 kg de N ha⁻¹ dividida em três aplicações aumentou em 50% o Valor L (extensibilidade), em relação à aplicação parcelada em somente duas épocas.

As proteínas formadoras do glúten (gliadinas e gluteninas) diferem nas suas propriedades funcionais. As gluteninas são as principais determinantes da resistência da massa (tenacidade), enquanto que as gliadinas são determinantes da viscosidade da massa e sua extensibilidade. Assim, as gliadinas estão mais relacionadas ao parâmetro L e as gluteninas ao parâmetro P. As gliadinas e gluteninas diferem na sua resposta ao nitrogênio, sendo que as gliadinas apresentam aumento significativo quando aumenta a disponibilidade de N, resultando em aumento da extensibilidade da massa, enquanto que as gluteninas apresentam menor variação (Wan *et al.*, 2013).

Entre as diferentes frações de gliadinas e gluteninas, os resultados indicam que ômega-gliadinas são muito sensíveis à fertilização pós-antese, sendo uma importante fonte de variabilidade ambiental. Gluteninas de alto peso molecular (HMW-GS) e alfa-gliadinas também contribuem para essa variabilidade (Altenbach *et al.*, 2011), assim como gama-gliadinas, sendo que, recentemente,

foi identificada uma família de genes dessas proteínas que são responsivos à adubação nitrogenada (Wan *et al.*, 2013).

Os valores da relação P/L (tenacidade/extensibilidade) também foram afetados pela aplicação de N por ocasião dos estádios de emborrachamento ou florescimento da cultura (Figura 20).

Os valores ideais da relação P/L para fins de panificação artesanal variam entre 1,2 e 2,0 e, para panificação industrial, variam entre 0,8 e 1,5 (Cunha *et al.*, 2016). Os valores da relação P/L decresceram em todas as cultivares e em todos os anos de estudo quanto mais tarde (florescimento) foi realizada a aplicação da dose adicional de N.

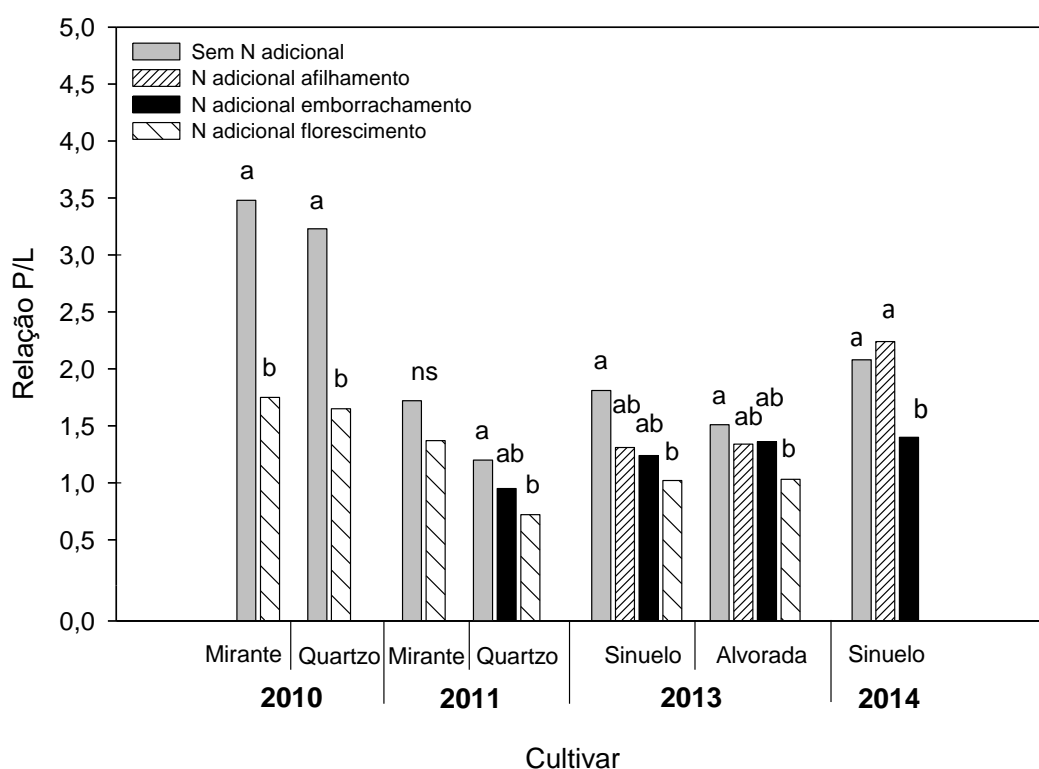


FIGURA 20. Relação P/L das diferentes cultivares de trigo utilizadas nos experimentos de 2010, 2011, 2013 e 2014, em função da aplicação adicional de nitrogênio no aphilamento, emborrachamento ou florescimento da cultura. Médias seguidas pela mesma letra, dentro de cada cultivar, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de significância. ns=não significativo. Eldorado do Sul, RS.

A redução da relação P/L em função da aplicação tardia de N no estágio de florescimento da cultura (Figura 20) foi ocasionada, principalmente, pelo aumento dos valores de extensibilidade (Valor L) (Figura 19) verificado nos diferentes estudos.

O aumento da relação P/L, com conseqüente acréscimo da tenacidade (Valor P) do glúten, pode ser provocado pela elevação do teor de gluteninas, as quais são proteínas de elevada tenacidade (resistência à extensão) e baixa extensibilidade. A redução da relação P/L, por outro lado, pode ser explicada pelo aumento do teor de gliadinas, que são responsáveis pela alta extensibilidade do glúten, ou seja, sua habilidade de esticar sem romper (Mandarino, 1993).

4.3.2 Farinografia

4.3.2.1 Estabilidade, desenvolvimento e absorção de água

A farinografia é usada para indicar as propriedades de mistura e processamento da massa de farinha de trigo. Os parâmetros avaliados pelo método informam o comportamento da massa durante o amassamento, sendo um dos testes mais completos e sensíveis para avaliação de qualidade de mistura e absorção de água da massa da farinha de trigo. O teste de farinografia foi realizado somente nas cultivares TBIO Sinuelo (Tabela 17) e TBIO Alvorada (Tabela 18).

TABELA 17. Parâmetros avaliados na farinografia (absorção de água, desenvolvimento da massa, estabilidade – EST e índice de tolerância à mistura - ITM) da cultivar TBIO Sinuelo, em função das diferentes épocas de aplicação adicional de nitrogênio, em 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.

Ano	Época de aplicação de N adicional	Abs. água (%)	Desenvolvimento (min)	EST. (min)	ITM (UF)
2013	Sem N adicional	52,15 c ¹	10,85 a	18,9 a	10,75 b
	Afilhamento	54,45 b	7,45 b	13,4 b	21,5 b
	Emborrachamento	54,85 b	7 b	12,8 bc	24,5 b
	Florescimento	57,37 a	8,05 ab	10,6 c	50,5 a
	CV (%)	1,58	16,8	10,7	34,0
2014	Sem N adicional	53,05 ns	16,73 ns	23,2 ns	18 b
	Afilhamento	54,27	15,03	20,7	13,5 b
	Emborrachamento	54,43	10,83	13,8	57 a
	CV (%)	1,2	16,7	17,6	37,2

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). ns= não significativo

TABELA 18. Parâmetros avaliados na farinografia: absorção de água, desenvolvimento da massa, estabilidade (EST.) e índice de tolerância à mistura (ITM) da cultivar TBIO Alvorada, em função das diferentes épocas de aplicação adicional de nitrogênio, em 2013. Eldorado do Sul, RS.

Ano	Época de aplicação N adicional	Abs. água (%)	Desenvolvimento (min)	EST. (min)	ITM (UF)
2013	Sem N adicional	58,85 b ¹	7,00 ns	14,3 ns	32,50 b
	Afilhamento	61,38 a	9,70	14,8	22,00 b
	Emborrachamento	63,00 a	9,23	12,0	38,75 b
	Florescimento	63,13 a	9,83	12,2	32,25 a
	CV (%)	1,62	17,57	25,1	33,7

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). ns= não significativo

A duas cultivares tiveram a absorção de água e o índice de tolerância à mistura aumentados no tratamento que recebeu aplicação adicional de N no estágio de florescimento (Tabelas 17 e 18). O aumento na absorção de água indica a qualidade da farinha, refletida pela capacidade de intumescimento do glúten (Gutkoski *et al.*, 2008).

Apesar dos parâmetros força de glúten e estabilidade serem utilizados na classificação do trigo (Brasil, 2010), na prática outros parâmetros analisados também definem a qualidade tecnológica do trigo e o seu uso final, sendo que a interação entre estes fatores também vai influenciar o produto final.

Comparando a farinha de trigo na cultivar TBIO Sinuelo originada do tratamento que não recebeu N adicional com a farinha originada do tratamento que recebeu N adicional no florescimento, percebe-se esta última apresenta valor de W mais elevado, com relação P/L próxima de 1 (1,02), menor tempo de desenvolvimento, absorção de água superior a 55%, índice de tolerância a mistura baixo (caracterizando a farinha como forte) e menor estabilidade (10,6 min), quando comparado ao tratamento sem aplicação de N adicional (18,9 min) (Tabela 17). Considerando estas características, a qualidade tecnológica apresentou melhora, tendo como objetivo a panificação, quando o N adicional foi aplicado por ocasião do florescimento.

4.3.3 Número de queda (NQ)

As duas cultivares não apresentaram diferença significativa para o número de queda entre os tratamentos em nenhum ano de estudo (Tabela 19). O número de queda variou de 341 a 418 segundos nas diferentes cultivares e tratamentos.

TABELA 19. Número de queda nas cultivares de trigo TBIO Alvorada e TBIO Sinuelo, em função das diferentes épocas de aplicação adicional de nitrogênio, em 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.

Ano	Época de aplicação N adicional	TBIO Alvorada	TBIO Sinuelo
2013	Sem N adicional	403 ns	350 ns
	Afilhamento	412	341
	Emborrachamento	410	363
	Florescimento	409	344
	CV (%)	3,3	2,2
2014	Sem N adicional	-	410 ns
	Afilhamento	-	407
	Emborrachamento	-	418
	CV (%)	1,2	4,0

ns= não significativo

Precipitação pluvial elevada próxima à colheita é um dos principais fatores que afetam a qualidade do grão, sendo o fator que mais influencia o número de queda, pois a germinação do grão ainda na espiga aumenta a atividade da enzima alfa-amilase, reduzindo o valor do número de queda. Este efeito não é desejado pela indústria de panificação, devido à influência que esta característica tem, principalmente, sobre a textura interna e o volume do pão.

Chuvas excessivas e flutuações de temperatura do ar durante a maturação dos grãos causam a quebra da dormência das sementes, desencadeando o processo de germinação pré-colheita (Rodrigues *et al.*, 2010b). Apesar do ano de 2014 ter sido chuvoso no final de novembro, ou seja, durante a época de colheita, as chuvas foram abaixo da média histórica (Figura 5.a) e as cultivares são consideradas resistentes a moderadamente resistentes para germinação na espiga.

4.3.4 Peso do hectolitro (PH)

No Brasil, os grãos de trigo são classificados em tipos e classes. A classificação por tipo é determinada por meio do limite mínimo do peso do hectolitro (peso de 100 litros de grãos) e dos limites máximos dos percentuais de umidade, matérias estranhas e impurezas e de grãos avariados, conforme Instrução Normativa vigente (Brasil, 2010). Sendo assim, o peso do hectolitro (PH) do trigo é uma propriedade que apresenta grande importância na comercialização do produto, uma vez que os preços praticados consideram este parâmetro como um indicativo de qualidade e rendimento na extração de farinha (Corrêa *et al.*, 2006). Na Tabela 20, são apresentados os valores de PH do trigo nos experimentos.

TABELA 20. Peso do hectolitro (PH) das cultivares de trigo TBIO Alvorada e TBIO Sinuelo, em função das diferentes épocas de aplicação adicional de nitrogênio, em 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.

Ano	Época	TBIO Alvorada	TBIO Sinuelo	TBIO Mestre	BRS Parrudo
2013	Sem N adicional	78,5 ns	77,4 b ¹	77,4 ns	----
	Afilhamento	78,4	77,4 b	77,3	----
	Emborrachamento	78,8	78,2 a	77,4	----
	Florescimento	78,5	78,3 a	77,4	----
CV(%) ²		0,31	0,28	0,25	
2014	Sem N adicional	----	74,1 ns	72,9 ns	72,2 ns
	Afilhamento	----	72,9	72,1	71,9
	Emborrachamento	----	74,6	73,5	72,8
	Florescimento	----	75,5	73,8	73,3
	40+100 kg de N ³	----	74,16	72,9	71,8
CV(%)			1,89	1,68	1,49

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

²Coefficiente de variação

³40 kg de N ha⁻¹ na emergência das plântulas e 100 kg ha⁻¹ na sexta folha

ns= não significativo

Os resultados para peso de hectolitro na cultivar TBIO Alvorada foram superiores a 78 kg hL⁻¹ em 2013 (Tabela 20). Assim, sendo considerado somente o valor de PH, sua classificação seria enquadrada em “Tipo 1” (Brasil, 2010).

A cultivar TBIO Sinuelo, no ano de 2013, apresentou maior PH para os tratamentos com aplicação adicional de N em períodos mais tardios de desenvolvimento (emborrachamento e florescimento) (Tabela 20). Para esta cultivar, quando considerado somente o PH, os grãos tiveram sua classificação alterada de “Tipo 2” para “Tipo 1”, segundo normativa n° 38 (Brasil, 2010), quando fornecido nitrogênio nos estádios de emborrachamento ou florescimento. A cultivar TBIO Mestre não apresentou diferença estatística para este parâmetro (Tabela 20).

No ano de 2014, nenhuma das cultivares analisadas apresentou diferença estatística significativa para o PH (Tabela 20). Além disso, apresentaram valores de PH considerados baixos. A única cultivar que apresentou classificação “Tipo 2” (acima de 75 kg hL⁻¹) foi a cultivar TBIO Sinuelo, no tratamento que recebeu N adicional no florescimento, enquanto que as demais cultivares e tratamentos seriam classificados em um tipo inferior. No ano de 2014, os valores de PH, importante indicador da qualidade do produto, se apresentaram baixos de maneira geral no estado do RS, em função das condições meteorológicas desfavoráveis durante a estação de crescimento (CONAB, 2016).

4.3.5 Cor da farinha

A cor da farinha de trigo é um importante atributo de qualidade. Embora os consumidores prefiram as farinhas mais brancas, nem sempre estas são as de melhor qualidade para todos os produtos finais. Uns dos métodos mais utilizados

para se obter a leitura da coloração é o Colorímetro Minolta (EMBRAPA, 2016). Este método é fácil e leitura direta, ou seja, sem a necessidade de preparação de amostra (UFRGS, 2016).

O resultado é dado em diversas faixas de cores, no sistema L^*a^*b (EMBRAPA, 2016). O parâmetro Luminosidade (L^*) possui escala de zero (preto) a 100 (branco), ou seja, quanto mais próximo de 100, mais branca é a farinha. Na coordenada de cromaticidade a^* (escala vermelho/verde), os valores positivos indicam tendência da cor para tonalidade vermelha e valores negativos indicam tendência da cor para tonalidade verde. Na coordenada de cromaticidade b^* (escala amarelo/azul), os valores positivos indicam a presença do amarelo e valores negativos a presença do azul (EMBRAPA, 2016). Na Tabela 21 são apresentados os valores dos parâmetros L^*a^*b das farinhas analisadas.

TABELA 21. Cor das farinhas de cultivares de trigo pelos parâmetros L*a*b*, sem aplicação adicional de N ou submetidos à aplicação de 40 kg de N ha⁻¹ no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura, nos anos de 2010, 2011, 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.

Época		Quartzo	Mirante	TBIO Sinuelo	TBIO Alvorada
L*					
2010	Sem N adicional	93,54 a ¹	94,06 a	----	----
	Florescimento	92,72 b	93,47 b	----	----
	CV ² (%)	0,31	0,26		
2011	Sem N adicional	93,13 a	93,05 a	----	----
	Emborrachamento	92,58 b	----	----	----
	Florescimento	92,14 b	92,47 b	----	----
	CV(%)	0,17	0,14		
2013	Sem N adicional	----	----	92,38 ns	91,50 a
	Afilhamento	----	----	92,22	91,16 ab
	Emborrachamento	----	----	92,15	90,68 b
	Florescimento	----	----	92,14	90,65 b
	CV(%)			0,27	0,37
2014	Sem N adicional	----	----	92,44 ns	----
	Afilhamento	----	----	91,85	----
	Emborrachamento	----	----	92,04	----
	CV(%)			0,40	
a*					
2010	Sem N adicional	-0,88 a	-0,87 a	----	----
	Florescimento	-0,56 b	-0,65 b	----	----
	CV ² (%)	21,90	15,6		
2011	Sem N adicional	-0,82 a	-0,74 a	----	----
	Emborrachamento	-0,49 b	----	----	----
	Florescimento	-0,48 b	-0,49 b	----	----
	CV(%)	8,09	12,40		
2013	Sem N adicional	----	----	-0,74 a	-0,05 a
	Afilhamento	----	----	-0,50 b	-0,03 ab
	Emborrachamento	----	----	-0,55 b	-0,07 a
	Florescimento	----	----	-0,51 b	0,11 b
	CV(%)			23,00	7,30
2014	Sem N adicional	----	----	-0,49 ns	----
	Afilhamento	----	----	-0,43	----
	Emborrachamento	----	----	-0,35	----
	CV(%)			28,10	

Continuação TABELA 21. Cor das farinhas de genótipos de trigo pelos parâmetros ($L^*a^*b^*$), sem aplicação adicional de N ou submetidos à aplicação de 40 kg de N ha⁻¹ no afilhamento, emborrachamento ou florescimento da cultura, nos anos de 2010, 2011, 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.

		b*			

2010	Sem N adicional	9,95 ns	9,32 ns	----	----
	Florescimento	10,15	9,45	----	----
	CV ² (%)	1,97	2,48		
2011	Sem N adicional	10,24 b	9,91 ns	----	----
	Emborrachamento	10,67 a	----	----	----
	Florescimento	9,99 c	9,99	----	----
	CV(%)	1,08	1,20		
2013	Sem N adicional	----	----	9,42 ns	8,99 ns
	Afilhamento	----	----	9,71	9,31
	Emborrachamento	----	----	9,70	9,29
	Florescimento	----	----	9,59	9,22
	CV(%)			2,05	2,65
2014	Sem N adicional	----	----	10,97 ns	----
	Afilhamento	----	----	10,70	----
	Emborrachamento	----	----	11,14	----
	CV(%)			3,66	

¹Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$).

²Coefficiente de variação

ns= não significativo

Os valores de b^* apresentaram pequena variação, sendo que, na maioria das situações, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos. O valor L^* (Luminosidade) apresentou os maiores valores no tratamento que não recebeu N adicional, indicando que os demais tratamentos tendem a tornar a farinha menos branca. Somente a cultivar TBIO Sinuelo não apresentou diferença estatística significativa para valores de L^* . Os valores de a^* também foram modificados pela aplicação adicional de N. Os tratamentos que receberam N tardio ficaram menos negativos, tendendo para a cor vermelha.

Muitos fatores interferem na cor da farinha de trigo e dos produtos finais, sendo que alguns deles são intrínsecos do próprio grão de trigo e outros alteram a

cor a partir do processamento deste cereal. Dentre os fatores envolvidos na alteração da cor, pode-se citar o teor de proteína no grão (Ortolan, 2005). A Figura 21 apresenta a relação entre os teores de proteína e a luminosidade (L) da farinha, considerando os dados dos experimentos conduzidos em 2010, 2011, 2013 e 2014 (n=64).

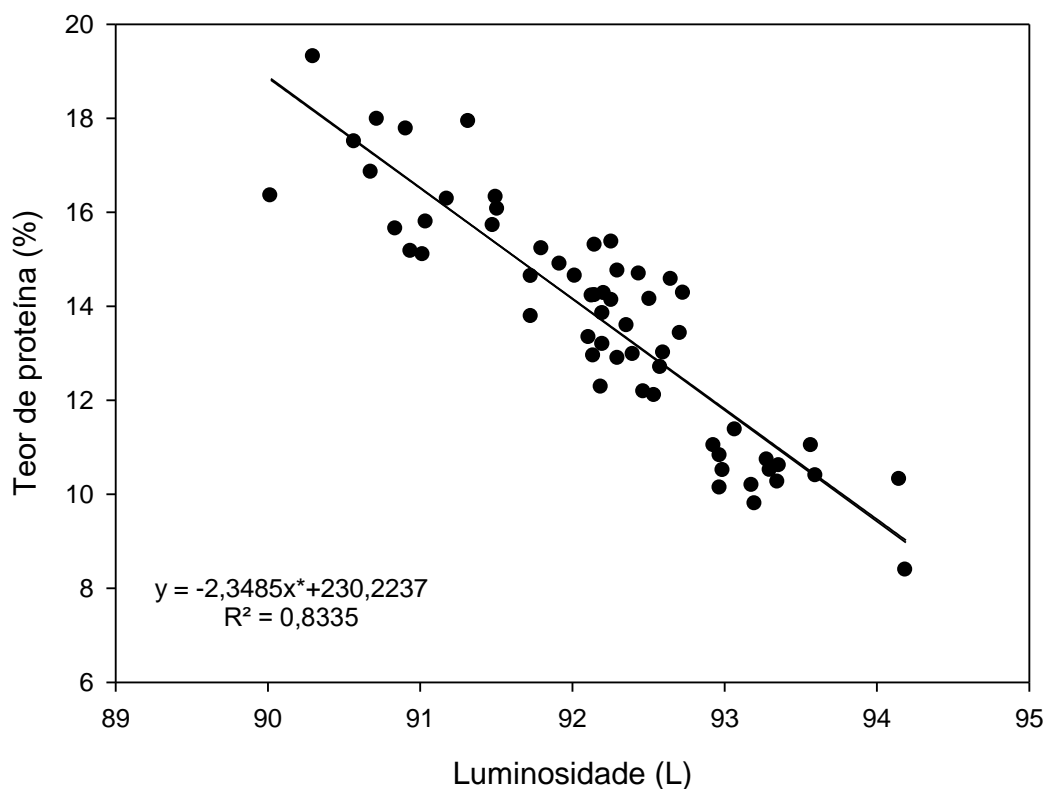


FIGURA 21. Relação entre teor de proteína e luminosidade (Valor L) da farinha de trigo, considerando os experimentos conduzidos em 2010, 2011, 2013 e 2014. Eldorado do Sul, RS.

O teor de proteína e a luminosidade apresentaram uma forte correlação, com coeficiente de correlação de $r=0,911$ (Figura 21). Ainda não está totalmente esclarecido o papel das proteínas no escurecimento da farinha e dos seus produtos finais, mas sabe-se que grãos com elevados teores de proteínas tendem a produzir farinha com baixos valores de luminosidade (farinhas mais escuras), ou seja, o teor de proteína é inversamente proporcional à luminosidade (L^*) da farinha (Miskelly, 1983; Ortolan 2005).

O conhecimento de práticas que possibilitem o aumento de rendimento e qualidade de grãos de trigo é de grande valia para se melhorar a produção de trigo no Brasil tanto quantitativamente quanto qualitativamente. Os esforços para que isso ocorra, sendo por meio da geração de novas cultivares ou por práticas de manejo nada adiantará e nem refletirá na valorização do produto para o produtor, se não ocorrer a segregação do material nas unidades de recebimento do trigo. Assim, junto com o desenvolvimento de cultivares e técnicas que promova a melhoria do produto no campo, deve-se desenvolver um programa eficiente de segregação de trigo, pois de nada adianta produzir trigo para um determinado produto se no final do processo esse trigo será misturado aos trigos que serviriam para outros propósitos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, o rendimento de grãos de trigo é afetado, principalmente, pela dose de nitrogênio aplicada e não pela época de aplicação do N testadas neste estudo (afilhamento ou emborrachamento ou florescimento).

Dentre os componentes do rendimento o peso de 1.000 grãos apresenta resposta para a época de aplicação, sendo que a aplicação de N adicional quanto mais próxima do florescimento, pode aumentar o peso de 1.000 grãos.

A adubação nitrogenada no estágio de emborrachamento muda a dinâmica do acúmulo de N no grão. O aumento no teor de proteína varia de acordo com a cultivar, ano, época e dose de aplicação de N. A cultivar BRS Parrudo não apresentou resposta para a aplicação do N tardio.

Nas cultivares onde foi analisada a tenacidade/extensibilidade (relação P/L), a relação diminui com a aplicação adicional de N nestes estádios, principalmente em função do aumento na extensibilidade da massa (Valor L) proporcionado pelo nitrogênio.

A aplicação de N no emborrachamento ou florescimento escurece a farinha de trigo. Isso ocorre devido ao maior teor de proteína nos grãos nesses tratamentos.

Em relação aos testes reológicos, houve variação de resposta ao N tardio nos diferentes anos de estudo e nas diferentes cultivares.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved methods**. 9. ed. Saint Paul, 1995. v. 2.

ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, S. A. Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. **Australian Journal of Crop Science**, Collingwood, v. 5, n. 3, p. 330-336, 2011.

ABITRIGO. Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Panificação deve crescer mais de 10% em 2012**. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br>>. Acesso em: 15 fev. 2012.

ALMEIDA, D. **Rendimento de grãos e qualidade tecnológica de trigo com aplicação de nitrogênio no emborrachamento ou florescimento**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ALTENBACH, S. B. et al. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in a US spring wheat. **Journal of Cereal Science**, London, v. 37, n. 1, p. 9-20, 2003.

APASSUL. Associação dos Produtores e Comerciantes de Sementes e Mudanças do RS. **Estatísticas sobre produção e comercialização de sementes no Rio Grande do Sul (2006 a 2012)**. Disponível em: <<http://www.apassul.com.br>>. Acesso em: 27 jul. 2013.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F. Adubação nitrogenada em milho implantado em semeadura direta após aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 745-754, 1999.

BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da Estação Experimental da UFRGS e região de abrangência**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78 p.

BIOTRIGO. Biotrigo genética. **Manejo do nitrogênio**. Disponível em: <<http://www.biotrigo.com.br/pageflip/index.php?tp=2#/0>>. Acesso em: 5 jul. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA, 1992. 365 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 7, de 15 de agosto de 2001. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 21 ago. 2001. Seção 1, p. 33-35.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 58, de 19 de novembro de 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 25 nov. 2008. Seção 1, p. 3.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 01 dez. 2010. Seção 1, p. 2-4.

BRAZ, A. J. B. P. et al. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo em sistema de plantio direto após diferentes culturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 193-198, 2006.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Estádios fenológicos do trigo para a adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 317-323, 2001.

CARNEIRO, L. M. T. A. et al. Diferentes épocas de colheita, secagem e armazenamento na qualidade de grãos de trigo comum e duro. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 127-137, 2005.

CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D. T. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, Stockholm, v. 31, n. 2, p. 132-140, 2002.

CASTRO, R. L. et al. Número ideal de amostras para classificação comercial de cultivares de trigo no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 7, p. 809-817, 2016.

CAZETTA, D. A. et al. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008.

CHOPE, G. A. et al. Effects of genotype, season, and nitrogen nutrition on gene expression and protein accumulation in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 62, n. 19, p. 4399–4407, 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento, janeiro/2012**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_01_10_10_53_02_boletim_graos_4o_levantamento.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, quarto levantamento, safra 2015/2016**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>>. Acesso em: 05 jun 2016.

CUNHA, G. R.; CAIERÃO, E.; ROSA, A. C. (Ed.). **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2016**. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2016. 228 p.

CUNHA, G. R. et al. Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e época de semeadura. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. p. 27-40.

DELIBERALI, J. et al. Efeito de processos de secagem e tempo de armazenamento na qualidade tecnológica de trigo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1285-1292, 2010.

DUPONT, F. M. et al. Protein accumulation and composition in wheat grains: Effects of mineral nutrients and high temperature. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 25, n. 2, p. 96–107, 2006.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa do Trigo. **Descrição dos métodos usados para avaliar a qualidade de trigo**. Passo Fundo: CNPT, [2012]. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do112_5.htm>. Acesso em: 17 fev. 2016.

ERNANI, P. R. **Disponibilidade de nitrogênio e adubação nitrogenada para macieira**. Lages: Graphel, 2003. 76 p.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T. et al. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 52–61, 2010.

FUERTES-MENDIZÁBAL, T. et al. Late nitrogen fertilization affects nitrogen remobilization in wheat. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 175, n. 1, p. 115–124, 2012.

GARRIDO-LESTACHE, E.; LÓPEZ-BELLIDO, R.; LÓPEZ-BELLIDO, L. Effect of N rate, timing and splitting and N type on bread-making quality in hard red spring wheat under rainfed Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 85, n. 2-3, p. 213-236, 2004.

GEORGET, D. M. R. et al. Effect of variety and environmental factors on gluten proteins: an analytical, spectroscopic and rheological study. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 56, n. 4, p. 1172–1179, 2008.

GODFREY, D. et al. Effects of crop Nutrition on wheat grain composition and end use quality. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 58, n. 5, p. 3012–3021, 2010.

GROHS, D. S. **Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada pelo índice de vegetação por diferença normalizada**. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

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

GUARIENTI, E. M. Qualidade do trigo brasileiro: realidade versus necessidade. In: CUNHA, G. R. D. **Oficina sobre trigo no Brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. p. 95-102.

GUTKOSKI, L. C. et al. Efeito do período de maturação de grãos nas propriedades físicas e reológicas de trigo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p. 888-894, 2008.

HARPER, J. E. Nitrogen metabolism. In: BOOTE, K. J. et al. (Ed.). **Physiology and determination of crop yield**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1994. p. 285-302.

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

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

JOHANSSON, E.; PRIETO-LINDE, M. L.; JONSSON, J. O. Effects of wheat cultivar and nitrogen application on storage protein composition and breadmaking quality. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 78, n. 1, p. 19–25, 2001.

KATAGIRI, M. et al. Expression and development of wheat proteins during maturation of wheat kernel and the rheological properties of dough prepared from the flour of mature and immature wheat. **Food Science and Technology Research**, Tóquio, v. 17, n. 2, p. 111–120, 2011.

LAMOTHE, A. G. Trigo: calidad vs. rendimiento. In: **Jornada Técnica de Cultivos de Invierno, 2006, Montevideo**. Montevideo: CIMMYT/INIA, 2006. p. 207-246. (Serie de Actividades de Difusión, 444).

LOPEZ-BELLIDO, R. J.; SHEPHERD, C. E.; BARRACLOUGH, P. B. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 20, n. 3, p. 313-320, 2004.

MANDARINO, J. M. G. **Aspectos importantes para a qualidade do trigo**. Londrina: Embrapa, 1993. 32 p.

McMASTER, G. S. Phenology, development and growth of the wheat (*Triticum aestivum* L.) shoot apex: a review. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 59, n. 1, p. 63-118, 1997.

MEZEI, Z.; SIPOS, P.; GYORI, Z. Variations in quality parameters of forage and medium quality winter wheat varieties in storage. **Agriculturae Conspectus Scientificus**, Zagreb, Iugoslavia, v. 72, n. 3, p. 221-225, 2007.

MIRANDA, M. Z.; GUARIENTI, E. M.; TONON, V. D. Qualidade tecnológica de trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2011. p. 371-389.

MUNDSTOCK, C. M. **Planejamento e manejo integrado da lavoura de trigo**. Porto Alegre: Evangraf, 1999. 227 p.

NAEEM, H. A. et al. Developmental and environmental effects on the assembly of glutenin polymers and the impact on grain quality of wheat. **Journal of Cereal Science**, London, v. 56, n. 1, p. 51-57, 2012.

NUTTALL, J. G. et al. Models of grain quality in wheat – a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 202, n. 1, p. 136–145, 2017.

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

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

PECHANEK, U. et al. Effect of nitrogen fertilization on quantity of flour protein components, dough properties, and breadmaking quality of wheat. **Cereal Chemistry**, Saint Paul, v. 74, n. 6, p. 800-805, 1997.

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 1, p. 59-65, 1992.

PIROZI, M. R.; GERMANI, R. Efeito do armazenamento sobre as propriedades tecnológicas da farinha, de variedades de trigo cultivadas no Brasil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 149-163, 1998.

POBLACIONES, M. J.; LOPEZ-BELLIDO, L.; LOPEZ-BELLIDO, R. Field estimation of technological bread-making quality in wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 112, n. 2-3, p. 253-259, 2009.

POLETO, N.; GROHS, D. S.; MUNDSTOCK, C. M. Flutuação diária e estacional de nitrato e amônio em um argissolo vermelho distrófico típico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1619-1626, 2008.

POMERANZ, Y. **Modern cereal science and technology**. New York: VHC Publishers, 1987. 486 p.

PRANDO, A. M. et al. Formas de ureia e doses de nitrogênio em cobertura no desempenho agrônomo de genótipos de trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 621-632, 2012.

RAMBO, L. **Integração de características de planta, de dossel e de solo para maior eficiência da adubação nitrogenada em cobertura em milho**. 2005. 178 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

- RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 2004. 214 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C. Disponibilidade nutricional e hídrica. In: RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C. **Bases ecofisiológicas para manutenção da qualidade do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010a. p. 25-29.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C. Dormência: germinação em pré-colheita. In: RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C. **Bases ecofisiológicas para manutenção da qualidade do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010b. p. 31-41.
- RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; TEIXEIRA, M. C. C. Potencial de rendimento de grãos. In: RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C. **Bases ecofisiológicas para manutenção da qualidade do trigo**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2010c. p. 47-63.
- SCHEEREN, P. L.; MIRANDA, M. Z. **Trigo brasileiro tem nova classificação: novos critérios adotados a partir da safra de 1999**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. (Comunicado Técnico Online, 18).
- SPGGRS. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Trigo: O Rio Grande do Sul é o segundo maior produtor de trigo em grão no Brasil. Disponível em: <<http://www.atlassocioeconomico.rs.gov.br/trigo>>. Acesso em: 18 nov. 2016.
- SHANGGUAN, Z.; SHAO, M.; DYCKMANS, J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 156, n. 1, p. 46-51, 2000.
- SHEWRY, P. R.; HALFORD, N. G. Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 370, p. 947-958, 2002.
- SHEWRY, P. R.; NAPIER, J. A.; TATHAM, A. S. Seed storage proteins: structures and biosynthesis. **The Plant Cell**, Rockville, v. 7, n. 7, p. 945-956, 1995.
- SILVA, S. A. et al. Composição de subunidades de gluteninas de alta massa molecular (HMW) em trigos portadores do caráter "staygreen". **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 3, p. 679-683, 2004.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TONON, V. D. **Herança genética e estabilidade de características relacionadas à qualidade dos grãos e da farinha de trigo**. 2010. 117 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

TORBICA, A. et al. The influence of changes in gluten complex structure on technological quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Food Research International**, Barking, v. 40, n. 8, p. 1038-1045, 2007.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **Avaliação da qualidade tecnológica/industrial da farinha de trigo**. Disponível em: <ufrgs.br/napead/repositorio/objetos/avaliacao-farinha-trigo/1g.php>. Acesso em: 7 jun. 2016.

VARGA, B.; SVECNJAK, Z. The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 125-132, 2006.

VARIANI, C. **Sensor óptico ativo como ferramenta para aplicação de nitrogênio na cultura do trigo**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

WAN, Y.; SHEWRY, P. R.; HAWKESFORD, M. J. A novel family of γ -gliadin genes are highly regulated by nitrogen supply in developing wheat grain. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 1, p. 161–168, 2013.

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, London, v. 24, n. 2, p. 115-119, 2007.

WOOLFOLK, W. C. et al. Influence of late-season foliar nitrogen applications on yield and grain nitrogen in winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, n. 3, p. 429-434, 2002.

WRIGHT, D. L. et al. Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. **GIScience and Remote Sensing**, Columbia, v. 41, n. 4, p. 287-300, 2004.

WRIGLEY, C. W.; BÉKÉS, F.; BUSHUK, W. Gluten: a balance of gliadin and glutenin. In: WRIGLEY, C. W., BÉKÉS, F., BUSHUK, W. **Gliadin and Glutenin, The unique balance of wheat quality**. Saint Paul: AACC International, 2006. p. 3-32.

YANO, G. T.; TAKAHASHI, H. W.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes de nitrogênio e épocas de aplicação em cobertura para o cultivo do trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 2, p. 141-148, 2005.

XUE, C. et al. Split nitrogen application improves wheat baking quality by influencing protein composition rather than concentration. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, n. 738, p. 01-11, 2016.