

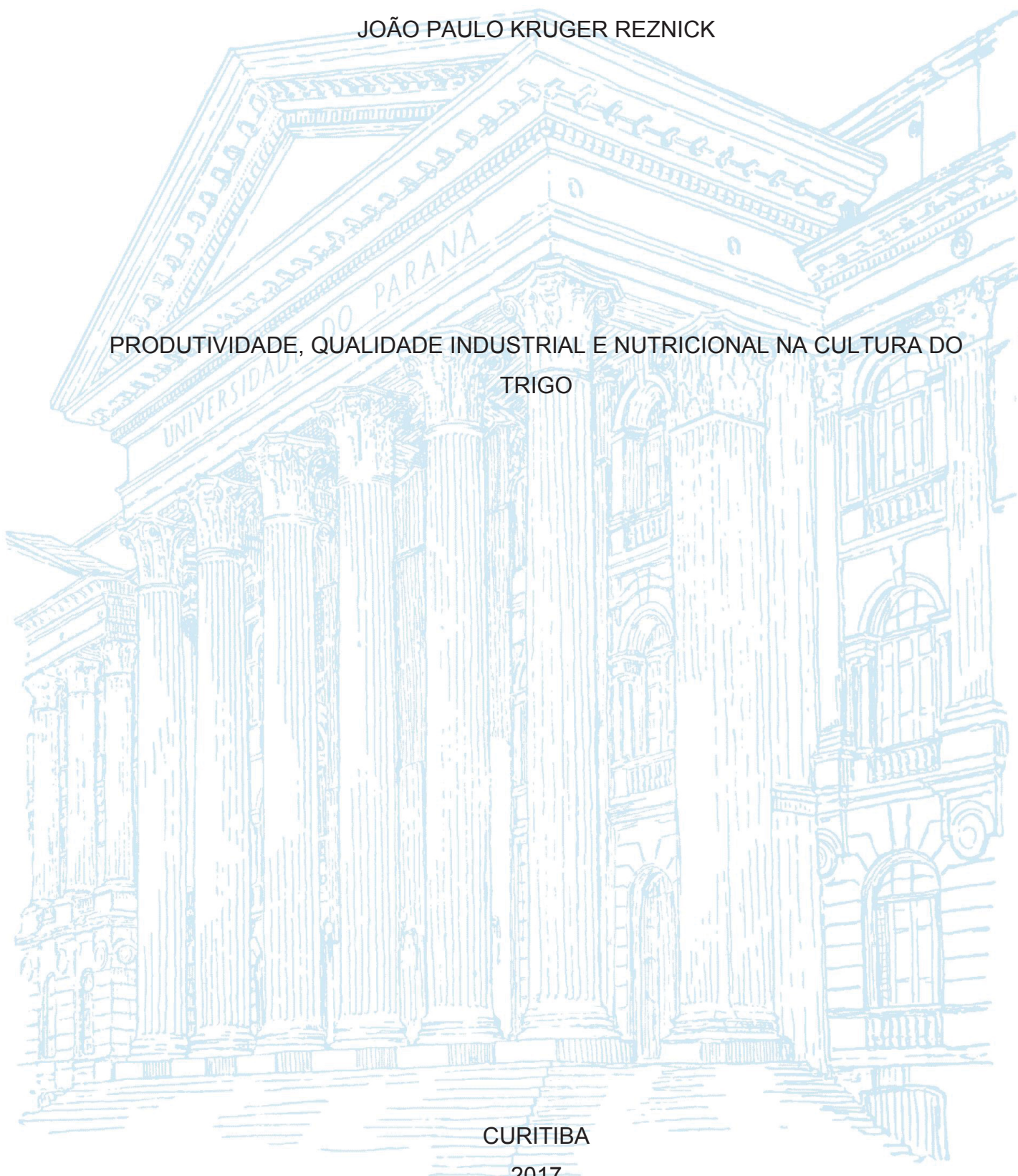
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO PAULO KRUGER REZNICK

PRODUTIVIDADE, QUALIDADE INDUSTRIAL E NUTRICIONAL NA CULTURA DO
TRIGO

CURITIBA

2017



JOÃO PAULO KRUGER REZNICK

PRODUTIVIDADE, QUALIDADE INDUSTRIAL E NUTRICIONAL NA CULTURA DO
TRIGO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientador: Dr. Gabriel Barth

Coorientadora: Profa. Dra. Glaciela Kaschuk

CURITIBA

2017

Reznick, João Paulo Kruger

Produtividade, qualidade industrial e nutricional na cultura do trigo. /
João Paulo Kruger Reznick. - Curitiba, 2017.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
Orientador: Volnei Pauletti.
Coorientadores: Gabriel Barth; Glaciela Kaschuk.

1. Trigo - Aspectos nutricionais. 2. Agricultura - Produtividade. 3.
Agricultura de precisão. I. Pauletti, Volnei. II. Barth, Gabriel. III. Kaschuk,
Glaciela. IV. Título. V. Universidade Federal do Paraná.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
Mestrado e Doutorado



PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **João Paulo Kruger Reznick**, intitulada: “**Produtividade, qualidade industrial e nutricional na cultura do trigo**”, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição do candidato, emitem parecer pela “**APROVAÇÃO**” da referida Dissertação. O candidato atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 24 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Volnei Pauletti, Presidente

Dr. Gabriel Barth, Iº. Examinador

Prof. Dr. Milton Ferreira de Moraes, IIº. Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aquela que me educou, meu deu amor e me apoiou durante toda a vida, meu orgulho e o meu motivo mais importante de minha luta por novas conquistas, minha mãe Roselia Kruger Reznick (*in memoriam*) que sempre estará comigo, em minha mente e coração.

Ao meu pai Demétrio Reznick pelo incentivo e apoio durante toda a árdua caminhada até a conquista.

Ao meu orientador Prof. Dr. Volnei Pauletti pela orientação, ensinamentos, incentivo, confiança e paciência nos momentos difíceis, sempre dedicando seu tempo e atenção.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná pelos ensinamentos que foram muito valiosos para minha educação e formação profissional.

À Fundação ABC para Pesquisa e Divulgação Técnica pela parceria e suporte para o desenvolvimento deste trabalho, em especial ao Dr. Gabriel Barth (pesquisador).

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de estudo e ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos durante todo o curso de Mestrado que permitiu de realização deste trabalho de Dissertação.

Aos meus familiares e amigos pela parceria, dividindo momentos marcantes nesta árdua caminhada até a conquista.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) possui papel fundamental na alimentação humana como fonte de elementos. Porém a qualidade nutricional é afetada pela adubação nitrogenada, genótipo e ambiente de cultivo. A estimativa da produtividade de grãos e da qualidade tecnológica da farinha em tempo real por meio de índices obtidos por sensor de refletância, conhecido como índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), pode auxiliar no manejo adequado da cultura para obtenção de altas produtividades de grãos de qualidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade nutricional do trigo influenciada pela adubação nitrogenada, cultivares e processamento dos grãos, bem como a eficiência do NDVI em estimar a produtividade de grãos e a qualidade tecnológica da farinha. Foram realizados dois estudos a campo sob o delineamento experimental de blocos completos casualizados, em esquema fatorial. O primeiro estudo foi conduzido no município de Ponta Grossa, PR em 2014, em esquema 4x6 com 4 repetições utilizando-se as cultivares Quartzo, Galha Azul, Sinuelo e Toruk e seis doses de N (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N). No segundo estudo, conduzido em 2015, os tratamentos consistiram de uma combinação de cinco cultivares de trigo (Galha Azul, Sinuelo, Toruk, CD 1104 e Vintecinco) em Ponta Grossa e três cultivares (Galha Azul, Sinuelo, Toruk) em Itaberá com seis doses de N (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N). A adubação nitrogenada melhorou a qualidade nutricional do trigo aumentando os teores de proteína, Ca, Mg, Cu e Zn. No entanto, o conteúdo dos nutrientes reduziu de 45 a 94 % na farinha em relação ao total contido nos grãos antes do processamento, o que atenuou os benefícios causados pela adubação nitrogenada e de cultivar. O NDVI mostrou-se eficiente na predição da produtividade de grãos e da qualidade tecnológica do trigo em função das variações na disponibilidade de N.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*. NDVI. Agricultura de precisão. Saúde humana.

ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) plays a key role in human food as a source of essential elements. However, the nutritional quality is affected by nitrogen fertilization, genotype and cropping environment. The estimation of grain yield and the flour technological quality in real time using indexes obtained by the reflectance sensor, known as normalized difference vegetation index (NDVI), may help in the crop management to obtain high yields of grains with high quality. The aim of this work was to evaluate the wheat nutritional quality influenced by nitrogen fertilization, cultivars and grain processing, as well as the NDVI efficiency in estimating grain yield and flour technological quality. Two field studies were carried out under a randomized complete block design in a factorial scheme. The first study was conducted in the city of Ponta Grossa, PR in 2014, in a 4x6 scheme with 4 replicates using the cultivars Quartzo, Galha Azul, Sinuelo and Toruk and six N doses (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹ of N). In the second study, conducted in 2015, the treatments consisted of a combination of five wheat cultivars (Galha Azul, Sinuelo, Toruk, CD 1104 and Vintecinco) in Ponta Grossa and three cultivars (Galha Azul, Sinuelo, Toruk) in Itaberá with six doses of N (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹ of N). Nitrogen fertilization improved the wheat nutritional quality by increasing protein, Ca, Mg, Cu and Zn contents. However, the nutrients content decreased from 45 to 94 % in the flour in relation to the total contained in the grains before processing, which attenuated the benefits caused by nitrogen fertilization and cultivar. The NDVI proved be efficient in predicting grain yield and wheat technological quality as a function of variations in N availability.

Keywords: *Triticum aestivum*. NDVI. Precision agriculture. Human health.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	10
1.1	REFERÊNCIAS	14
2	CAPÍTULO I: DIFERENÇAS NA QUALIDADE NUTRICIONAL PROPORCIONADAS POR CULTIVARES E ADUBAÇÃO NITROGENADA SÃO REDUZIDAS PELO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DO TRIGO	18
2.1	RESUMO.....	18
2.2	ABSTRACT	19
2.3	INTRODUÇÃO	20
2.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.4.1	Área experimental	21
2.4.2	Tratamentos e delineamento experimental	23
2.4.3	Produtividade de grãos e de farinha.....	23
2.4.4	Proteína, macro e micronutrientes em grãos e farinha.....	24
2.4.5	Análise estatística	24
2.5	RESULTADOS	24
2.5.1	Produtividade e teor de proteína	24
2.5.2	Concentração de nutrientes nos grãos e farinha.....	26
2.5.3	Distribuição de proteína e nutrientes no grão.....	29
2.6	DISCUSSÃO.....	31
2.7	CONCLUSÕES.....	34
2.8	REFERÊNCIAS	34
3	CAPÍTULO II: ESTIMATIVA DE CAMPO COM NDVI DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA DE TRIGO	38
3.1	RESUMO.....	38
3.2	ABSTRACT	38
3.3	INTRODUÇÃO	39
3.4	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.4.1	Área experimental	41
3.4.2	Delineamento experimental.....	42
3.4.3	Medidas de refletância	43

3.4.4	Preparação de amostras e produtividade de grãos	43
3.4.5	Análise de qualidade tecnológica	44
3.4.6	Análises estatísticas	44
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
3.5.1	Comportamento do NDVI e estimativa de produtividade de grãos	44
3.5.2	Estimativa do número de queda, teores de proteína e glúten úmido da farinha.....	46
3.5.3	Parâmetros de alveografia	47
3.6	CONCLUSÕES	50
3.7	REFERÊNCIAS.....	51
4	CONCLUSÃO GERAL.....	55
5	REFERÊNCIAS.....	56
	APÊNDICE.....	64

1 INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) está entre os três cereais mais produzidos em volume, no mundo, ultrapassando 715 milhões de toneladas, sendo o segundo maior cultivo responsável pela alimentação humana (FAO, 2015). No Brasil, a produção de trigo na safra 2016 alcançou 6,7 milhões de toneladas de grãos com produtividade média de 3.175 kg ha⁻¹, representando 84 % da produção total de grãos entre as culturas cultivadas durante o inverno. No cenário nacional, o Estado do Paraná é o maior produtor de trigo, apresentando na mesma safra produção de 3,4 milhões de toneladas e produtividade média de 3.140 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

A importância econômica deste produto agrícola caracteriza-se pelas diversas formas de utilização, desde o uso na alimentação animal até na humana, na forma de produtos derivados da farinha obtida por processo industrial. O que determina o uso pela indústria de alimentos é a qualidade do grão (EMBRAPA, 2017).

No entanto, as características indicativas de qualidade do trigo são influenciadas pela adubação nitrogenada (Cazetta et al., 2008; Abedi et al., 2010; Park et al., 2014), pelo genótipo (Johansson et al., 2001; Abedi et al., 2010; Wu et al., 2013) e pelas condições locais ambientais e de solo (Abedi et al., 2010; Gao et al., 2012; Wu et al., 2013).

O nitrogênio é um dos nutrientes essenciais absorvido em maior quantidade pela cultura do trigo (Daros et al., 2003) e um dos fatores mais limitantes à produtividade da cultura (Meneghin et al. 2008). Tem papel fundamental no metabolismo vegetal, por ser constituinte de enzimas, coenzimas, proteínas, fitocromos, clorofilas e ácidos nucleicos. Este nutriente tem influência em atividades de enzimas reguladoras-chave envolvidas na formação de proteínas no trigo. De modo geral, a aplicação do nutriente aumenta a atividade enzimática da nitrato redutase (RN), glutamina sintetase (GS) e transaminase glutâmico pirúvica (TGP) (Wu et al., 2013), melhorando a atividade destas enzimas. A atividade destas enzimas, tem correlação positiva com o rendimento de grãos, e com o acúmulo de proteína e proporção de Glutenina / Gliadina nos grãos (Wu et al., 2013).

A aplicação de nitrogênio é uma forma de promover a melhoria no teor e qualidade de proteínas em grãos de trigo (Wu et al., 2013). Embora a concentração de proteína do grão esteja associada a qualidade de panificação (Abedi et al., 2010), a composição nutricional é um dos fatores críticos para a fabricação de pão, pois a

concentração de minerais, em especial Fe e Zn, possui grande relevância, devido a ampla ocorrência de deficiência em seres humanos. No entanto, são vários os elementos essenciais para a vida humana que ocorrem na farinha, entre eles estão, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu e Mn (Bouis e Welch, 2010) e o uso de fertilizantes que contém N pode ter efeito significativo no acúmulo destes nutrientes nos grãos (Grunes e Allaway, 1985).

De forma geral, a adubação nitrogenada em cobertura em trigo incrementa a concentração (Cazetta et al., 2008; Abedi et al., 2010; Gao et al., 2012; Wu et al., 2013) e composição de proteínas como gliadinas (Johansson et al., 2001; Wang et al., 2014) e gluteninas (Johansson et al., 2001) nos grãos, produtividade de grãos, matéria seca da parte aérea (Wu et al., 2013; Nunes et al., 2015) e o teor de N nos grãos (Souza et al., 2014; Nunes et al., 2015). Embora a aplicação de N tenha efeito positivo nos componentes proteicos contendo a gliadina e gluteninas, a concentração de proteínas é influenciada pelo genótipo, sistema de cultivo e condições ambientais (Abedi et al., 2010). Além disso, a disponibilidade de N pouco afeta a quantidade de albuminas e globulinas (Johansson et al., 2001; Abedi et al., 2010) e a concentração de Fe e Zn nos grãos de trigo (Gao et al., 2012).

Os efeitos da adubação nitrogenada no trigo podem ocorrer de forma quadrática (Heinemann et al., 2006; Trindade et al., 2006) ou linear (Hernandes et al., 2010; Souza et al., 2014; Nunes et al., 2015). O aumento em todos os componentes protéicos apresenta correlação com o aumento dos níveis de nitrogênio, porém, o seu efeito sobre a proteína do grão depende da cultivar (Abedi et al., 2010). Heinemann et al. (2006) obtiveram aumento na produtividade de biomassa com adubação nitrogenada em relação a ausência de nitrogênio. Outros observaram respostas de aumentos crescentes na produtividade de grãos e de nutrientes na farinha com o aumento das doses aplicadas (Shi et al., 2010). Em contraste, a concentração de Fe e Zn é pouco afetada pela adubação nitrogenada (Gao et al., 2012).

Deste modo, o fornecimento adequado de nitrogênio através da adubação é fundamental para alcançar rendimentos elevados, pois é o nutriente mais deficiente em praticamente todos os tipos de solo, nas formas inorgânicas absorvidas pelas plantas de NO_3^- e NH_4^+ (Okumura et al., 2011). Por outro lado, o excesso ou a deficiência de N pode limitar a produtividade e a qualidade do grão. Doses elevadas de N podem promover maior acamamento do trigo afetando a qualidade dos grãos

(Penckowski et al., 2010). Ainda, pode ocorrer efeito negativo entre potencial de rendimento e a qualidade dos grãos, já que geralmente os aumentos de rendimento de grãos são acompanhados por redução no teor de proteína no grão (Abedi et al., 2010).

As recomendações de doses de N a serem aplicadas na cultura do trigo, no Sul do Brasil, levam em consideração a expectativa de rendimento, teor de matéria orgânica e cultura anterior ao plantio (soja ou milho) (COMISSÃO..., 2015). No entanto, estes últimos indicadores são pouco eficientes para estimar a necessidade de N com mais precisão, visto que os processos de decomposição do resíduo e liberação do N são influenciados por muitos fatores (Parton et al., 2007; Medrado et al., 2011; Acosta et al., 2014). Em levantamento realizado na região Sul do Paraná, percebeu-se grande variação e discrepância na dose de nitrogênio aplicada, variando de 50 a 100 kg ha⁻¹ do em função do porte do cultivar (Pauletti & Costa, 2002, Penckowski et al., 2010). Dessa forma, assume-se para a recomendação de N doses pré-definidas e de modo uniforme para toda área, sem levar em consideração o estado nutricional das plantas em tempo real, uma vez que este, é um bom indicador para detectar o suprimento de N (Schächtl et al., 2005).

Nesse sentido, o uso de técnicas de sensoriamento remoto que realizem a previsão exata do potencial de rendimento e o teor de proteínas nos grãos, de modo eficiente e em tempo real, pode aperfeiçoar e otimizar o fornecimento de N na cultura do trigo.

O sensoriamento remoto pode ser uma alternativa para o monitoramento e diagnóstico preciso do estado nutricional das plantas durante o ciclo de produção, bem como o aperfeiçoamento nas técnicas de manejo do N. Técnicas de sensoriamento estão sendo utilizadas na agricultura para obter vários índices de vegetação como indicadores de biomassa, estado nutricional e da produtividade das culturas. Estes parâmetros podem ser estimados pela caracterização da refletância, relação entre a radiação refletida pelo dossel e radiação incidente, que está associada à quantidade de biomassa, teor de clorofila nas folhas e potencial produtivo da cultura (Grohs et al., 2009).

Com os avanços tecnológicos na agricultura, vários sensores proximais estão disponíveis para uso agrícola, como o Greenseeker (Feng et al., 2008; Povh et al., 2008; Erdle et al., 2011; Bredemeier et al., 2013; Elazab et al., 2015; Spitkó et al., 2016), N-Sensor (Feng et al., 2008; Erdle et al., 2011) e Crop Circle (Feng et al.,

2008; Erdle et al., 2011; (Rissini et al., 2015; Kapp Junior et al., 2016). Estes sensores fornecem leituras em diferentes comprimentos de onda para registro de dados de refletância. Dentre os índices de vegetação amplamente utilizados, os que utilizam bandas no infravermelho próximo e vermelho, como o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1973), que realiza a medição da quantidade de clorofila e absorção de energia (Myneni et al., 1997). Na refletância na região do infravermelho próximo, a vegetação apresenta alta reflexão da radiação incidente (Povh et al., 2008), sendo utilizada para prever o acúmulo de biomassa e o estágio de desenvolvimento da cultura (Peñuelas & Filella, 1998). Heinemann et al., (2006) reportaram que o aumento da produção de grãos de trigo devido a adubação nitrogenada correlaciona-se positivamente com o acúmulo de biomassa na planta. Este índice de vegetação apresenta alto potencial para o manejo do N nos cereais de inverno, tais como trigo, triticale e cevada (Povh et al., 2008).

Tem-se utilizado a refletância de culturas para indicar o estado nutricional (Zhao et al., 2005), estimar a biomassa (Moger et al., 2004) e o rendimento de grãos (Grohs et al., 2009; Bredemeier et al., 2013). Bredemeier et al. (2013) reportaram que o maior potencial produtivo é proporcionado pela maior disponibilidade de N e maior acúmulo de biomassa e que as maiores produtividades se relacionam com os maiores valores de NDVI. Do mesmo modo, Povh et al. (2008) observaram valores superiores de NDVI em áreas que tinham recebido maiores doses de N e apresentaram maior potencial produtivo. Além disso, os autores verificaram que as relações entre NDVI com a produtividade de grãos e de biomassa possuem interferência do estágio de desenvolvimento da cultura. As medidas de refletância para previsão de biomassa também são dependentes do estágio de desenvolvimento da cultura (Moger et al., 2004). Mais recentemente, utilizando sensoriamento remoto em grande escala, Wang et al. (2014) estimaram o rendimento de grãos e teor de proteínas no trigo pela fusão de multi-sensor e imagens de sensoriamento remoto multi-temporais.

No entanto, são escassos os estudos que investigam a relação entre índices espectrais, como o NDVI, com o teor de proteína no trigo utilizando sensores proximais. A grande vantagem agrônoma é o complemento nas técnicas convencionais de recomendações e possibilidade de diminuir o risco nas tomadas de decisão sobre a adubação nitrogenada na cultura do trigo pela determinação do rendimento e teor de proteínas em tempo real. Uma vez que há relatos de que a

variação de aplicação de nitrogênio influencia nos componentes proteicos contendo glutenina e gliadina, que conseqüentemente, induzem a variação na concentração de proteína e volume de pão (Johansson et al., 2001). O objetivo geral deste trabalho é avaliar a qualidade nutricional do trigo influenciada pela adubação nitrogenada, cultivares e processamento dos grãos, bem como a eficiência do NDVI em estimar a produtividade de grãos e a qualidade tecnológica da farinha.

O presente trabalho encontra-se dividido em dois capítulos:

Capítulo 1 – Diferenças na qualidade nutricional proporcionadas por cultivares e adubação nitrogenada são reduzidas pelo processamento industrial do trigo.

Capítulo 2 – Estimativa de campo da produtividade de grãos e qualidade tecnológica da farinha de trigo.

1.1 REFERÊNCIAS

ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, S. A. Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 4, p. 384-389, 2010.

ACOSTA, J. A. A.; AMADOI, T. J. D.; SILVA, L.S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.

BOUIS, H.E.; WELCH, R. M. Biofortification — A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. **Crop Science**, v. 50, p.20-32, 2010.

CUNHA, G. R.; CAIERÃO, E. **Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale**. Informações técnicas para trigo e triticale – Safra 2015. Brasília, DF: Embrapa Trigo, 2014. 229p.

CAZETTA, D. A.; FILHO, D. F.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **5º Levantamento de grãos, safra 2016/2017**. Brasília, 2017. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=30>>. Acessado em 15 jan. 2017.

DAROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, p. 799-804, 2003.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de produção de trigo**. Usos do trigo. Londrina, 2015. Disponível em <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/trigo1>>. Acessado em 15 Jan. 2017.

ELAZAB, A.; BORT, J.; ZHOU, B.; DOLORS, M.; NIETO-TALADRIZ, M. T.; LUIS, J. The combined use of vegetation indices and stable isotopes to predict durum wheat grain yield under contrasting water conditions. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 196-208, 2015.

ERDLE, K.; AGRICULTURAL, G.; MISTELE, B.; UNIVERSIT, T. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. **Field Crop Research**, v. 124, n. 1, p. 74-84, 2011.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acessado em 15 jan. 2017.

FENG, W.; YAO, X.; ZHU, Y.; TIAN, Y.C.; CAO, W. X. Monitoring leaf nitrogen status with hyperspectral reflectance in wheat. **European Journal of Agronomy**, v.28, n. 3, p. 394-404, 2008.

GAO, X.; LUKOW, O. M.; GRANT, C. A. Grain concentrations of protein, iron and zinc and bread making quality in spring wheat as affected by seeding date and nitrogen fertilizer management. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 121, p.36-44, 2012.

GRUNES, D. L.; ALLAWAY, W. H. Nutritional quality of plants in relation to fertilizer use. In: ENGELSTAD, O. P. **Fertilizer technology and use**. 3.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1985. p. 589-619.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.

JOHANSSON, E.; PRIETO-LINDE, M. L.; JÖNSSON, J. Ö. Effects of Wheat Cultivar and Nitrogen Application on Storage Protein Composition and Breadmaking Quality. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 1, p. 19-25, 2001.

KAPP JUNIOR, C.; GUIMARÃES, A. M.; CAIRES, E. F. Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 886-894, 2016.

MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, A. S.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; AMABILE, R. F. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em Latossolo Vermelho do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1941-1948, 2008.

MEDRADO, R. D.; CARVALHO, A. C. F.; MORAES, A. M.; RIOS, E. M.; LANG, C. R.; LOPES, E. C. P. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agrária**, v. 12, n. 2, p. 97-107, 2011.

MYNENI, R. B.; RAMAKRISHNA, R.; NEMANI, R.; RUNNING, S. W. Estimation of Global Leaf Area index and Absorbed Par Using Radiative Transfer Models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 6, p. 1380-1393, 1997.

MOGER, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of Green, Red, and Near Infrared Bands for Predicting Winter Wheat Biomass, Nitrogen Uptake, and Final Grain Yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 8, p. 1431-1441, 2004.

NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; DOS SANTOS, L. P. D.; XAVIER, F.O, DEZORDI, L. R.; ASSUNÇÃO, N. S. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 174-182, 2015.

OKUMURA, R. S.; TAKAHASHI, H. W.; SANTOS, D. G. C.; LOBATO, A. K. DA S.; MARIANO, D. C.; MARQUES, O. J. M.; SILVA, M. H. L.; OLIVEIRA NETO, C. F.; LIMA JUNIOR, J. A. Influence of different nitrogen levels on growth and production parameters in maize plants. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 9, n. 3, p. 510-514, 2011.

PAULETTI, V.; COSTA, L. C. **Calibração de doses de nitrogênio para milho, em plantio direto, na região dos Campos Gerais – Paraná**. Castro: [s.n.], 2006. 36. p. (Relatório interno Fundação ABC).

PARK, H.; CLAY, D. E.; HALL, R. G.; ROHILA, J. S.; TULSI, P.; CLAY, S. A.; LEE, S. Winter Wheat Quality Responses to Water, Environment, and Nitrogen Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 14, p. 1894-1905, 2014.

PARTON, W.; SILVER, W. L.; BURKE, I. C, GRASSENS, L.; HARMON, M. E.; CURRIE, W. S. Y.; KING, J. Y.; ADAIR, E. C.; BRANDT, L. A.; HART, S. C.; FASTH, B. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**. v. 315, p. 361-364, 2007.

PENCKOWSKI, L. H.; JEFERSON, Z.; FERNANDES, E. C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1492-1499, 2010.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. **Trends in Plant Science**, v.3, n. 4, p. 151-156, 1998.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE, M. D. A. G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. D. Eficiência de uso da radiação

solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 352-356, 2006.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Produtividade de Cultivares de Trigo Submetidas a Doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: FREDEN, S. C.; MERCANTI, E. P.; BECKER, M. **Proceedings of the third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**. Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SHI, R.; ZHANG, Y.; CHEN, X.; SUN, Q.; ZHANG, F.; RÖMHELD, V.; ZOU, C. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 1, p. 165-170, 2010.

SOUZA, T. M.; PRANDO, A. M.; TAKABAYASHI, C. R.; SANTOS, J. S.; ISHIKAWA A. T.; FELÍCIO, A. L. S. M. Composição química e desoxinivalenol em trigo da região Centro - Sul do Paraná: Adubação nitrogenada em cobertura associada com *Azospirillum brasilense*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 327-342, 2014.

SCHÄCHTL, J.; HUBER, G.; MAIDL, F. X.; STICKSEL, E.; SCHULZ, E.; ASCHBERGER, P. Laser-induced chlorophyll fluorescence measurements for detecting the nitrogen status of wheat (*Triticum aestivum* L.) canopies. **Precision Agriculture**, v. 6, p. 143-156, 2005.

SPITKÓ, T.; ZSUBORI, Z. T.; SZOKE, C.; BERZY, T.; PINTÉR, J.; MARTON, C. L. Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. 7, p. 293-298, 2016.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÁNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 24-29, 2006.

WANG, S.; TIAN, X.; LI, M.; NI, Y.; LI, J.; LI, H.; WANG, S.; CHEN, Y.; GUO, C.; ZHAO, A. Water and nitrogen management on micronutrient concentrations in winter wheat. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 3, p. 1003-1010, 2014.

WU, J.; LI, J.; WANG, C.; WEI, F.; ZHANG, Y.; WU, W. Effects of spraying foliar nitrogen on activities of key regulatory enzymes involved in protein formation in winter wheat suffered post-anthesis high temperature and waterlogging. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 2, p. 668-673, 2013.

ZHAO DL, REDDY KR, KAKANI VG, READ JJ, KOTI S. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 1, p. 89-98, 2005.

2 CAPÍTULO I: DIFERENÇAS NA QUALIDADE NUTRICIONAL PROPORCIONADAS POR CULTIVARES E ADUBAÇÃO NITROGENADA SÃO REDUZIDAS PELO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DO TRIGO

2.1 RESUMO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) possui papel fundamental na alimentação humana como fonte de elementos essenciais. O uso de diferentes cultivares e de adubação nitrogenada pode aumentar a qualidade do grão do trigo, mas o processamento pode diminuir a fração de nutrientes que permanece na farinha. Dois experimentos de campo foram conduzidos com o objetivo de avaliar a qualidade nutricional de grãos e farinha influenciada pela adubação nitrogenada, cultivares e processamento (moagem) dos grãos. Os experimentos foram conduzidos nos municípios de Ponta Grossa, Estado do Paraná de clima Cfb e Itaberá, Estado de São Paulo de clima Cfa, no Brasil durante a safra de inverno de 2015. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial com três repetições. Os tratamentos consistiram de uma combinação de cinco cultivares de trigo (Gralha Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Toruk, CD 1104 e ORS Vintecinco) em Ponta Grossa e três cultivares (Gralha Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Toruk) em Itaberá com seis doses de N (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N). As cultivares de trigo variam em concentração e acúmulo de nutrientes e proteína nos grãos e na farinha. A adubação nitrogenada melhorou a qualidade nutricional dos grãos pelo incremento de proteína, Ca, Mg, Cu e Zn. Entretanto, o processamento dos grãos reduziu expressivamente a concentração de proteínas e nutrientes minerais na farinha e alterou as diferenças entre cultivares e os benefícios da adubação nitrogenada na qualidade nutricional. Após a moagem, os nutrientes seguem a seguinte ordem de retenção na farinha: proteína>Ca>Fe>Cu>P>K>Mg≈Zn>Mn. A determinação dos teores nutricionais no grão não é adequada como indicador da qualidade da farinha.

Palavras chave: Qualidade nutricional. Saúde humana. Farinha. *Triticum aestivum*.

2.2 ABSTRACT

The wheat (*Triticum aestivum* L.) plays a key role in human food as a source of essential elements. The use of different cultivars and nitrogen fertilization may increase the wheat grain quality, but processing may decrease the fraction of nutrients remaining in the flour. Two field experiments were conducted with the objective of evaluating the nutritional quality of grains and flour influenced by nitrogen fertilization, cultivars and grain processing (milling). The experiments were conducted in Ponta Grossa, State of Paraná, Cfb climate, and Itaberá, State of São Paulo, Cfa climate, during the winter of 2015. The experimental design was a randomized block design, in factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of a combination of five wheat cultivars (Gralha Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Toruk, CD 1104 e ORS Vintecinco) in Ponta Grossa and three cultivars (Gralha Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Toruk) in Itaberá with six N doses (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹ of N). Wheat cultivars vary in concentration and accumulation of nutrients and protein in grains and flour. Nitrogen fertilization improved the nutritional quality of the grains by increasing protein, Ca, Mg, Cu and Zn. However, the grain processing significantly reduced the proteins and minerals nutrients concentration in the flour and altered the differences between cultivars and the benefits of nitrogen fertilization in nutritional quality. After milling, the nutrients follow the following retention order in the flour: protein > Ca > Fe > Cu > P > K > Mg ≈ Zn > Mn. The determination of the nutritional contents in the grain is not adequate as an indicator of the quality of the flour.

Keywords: Nutritional quality. Human health. Flour. *Triticum aestivum*.

2.3 INTRODUÇÃO

Como uma importante fonte de proteínas, macro e micronutrientes o trigo é um dos cereais mais produzidos em volume no mundo, ultrapassando 715 milhões de toneladas, sendo o segundo maior cultivo responsável pela alimentação humana (FAO, 2015). No entanto, ao longo das últimas décadas a concentração de nutrientes nos grãos desta espécie vem diminuindo com a seleção e introdução de novas cultivares de altas produtividades (Fan et al., 2008; Hussain et al., 2012).

Na maioria dos países os produtos alimentares à base de trigo são fabricados com a farinha que é o endosperma refinado a partir da exclusão do germe (embrião) e camadas periféricas (farelo) durante a moagem e processamento dos grãos. A concentração de proteína e de nutrientes minerais em grãos e em farinhas depende do genótipo utilizado, tipo de solo e condições ambientais do local de cultivo (Calderini e Ortiz-monasterio, 2003; Gao et al., 2012). A adubação nitrogenada além de aumentar a produtividade (Nunes et al., 2015; Li et al., 2016) também pode promover a melhoria nos teores de proteínas (Abedi et al., 2010; Shi et al., 2010; Gao et al., 2012; Wu et al., 2013) e nutrientes nos grãos (Shi et al., 2010; Svecnjak et al., 2013; Wang et al., 2014; Zhao et al., 2015). Entretanto, os estudos com adubação nitrogenada comumente avaliam apenas a concentração de nutrientes nos grãos e raramente na farinha, apesar do consumo de produtos derivados de farinha ser muito superior aos provenientes de grãos inteiros. Abordagens em grãos não parecem ser tão promissoras, pois há evidencia de que o aumento do teor de alguns nutrientes como Fe e Zn proporcionado pela adubação nitrogenada resulta em menores aumentos na farinha e principalmente nas frações residuais da produção desta, como no farelo (Shi et al., 2010).

O processamento (moagem) transforma o grão de trigo em farinha e reduz uma quantidade substancial de nutrientes na farinha branca em comparação com grãos inteiros e concentra a maioria no farelo (Cubadda et al., 2009; Shi et al., 2010). Os nutrientes geralmente estão concentrados no embrião e na camada de aleurona do grão de trigo (Ozturk et al., 2006; Cakmak et al., 2010) que também são ricos em proteínas (Lott e Spitzer, 1980). Entretanto, para determinar a extensão da perda mineral na farinha de trigo é importante considerar o genótipo, as condições de moagem e principalmente o rendimento de moagem (taxa de extração de

farinha), que é a quantidade de farinha produzida a partir dos grãos. As variedades comerciais de trigo geralmente apresentam taxas de extrações de farinhas menores que 80 % (Poutanen, 2012) e uma pequena ou nenhuma parcela de farelo e germe (embrião) fica remanescente na farinha final (Dewettinck et al., 2008).

A introdução de novas cultivares de alta produtividade de grãos e alterações nas práticas de manejo, como a adubação nitrogenada, requerem estudos atualizados quanto aos efeitos no teor e na distribuição de proteína e nutrientes nos grãos e, especialmente, na farinha de trigo. Estudos sobre efeito da adubação nitrogenada após o processamento dos grãos são escassos na literatura, sobretudo considerando nutrientes minerais, que também são essenciais para a vida humana (Bouis e Welch, 2010). Essas informações permitem uma melhor compreensão da perda nutricional como consequência da moagem para estabelecer, por exemplo, se há necessidade e quais nutrientes necessitam ser suplementados.

Em função do exposto, os objetivos do estudo foram (i) determinar diferenças proporcionadas na qualidade nutricional do trigo em função de cultivares e adubação nitrogenada e, (ii) determinar o efeito do processamento dos grãos na qualidade da farinha.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Área experimental

Dois experimentos foram conduzidos a campo localizados nos municípios de Ponta Grossa, PR nas coordenadas geográficas de 25°00'48" (S) e 50°09'7" (O), altitude de 1000 m e de Itaberá, SP, nas coordenadas 49°09'00" (S) e 50°09'7" (O) com altitude de 735 m, Sul do Brasil, durante a safra de inverno de 2015. As principais características químicas dos solos de cada local determinadas antes da semeadura, são apresentadas na Tabela 1. O clima da região de Ponta Grossa segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb e de Itaberá Cfa. As médias de temperatura e precipitação pluvial acumulada durante a condução dos experimentos foram de 17,22 °C, 18,72 °C e 768 e 686 mm respectivamente para Ponta Grossa e Itaberá. Os valores de temperatura média e os totais por decêndios de precipitação

pluvial, durante o período de condução dos experimentos, estão apresentados na Figura 1.

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS NAS PROFUNDIDADES (PROF.) DE 0 – 10 CM E 10 – 20 CM ANTES DA SEMEADURA DO EXPERIMENTO, EM PONTA GROSSA (PR) E ITABERÁ (SP), BRASIL, 2015.

Local	Prof. cm	MO g dm ³	pH CaCl ₂	P* mg dm ³	Ca	Mg	K	H+Al	Al	CTC	V
Ponta Grossa	0-10	32,0	5,4	67,0	29,0	15	2,8	29	0,0	75,8	61,7
	10-20	23,0	5,0	42,0	23,0	12	2,3	32	0,8	69,3	53,8
Itaberá	0-10	27,0	5,2	50,0	32,0	13	5,0	26	0,0	76,0	66,0
	10-20	21,0	4,5	35,0	15,0	6	3,4	46	6,2	70,4	35,0

*Determinado por resina aniônica.

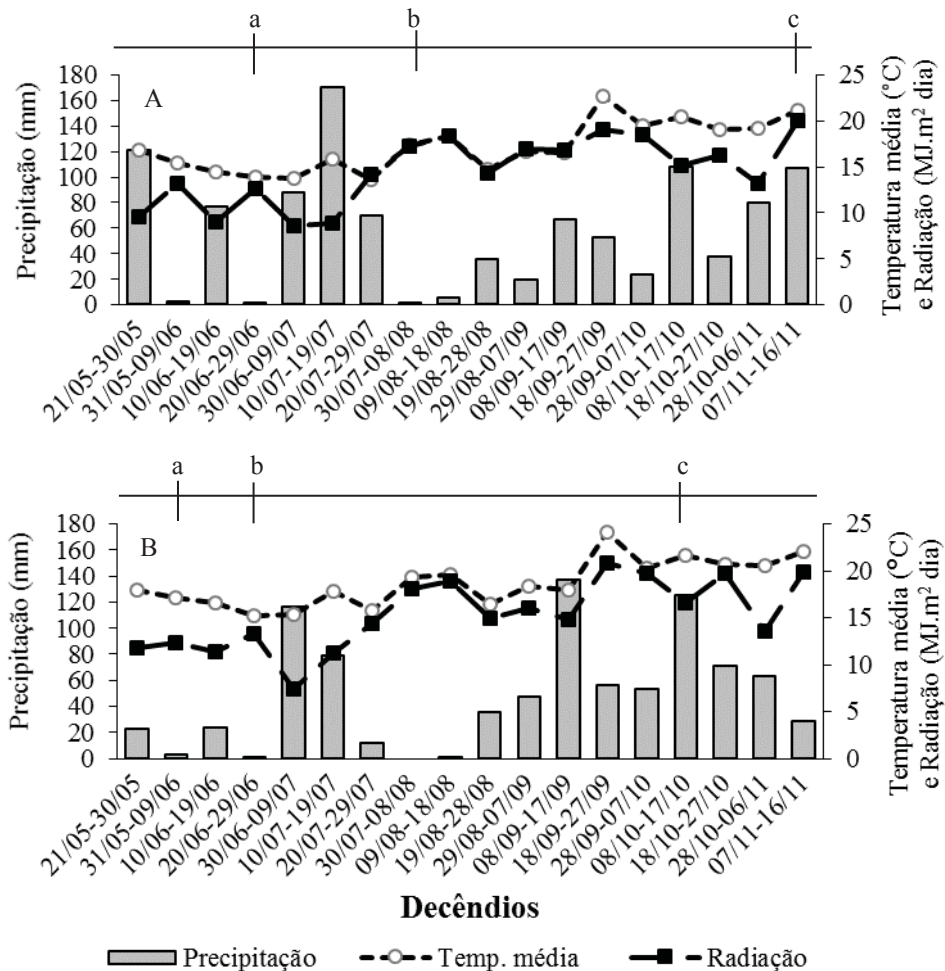


FIGURA 1. PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E RADIAÇÃO SOLAR POR DECÊNDIOS DURANTE A CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS EM PONTA GROSSA, PR (A) E ITABERÁ, SP (B), BRASIL, 2015.

a= Semeadura, b= Aplicação de nitrogênio, c= Colheita.

FONTE: O autor (2017).

2.4.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados com três repetições, em esquemas fatoriais 5x6 e 3x6 para os experimentos realizados em Ponta Grossa e Itaberá, respectivamente. Os tratamentos consistiram de uma combinação de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), sendo cinco no experimento de Ponta Grossa (BRS Gralha Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Toruk, CD 1104 e ORS Vintecinto) e três no experimento de Itaberá (BRS Gralha Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Toruk), com seis doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N). A área de cada parcela foi de 15 m². A semeadura foi realizada em 23 de Junho (Ponta Grossa) e 14 de Outubro (Itaberá) do ano de 2015 após o cultivo de milho, adotando-se o espaçamento entre linhas de 0,17 m. Todas as parcelas receberam adubação de 30 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O no sulco de semeadura. O restante do N correspondente a cada tratamento foi aplicado a lanço no estágio de perfilhamento, utilizando como fonte a uréia (46 % de N).

2.4.3 Produtividade de grãos e de farinha

No ponto de maturação fisiológica foi realizada a colheita dos grãos de cada parcela, utilizando uma colhedora automotriz de parcelas. Os grãos colhidos foram pesados e a produtividade determinada em kg ha⁻¹, na umidade de 130 g kg⁻¹. Posteriormente, colocou-se amostras de grãos de cada parcela em estufa com ventilação forçada de ar para secagem à 60 ° C ± 2 ° C até peso constante. Uma subamostra dos grãos de aproximadamente 50 g foi moída em moinho de facas, modelo Willye e utilizada para determinação do teor de nutrientes. Outra subamostra de 2 kg de grãos de cada parcela foi utilizada para produção de farinha e determinando-se o rendimento de moagem (taxa de extração de farinha) pelo método da AACC n.º 26-10A (2000). Multiplicando-se a produtividade de grãos da parcela pelo rendimento de extração de farinha médio da cultivar, obteve-se a produtividade de farinha. Uma amostra da farinha produzida também foi utilizada para determinação do teor de nutrientes.

2.4.4 Proteína, macro e micronutrientes em grãos e farinha

Os teores de nitrogênio nos grãos e na farinha foram determinados por combustão seca em analisador elementar (CNHS, VARIO EL III®). O teor de N-total foi multiplicado por 6,25, obtendo-se a porcentagem de proteína tanto nos grãos quanto na farinha.

Os nutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn) e zinco (Zn) foram extraídos por digestão ácida, conforme descrito em (Martins e Reissmann, 2007) e determinados através de espectrofotometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP - OES, VARIAN 720 - ES).

O conteúdo de nutrientes nos grãos e farinha foi calculado considerando o teor do nutriente, a produtividade de grãos e de farinha. A partir destes dados calculou-se a porcentagem de retenção de proteína e nutrientes que permaneceram na farinha, após o processamento dos grãos, considerando a seguinte fórmula:

$$\% \text{ retenção} = \left\{ \left(\frac{\text{Conteúdo do nutriente farinha}}{\text{Conteúdo do nutriente no grão}} \right) \times 100 \right\}$$

(1)

2.4.5 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e posteriormente à análise de correlação linear de Pearson, análise de variância (ANOVA) (Tabela 2) e em caso de significância as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

2.5 RESULTADOS

2.5.1 Produtividade e teor de proteína

No experimento realizado em Ponta Grossa, não houve interação entre cultivar e dose de N para produtividade de grãos e de farinha e teor de proteína nos grãos e farinha (Tabela 2). A aplicação de N aumentou a produtividade de grãos e

farinha e o teor de proteína nos grãos e farinha (Tabela 3) de 158,1 para 172,8 g kg⁻¹ no grão e de 135,0 para 149,1 g kg⁻¹ na farinha, correspondendo a um aumento de 9,3 e 10,4 %, respectivamente.

Em Itaberá, a adubação nitrogenada não alterou a produtividade de grãos e de farinha, mas aumentou o teor de proteína na farinha (Tabela 3), em proporções que variaram entre as cultivares (Tabela 2). Em média, os acréscimos foram de 9,7% e 21,6% nos grãos e farinha, respectivamente, porém sem efeito significativo nos grãos. Aumento maior foi observado na cultivar Gralha Azul, com incremento de 25,1 % e menor nas cultivares Toruk e Sinuelo, com incrementos de 21,3 % e 17,9 %, respectivamente (dados não apresentados). Demonstrando que a adubação nitrogenada tem efeito consistentemente maior no teor de proteínas da farinha do que nos grãos. Maiores teores de proteína ocorreram na cultivar CD 1104 seguida da Gralha Azul em Ponta Grossa na farinha e na Gralha Azul nos grãos e na farinha em Itaberá (Tabela 4).

TABELA 2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS (FE) E SUAS INTERAÇÕES SOBRE A PRODUTIVIDADE (PROD), CONCENTRAÇÃO DE PROTEÍNA (PB) E NUTRIENTES MINERAIS DO EXPERIMENTO DE PONTA GROSSA (PR) E ITABERÁ (SP), BRASIL, 2015.

FE	GL	PROD	PB	K	Ca	P	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn
Ponta Grossa (PR)											
Grãos											
Cultivar (C)	4	**	NS	*	**	**	**	**	**	**	**
Dose N (D)	5	**	**	NS	NS	**	NS	NS	**	NS	**
C x D	20	NS	NS	NS	NS	**	**	NS	NS	NS	NS
Farinha											
Cultivar (C)	4	**	**	**	**	**	**	**	**	NS	**
Dose N (D)	5	**	**	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
C x D	20	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS
Itaberá (SP)											
Grãos											
Cultivar (C)	2	NS	**	NS	**	*	**	**	**	**	**
Dose N (D)	5	*	*	NS	*	NS	NS	NS	*	*	**
C x D	10	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Farinha											
Cultivar (C)	2	NS	**	NS	**	**	**	**	**	**	**
Dose N (D)	5	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	**
C x D	10	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

** e * = significativo aos níveis $p < 0,01$ e $0,05$ pelo teste F, respectivamente, NS = não significativo.

FONTE: O autor (2017).

Correlacionando produtividade de grãos com o teor de proteína na farinha, somente foi observada significância ($p < 0,05$) no experimento realizado em Ponta Grossa ($r = 0,37$). Porém, maiores teores nos grãos refletiram em maiores teores da farinha, com correlação positiva ($p < 0,01$) nos dois experimentos entre os teores encontrados nos grãos e na farinha ($r = 0,69$ em Ponta Grossa e $r = 0,77$ em Itaberá).

2.5.2 Concentração de nutrientes nos grãos e farinha

De forma geral e recorrente, a concentração dos nutrientes minerais reduz expressivamente na farinha em relação aos grãos (Tabelas 3 e 4) e as variações observadas nos teores de nutrientes nos grãos proporcionadas pela aplicação de N são minimizadas ou ausentes na farinha (Tabela 3).

Com exceção do P, não houve interação entre cultivares e doses de N em ambos experimentos quanto a concentração de nutrientes nos grãos e na farinha de trigo (Tabela 2). A aplicação de N diminuiu o teor de P nos grãos de trigo em Ponta Grossa, e aumentou o teor de Ca, Cu e Zn nos grãos e de Mg e Zn na farinha em Itaberá (Tabela 3). Considerando o maior valor obtido com a adubação nitrogenada houve aumento de até 114,3 %, 9,3 % e 43,2 % dos teores de Ca, Cu e Zn nos grãos, respectivamente em Itaberá, entretanto, na farinha não houve diferença no teor de Ca e Cu e a variação máxima observada para o Zn foi de 25,0 % (de 6,0 para 7,5 mg kg⁻¹), respectivamente.

A concentração de nutrientes nos grãos e na farinha de trigo foi influenciada pelas diferentes cultivares, independente do local do experimento (Tabelas 2 e 4). A única exceção foi K nos grãos e na farinha em Itaberá.

TABELA 3. PRODUTIVIDADE (PROD), CONCENTRAÇÃO DE PROTEÍNA (PB) E NUTRIENTES DE GRÃOS E FARINHA DE TRIGO EM FUNÇÃO DE DOSSES DE NITROGÊNIO, PONTA GROSSA (PR) E ITABERÁ (SP), BRASIL, 2015.

Fração	Dose N (kg ha ⁻¹)	PROD (kg ha ⁻¹)	PB	K Ca P Mg				Mn Cu Fe Zn			
				----- (g kg ⁻¹) -----				----- (mg kg ⁻¹) -----			
Grão	0	1315 d	158,1 b	4,53 a	0,33 a	3,79 a	1,52 a	37,7 a	4,2 a	26,4 a	36,7 ab
	40	2024 c	159,0 b	4,67 a	0,39 a	3,58 b	1,49 a	34,7 a	3,5 c	19,7 a	32,6 b
	80	2489 b	160,2 b	4,50 a	0,36 a	3,52 b	1,47 a	37,3 a	3,8 abc	23,5 a	37,2 ab
	120	2840 ab	169,1 ab	4,45 a	0,35 a	3,51 b	1,50 a	36,0 a	4,2 ab	24,8 a	37,1 ab
	160	2954 a	163,3 ab	4,59 a	0,32 a	3,49 b	1,49 a	34,6 a	3,7 bc	21,6 a	37,0 ab
	200	3017 a	172,8 a	4,72 a	0,40 a	3,49 b	1,48 a	35,0 a	4,0 abc	25,9 a	41,1 a
Farinha	0	825 d	135,0 cd	1,11 a	0,15 a	1,17 a	0,33 a	4,98 a	1,6 ab	9,4 a	7,7 a
	40	1290 c	133,2 d	1,08 a	0,16 a	1,15 a	0,32 a	4,68 a	1,4 c	7,0 a	6,8 a
	80	1596 b	135,8 cd	1,15 a	0,16 a	1,11 a	0,33 a	5,02 a	1,5 bc	8,4 a	7,6 a
	120	1766 ab	140,4 bc	1,11 a	0,17 a	1,15 a	0,33 a	4,65 a	1,5 abc	8,2 a	7,9 a
	160	1831 ab	142,1 b	1,11 a	0,17 a	1,12 a	0,31 a	4,26 a	1,6 abc	8,4 a	7,6 a
	200	1926 a	149,1 a	1,02 a	0,16 a	1,15 a	0,32 a	4,67 a	1,7 a	9,1 a	8,2 a
Grão	0	3648 a	141,6 a	4,23 a	0,21 b	2,85 a	1,28 a	43,1 a	4,3 b	29,4 a	22,9 c
	40	3910 a	138,0 a	4,20 a	0,34 ab	2,87 a	1,32 a	43,1 a	4,3 ab	39,6 a	23,1 c
	80	4150 a	154,1 a	3,93 a	0,25 ab	2,82 a	1,34 a	43,2 a	4,5 ab	24,9 a	23,9 c
	120	4161 a	150,2 a	4,22 a	0,45 a	2,56 a	1,26 a	42,0 a	4,4 ab	31,8 a	24,8 bc
	160	4128 a	155,3 a	4,03 a	0,45 a	2,68 a	1,33 a	44,1 a	4,7 a	31,1 a	32,8 a
	200	4145 a	153,9 a	4,21 a	0,41 ab	2,75 a	1,32 a	44,0 a	4,6 ab	40,9 a	30,5 ab
Farinha	0	2248 a	111,7 d	0,97 a	0,17 ab	1,05 a	0,28 b	4,65 a	1,9 a	11,4 a	6,0 bc
	40	2464 a	119,5 c	1,08 a	0,16 b	1,07 a	0,31 ab	4,88 a	1,8 a	10,2 a	5,4 c
	80	2671 a	124,5 bc	1,09 a	0,17 ab	1,09 a	0,32 ab	5,00 a	2,2 a	15,7 a	6,4 abc
	120	2558 a	123,8 bc	1,02 a	0,17 ab	1,04 a	0,31 ab	5,16 a	1,9 a	17,5 a	6,4 abc
	160	2553 a	130,2 ab	1,09 a	0,19 a	1,04 a	0,32 ab	5,05 a	2,0 a	13,3 a	7,5 a
	200	2627 a	135,8 a	1,18 a	0,18 ab	1,06 a	0,33 a	5,34 a	2,4 a	17,5 a	7,0 ab

Para cada fração, médias da coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$. nd = não determinado.

FONTE: O autor (2017).

A diferença observada entre cultivares na concentração de Fe nos grãos em Ponta Grossa, foi atenuada na farinha, porém se manteve em Itaberá, com os maiores teores na cultivar Galha Azul. No experimento de Ponta Grossa as concentrações de K e Mg nos grãos foram maiores na cultivar Toruk e inferiores na CD 1104 e Galha Azul, porém na farinha o teor de K é maior na CD 1104 e de Mg na Galha Azul. Em Itaberá, as diferenças para o Mg ocorreram do mesmo modo que em Ponta Grossa, com a cultivar Galha Azul contendo os menores teores nos grãos e maiores na farinha. Para Mn o resultado é praticamente idêntico, com a cultivar Galha Azul mantendo mais deste nutriente na farinha, apesar de apresentar menor teor nos grãos. Para Fe e Zn, as diferenças entre cultivares se mantêm nos grãos e na farinha, com as cultivares Galha Azul, Sinuelo e CD 1104 em Ponta Grossa e Galha Azul em Itaberá com os maiores teores (Tabela 4).

A diferença observada entre cultivares na concentração de Fe nos grãos em Ponta Grossa, foi atenuada na farinha, porém se manteve em Itaberá, com os maiores teores na cultivar Galha Azul. No experimento de Ponta Grossa as concentrações de K e Mg nos grãos foram maiores na cultivar Toruk e inferiores na CD 1104 e Galha Azul, porém na farinha o teor de K é maior na CD 1104 e de Mg na Galha Azul. Em Itaberá, as diferenças para o Mg ocorreram do mesmo modo que em Ponta Grossa, com a cultivar Galha Azul contendo os menores teores nos grãos e maiores na farinha. Para Mn o resultado é praticamente idêntico, com a cultivar Galha Azul mantendo mais deste nutriente na farinha, apesar de apresentar menor teor nos grãos. Para Fe e Zn, as diferenças entre cultivares se mantêm nos grãos e na farinha, com as cultivares Galha Azul, Sinuelo e CD 1104 em Ponta Grossa e Galha Azul em Itaberá com os maiores teores (Tabela 4).

Correlacionando produtividade de grãos com o teor de nutrientes na farinha, somente foi observada significância ($p < 0,05$) para o teor de K ($r = 0,51$) e de Mg ($r = 0,56$) na farinha em Itaberá. Houve correlação positiva ($p < 0,01$) nos dois experimentos entre os teores encontrados nos grãos e na farinha apenas para Cu ($r = 0,59$ em Ponta Grossa e $r = 0,66$ em Itaberá) e Zn, ($r = 0,58$ em Ponta Grossa e $r = 0,68$ em Itaberá). As correlações, apesar de apresentam coeficientes não muito altos, indicam que maiores teores nos grãos refletiram em maiores teores da farinha.

TABELA 4. TEOR DE PROTEÍNA (PB) E NUTRIENTES MINERAIS DE GRÃOS E FARINHA DE DIFERENTES CULTIVARES DE TRIGO. PONTA GROSSA (PR) E ITABERÁ (SP), BRASIL, 2015.

Fração	Cultivar	PB	K	Ca	P	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn
		(g kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)			
Ponta Grossa (PR)										
Grão	Gralha Azul	160,3 a*	4,37 b	0,38 a	3,56 a	1,41 c	35,6 bc	3,90 ab	26,0 a	38,2 a
	Sinuelo	163,6 a	4,70 ab	0,23 b	3,68 a	1,49 b	40,5 a	4,16 a	27,4 a	41,7 a
	Toruk	160,8 a	4,88 a	0,41 a	3,58 a	1,57 a	39,0 ab	3,72 bc	26,1 ab	32,6 b
	CD 1104	167,7 a	4,39 b	0,34 ab	3,66 a	1,51 ab	30,6 d	4,21 a	21,1 ab	38,9 a
	Vintecinco	166,2 a	4,56 ab	0,44 a	3,34 b	1,46 bc	33,7 cd	3,44 c	17,6 b	33,5 b
Farinha	Gralha Azul	140,4 b	1,08 ab	0,18 a	1,26 a	0,38 a	5,39 a	1,60 ab	9,02 a	8,79 a
	Sinuelo	136,9 bc	0,91 b	0,14 b	1,21 a	0,32 bc	5,21 a	1,77 a	9,03 a	8,29 ab
	Toruk	135,2 c	1,11 ab	0,17 ab	0,98 b	0,30 bc	4,09 b	1,23 c	7,11 a	6,05 c
	CD 1104	145,8 a	1,26 a	0,15 b	1,22 a	0,31 b	4,25 b	1,66 ab	8,42 a	7,75 ab
	Vintecinco	137,9 bc	1,13 ab	0,15 b	1,04 b	0,28 c	4,60 ab	1,52 b	8,59 a	7,19 bc
Itaberá (SP)										
Grão	Gralha Azul	157,6 a	3,90 a	0,52 a	2,60 b	1,23 c	41,2 b	4,89 a	40,9 a	30,1 a
	Sinuelo	147,1 b	4,28 a	0,21 b	2,88 a	1,32 b	45,3 a	4,73 a	28,1 b	28,8 b
	Toruk	141,8 b	4,23 a	0,33 b	2,79 ab	1,38 a	43,3 ab	3,84 b	29,9 b	23,6 b
	CD 1104	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Vintecinco	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Farinha	Gralha Azul	133,7 a	1,03 a	0,19 a	1,11 a	0,33 a	5,87 a	3,09 a	22,5 a	7,68 a
	Sinuelo	118,9 b	1,05 a	0,15 b	1,08 a	0,30 b	5,23 b	1,69 b	10,8 b	6,15 b
	Toruk	120,2 b	1,12 a	0,17 a	0,99 b	0,30 b	3,95 c	1,35 b	9,5 b	5,54 b
	CD 1104	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
	Vintecinco	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

*Para cada fração, médias da coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$.

nd = não determinado.

FONTE: O autor (2017).

2.5.3 Distribuição de proteína e nutrientes no grão

As taxas médias de extração de farinha das cultivares foram de 65,2 %, 61,2 %, 60,4 %, 62,4 % e 65,8 %, respectivamente, para Gralha Azul, Sinuelo, Toruk, CD 1104 e Vintecinco no experimento de Ponta Grossa e de 58,6 %, 65,2 % e 66,1 % para Gralha Azul, Sinuelo e Toruk, respectivamente no experimento de Itaberá. Considerando estes valores, as porcentagens do conteúdo de proteína bruta e dos nutrientes na farinha em relação ao conteúdo total do grão são apresentadas na

Tabela 5. Em média entre os dois locais, a retenção dos nutrientes na farinha após a moagem segue a seguinte ordem: PB>Ca>Fe>Cu>P>K>Mg≈Zn>Mn. Entre 50,8 e 55,5 % da proteína é depositada na farinha, com a cultivar Toruk uma das cultivares com maiores valores e a Sinuelo os menores, evidenciado no experimento de Itaberá.

TABELA 5. DISTRIBUIÇÃO PORCENTUAL DE PROTEÍNA BRUTA (PB) E NUTRIENTES NA FARINHA DE CULTIVARES DE TRIGO EM RELAÇÃO AO TOTAL ACUMULADO NOS GRÃOS.

Cultivar	PB	K	Ca	P	Mg	Mn	Cu	Fe	Zn
----- (%) -----									
Ponta Grossa (PR)									
Gralha Azul	53,3 a*	15,0 ab	31,5 ab	21,5 a	16,0 a	9,2 a	25,0 bc	24,6 a	14,0 a
Sinuelo	52,3 a	12,2 b	43,3 a	20,6 ab	13,6 b	8,0 ab	26,5 ab	23,4 a	12,5 a
Toruk	55,0 a	15,1 ab	30,0 b	17,9 b	12,4 b	6,9 b	21,8 c	23,4 a	12,4 a
CD 1104	53,4 a	17,9 a	29,5 b	20,4 ab	13,4 b	8,6 a	24,4 bc	33,7 a	12,4 a
Vintecinco	54,8 a	16,5 a	27,0 b	20,8 a	12,9 b	9,1 a	30,0 a	35,4 a	14,6 a
Itaberá (SP)									
Gralha Azul	51,5 ab	16,6 a	26,1 b	26,2 a	16,6 a	8,7 a	38,9 a	37,6 a	16,0 a
Sinuelo	50,8 b	15,8 a	57,4 a	23,5 b	14,0 b	7,2 b	22,3 b	27,0 a	15,7 a
Toruk	55,5 a	17,9 a	43,1 a	23,2 b	14,3 b	6,0 c	23,0 b	31,9 a	15,9 a
CD 1104	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Vintecinco	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

*Para cada local, as médias da coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, $p < 0,05$: nd = não determinado.

FONTE: O autor (2017).

O Ca é o mineral que mais permanece na farinha, com valores variando muito entre as cultivares de 26,1 e 57,4 % e com a cultivar Sinuelo estando entre as de maior valor. O nutriente que menos permanece na farinha é o Mn, com valores que variam apenas entre 6,0 e 9,0 % do total acumulado nos grãos. Os demais elementos também diminuem expressivamente após o processamento, sendo que menos de 1/3 permanece na farinha.

De forma geral ocorreram diferenças entre as cultivares praticamente em todos os nutrientes avaliados, mas a Gralha Azul esteve sempre entre as que mais depositaram nutrientes na farinha, com exceção do Ca.

2.6 DISCUSSÃO

A introdução de novas cultivares de alto rendimento de grãos tem proporcionado redução nos teores nutricionais dos grãos de trigo (Fan et al., 2008; Hussain et al., 2012). Embora, o rendimento de grãos em trigo seja frequentemente aumentado pela adubação nitrogenada (Abedi et al., 2010; Wu et al., 2013; Nunes et al., 2015; Li et al., 2016), as consequências na qualidade nutricional da farinha divergem em relação à qualidade do grão. Ainda, os efeitos observados na produtividade, concentração de proteína e na qualidade nutricional de grãos e farinha de trigo divergem entre os experimentos (Tabela 3 e 4), sugerindo uma forte influência de fatores ambientais, como precipitação e temperatura nestas características. É provável que a uréia aplicada tenha sofrido volatilização em função da baixa umidade e das elevadas temperaturas no momento da aplicação em Ponta Grossa (Figura 1). Em virtude da baixa umidade no solo e temperaturas altas são fatores que aumentam as perdas de amônia a partir da aplicação de uréia não incorporada ao solo (Ernani, 2003).

Houve diminuição expressiva dos teores de proteína e nutrientes na farinha em relação ao observado nos grãos (Tabela 3) e, em geral adubação nitrogenada causou variações na qualidade nutricional dos grãos, porém, o processamento industrial que resultou na produção da farinha, atenuou estes benefícios. Exceção foi para proteína cuja diferença entre aplicar ou não N foi ampliada na farinha. O aumento no teor de proteína nos grãos como efeito da adubação nitrogenada também foi observado por Gao et al. (2012) e Wu et al. (2013). O nitrogênio melhora a atividade das principais enzimas reguladoras que estão envolvidas na formação de proteínas no trigo, tais como nitrato redutase, glutamina sintetase e transaminase glutâmica pirúvica (Wu et al., 2013). Os aumentos nos teores de Ca, Zn e Cu nos grãos proporcionados pela adubação nitrogenada foram semelhantes aos encontrados por Svečnjak et al. (2013) para Zn (9,2 %) e Cu (13,2 %) em experimentos com baixo (67 kg ha^{-1}) e alto (194 kg ha^{-1}) fornecimento de N. A ausência de efeito nos demais nutrientes, provavelmente está ligada à diferentes capacidades para translocação dentro da planta. Em trigo, o Zn apresenta boa remobilização para os grãos, enquanto o Mn possui fraca remobilização para os grãos (Pearson e Rengel, 1994). Alguns pesquisadores relatam que em trigo

cultivado em campo, o Fe apresenta remobilização muito limitada para o grão (apenas de 5 % a 20 %), enquanto o Cu é facilmente remobilizado para os grãos (32 %; 60 %) (Miller et al., 1993; Hocking, 1994). O aumento no teor de Ca pode estar relacionado à maior necessidade do nutriente nos grãos para formação da parede celular (Ferreira et al., 2001) enquanto a diminuição do teor de P nos grãos do experimento de Ponta Grossa se deve ao efeito de diluição devido ao aumento de produtividade de grãos (Tabela 3). Correlação negativa ($r=-0,50$, $p<0,01$) foi observada entre estes dois componentes. É comum observar relação inversa entre produtividade de grãos e teores de nutrientes minerais em grãos de trigo (Oury et al., 2006; Fan et al., 2008; Liu et al., 2014).

Com exceção do teor de proteína e Zn, as cultivares que apresentaram os maiores teores de nutrientes nos grãos não foram as mesmas na farinha (Tabela 4). Variações entre genótipos quanto à concentração de proteína e nutrientes nos grãos também foi relatada por Calderini e Ortiz-Monasterio (2003). Entre as cultivares, a Gralha Azul é a que teve os maiores teores de Fe nos grãos ($40,9 \text{ mg kg}^{-1}$) e, junto com a Sinuelo ($41,7 \text{ mg kg}^{-1}$), teve os maiores teores de Zn (Tabela 4). Estes teores são superiores a exigência média a ser alcançada nos valores alvo referenciada pelo programa HarvestPlus de Biofortificação, de 30 mg kg^{-1} para Fe e 40 mg kg^{-1} para Zn (Bouis et al., 2011).

O fato de que as cultivares que apresentaram os maiores teores de nutrientes nos grãos não serem as mesmas com os maiores teores na farinha, indica variações na partição dos nutrientes dentro do grão. Exceção, como comentado anteriormente, para proteína e Zn. Isso significa que a análise do teor de nutrientes nos grãos não é um bom indicador da qualidade nutricional da farinha. A ausência de correlação entre a maioria das características de qualidade nutricional dos grãos com as da farinha também evidencia que aumentos no teor de nutrientes no grão não servem como indicador de melhoria na farinha. As correlações positivas entre os teores nos grãos e na farinha para Ca, Cu e o Zn foram moderadas em Ponta Grossa ($r<0,60$), não permitindo assegurar que o aumento destes nutrientes nos grãos significaria aumento na farinha. A exceção foi a proteína, cujas correlações foram relativamente altas ($r>0,6$), semelhante ao encontrado em trigo duro por Gao et al. (2012), o que indica que a análise do grão é suficiente para predizer as cultivares que resultarão em farinhas com maior teor de proteína.

O processamento industrial reduziu expressivamente as concentrações dos nutrientes minerais na farinha (Tabela 3). Shi et al. (2010) também relatam menores teores de Fe, Mn, Cu e Zn na farinha em relação ao grão. Em relação aos dados destes autores, os teores destes micronutrientes na farinha, com exceção do Cu, foram menores provavelmente por diferenças na taxa de extração da farinha, nos genótipos de trigo avaliados ou das condições de campo durante o desenvolvimento dos experimentos. Redução nos teores de nutrientes com o processamento dos grãos ocorre devido a maior parte ser depositada na camada de aleurona, e embrião e no revestimento de sementes (farelo) e não no endosperma, que é o componente principal da farinha de trigo (O'Dell et al., 1972; Lott e Spitzer 1980; Pieczonka e Rosopulo, 1985; Lyons et al., 2005; Ozturk et al., 2006; Cakmak et al., 2010; Tosi et al., 2011; Hussain et al., 2012).

O processamento dos grãos resultou em farinha com 55 a apenas 6 % do total de nutrientes encontrados no grão (Tabela 6), ou seja, perdas de 45 a 94%. Em farinha de trigo durum (semolina), Cubadda et (2009) verificaram reduções menores e de 16, 41, 47, 56, 56, 63, 66 e 66 % para Se, Ca, Cu, P, K, Fe, Mg e Zn, respectivamente, porém estes autores consideraram os teores, e não o conteúdo de nutrientes na farinha. As partes ricas em nutrientes nos grãos são removidas durante a moagem, resultando assim numa forte redução nas concentrações na farinha. Com exceção da proteína, que permaneceu mais na farinha que no restante do grão, e do Ca, os demais nutrientes permanecem muito pouco na farinha. Ou seja, são separados com o farelo, geralmente utilizado para alimentação animal.

A maior retenção de proteína na farinha (50,8 a 55,5%) é devido ser predominantemente armazenada no endosperma da semente e com isso menores proporções são removidas no processo industrial. As proteínas do glúten, principal fração de proteína de armazenamento, são localizadas em todo o endosperma (Tosi et al., 2011). Quanto ao Ca, cerca de 47 % é encontrado no endosperma (O'Dell et al., 1972) o que justifica ser o mineral mais retido na farinha.

A variação observada entre as cultivares depende da proporção com que cada nutriente é depositado nas estruturas morfológicas do grão e varia entre genótipos (Lyons et al., 2005). Dentre as cultivares avaliadas, a Gralha Azul foi a mais promissora quanto a manutenção e fornecimento de nutrientes através da farinha (Tabela 6).

2.7 CONCLUSÕES

Cultivares de trigo variam em concentração e acúmulo de nutrientes e proteína nos grãos e na farinha, sendo a Gralha Azul a mais promissora quanto ao fornecimento de nutrientes para alimentação humana.

A adubação nitrogenada melhorou a qualidade nutricional, pelo incremento de Mg na farinha, Ca e Cu nos grãos, Zn e proteína nos grãos e farinha de trigo. Entretanto, o aumento de Zn proporcionado é maior nos grãos do que na farinha.

A maior proporção dos nutrientes não permanece na farinha após o processamento dos grãos, com reduções que variam de 45 a 94% em relação ao total contido nos grãos.

A definição da dose de nitrogênio e da cultivar para fins de melhor qualidade nutricional da farinha para consumo humano, deve ser baseada nas análises nutricionais da farinha, com exceção da proteína, que pode ser estimada pela análise dos grãos.

2.8 REFERÊNCIAS

ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, S. A. Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 4, p. 384-389, 2010.

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Method 26-10A: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. Saint Paul, AACC, 2000.

BOUIS, H.E.; WELCH, R. M. Biofortification — A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. **Crop Science**, v. 50, p.20-32, 2010.

BOUIS, H. E.; HOTZ, C.; MCCLAFFERTY, B.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, W. H. Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 32, n. 1, p. 31-40, 2011.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Review: Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. **Cereal Chemistry**, v.87, n. 1, p. 10-20, 2010.

CALDERINI, D.; ORTIZ-MONASTERIO, I. Grain Position Affects Grain Macronutrient and Micronutrient Concentrations in Wheat. **Crop Science**, v. 43, n. 1, p. 141-151, 2003.

CUBADDA, F.; AURELI, F.; RAGGI, A.; CARCEA, M. Effect of milling, pasta making and cooking on minerals in durum wheat. **Journal Cereal Science**, v. 49, n. 1, p. 92-97, 2009.

DEWETTINCK, K.; BOCKSTAELE, F. V.; KÜHNE, B.; WALLE, D. V. DE, COURTENS, T. M.; GELLYNCK, X. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. **Journal Cereal Science**, v. 48, n. 2, p. 243-257, 2008.

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

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acessado em 15 jan. 2017.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acessado em 15 jan. 2017.

FAN, M. S.; ZHAO, F. J.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; POULTON, P. R.; DUNHAM S. J.; MCGRATH, S. P. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. **Journal Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 22, n. 4, p. 315-324, 2008.

FERREIRA, A. C. DE B.; ARAÚJO, G. A. DE A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

GAO, X.; LUKOW, O. M.; GRANT, C. A. Grain concentrations of protein, iron and zinc and bread making quality in spring wheat as affected by seeding date and nitrogen fertilizer management. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 121, p.36-44, 2012.

HOCKING, P. J. Dry-matter production, mineral concentrations, and nutriente distribution and redistribution in irrigated spring wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 8, p. 1289-1308, 1994.

HUSSAIN, S.; MAQSOOD, M. A.; RENGEL, Z.; KHAN, M. K. Mineral bioavailability in grains of Pakistani bread wheat declines from old to current cultivars. **Euphytica**. v. 186, n. 1, p.153-163, 2012.

LI, M.; WANG, S.; TIAN, X.; LI, S.; CHEN, Y.; JIA, Z.; LIU, K.; ZHAO, A. Zinc and iron concentrations in grain milling fractions through combined foliar applications of Zn and macronutrients. **Field Crop Research**, v. 187, p. 135-141, 2016.

LIU, H.; WANG, Z. H.; LI, F.; LI, K.; YANG, N.; YANG, Y.; HUANG, D.; LIANG, D.; ZHAO, H.; MAO, H.; LIU, J.; QIU, W. Grain iron and zinc concentrations of wheat and their relationships to yield in major wheat production areas in China. **Field Crop Research**, v. 156, p. 151-160, 2014.

LOTT, J. N. A.; SPITZER, E. X-Ray Analysis Studies of Elements Stored in Protein Body Globoid Crystals of Triticum Grains. **Plant Physiology**, v. 66, n. 3, p. 494-499, 1980.

LYONS, G. H.; GENÇ, Y.; STANGOULIS, J. C. R.; PALMER, L. T.; GRAHAM, R. D. Selenium distribution in wheat grain, and the effect of postharvest processing on wheat selenium content. **Biological Trace Element Research**, v. 103, n. 2, p. 155-168, 2005.

MARTINS, A. P.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agrária**, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007.

MILLER, R. O.; JACOBSEN, J. S.; SKOGLEY, E. O. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by hard red spring wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, n. 17-18, p. 2389-2407, 1993.

NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; DOS SANTOS, L. P. D.; XAVIER, F.O, DEZORDI, L. R.; ASSUNÇÃO, N. S. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 174-182, 2015.

O'DELL, B. L.; BOLAND, A. R. DE.; KOIRTYOHANN, S. R. Distribution of Phytate and Nutritionally Important Elements among the Morphological Components of Cereal. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 20, n. 3, p. 718-723, 1972.

OURY, F. X.; LEENHARDT, F.; RÉMÉSY, C.; CHANLIAUD, E.; DUPERRIER, B.; BALFOURIER, F.; CHARMET, G. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. **European Journal Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 177-185, 2006.

OZTURK, L.; ATILLA, M.; YUCEL, C.; TORUN, A.; CEKIC, C.; BAGCI, A. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum**, v. 128, n. 1, p. 144-152, 2006.

PEARSON, J.N.; RENGEL, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n. 281, p. 1829-1835, 1994.

PIECZONKA, K.; ROSOPULO, A. Distribution of Cadmium, Copper, and Zinc in the Caryopsis of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Analytical Chemistry**, v. 322, n. 7, p. 697-699, 1985.

POUTANEN, K. Past and future of cereal grains as food for health. **Trends in Food Science & Technology**, v. 25, n. 2, p. 58-62, 2012.

SHI, R.; ZHANG, Y.; CHEN, X.; SUN, Q.; ZHANG, F.; RÖMHELD, V.; ZOU, C. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 1, p. 165-170, 2010.

SVEČNJAK, Z.; JENEL, M.; BUJAN, M.; VITALI, D.; VEDRINA, I. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. **Agricultural and Food Science**, v. 22, n. 4, p. 445-451, 2013.

TOSI, P.; GRITSCH, C. S.; HE, J.; SHEWRY, P. R. Distribution of gluten proteins in bread wheat (*Triticum aestivum*) grain. **Annals of Botany**, v. 108, n. 1, p. 23-35. 2011.

WANG, S.; TIAN, X.; LI, M.; NI, Y.; LI, J.; LI, H.; WANG, S.; CHEN, Y.; GUO, C.; ZHAO, A. Water and nitrogen management on micronutrient concentrations in winter wheat. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 3, p. 1003-1010, 2014.

WU, J.; LI, J.; WANG, C.; WEI, F.; ZHANG, Y.; WU, W. Effects of spraying foliar nitrogen on activities of key regulatory enzymes involved in protein formation in winter wheat suffered post-anthesis high temperature and waterlogging. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 2, p. 668-673, 2013.

ZHAO, P.; YANG, F.; SUI, F.; WANG, Q.; LIU, H. Effect of Nitrogen Fertilizers on Zinc Absorption and Translocation in Winter Wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4167, p. 1532-4087, 2015.

3 CAPÍTULO II: ESTIMATIVA DE CAMPO COM NDVI DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS E QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA DE TRIGO

3.1 RESUMO

A demanda por trigo com qualidade tecnológica alta e homogeneidade pela indústria de alimentos exige análises que demandam tempo e dinheiro. O objetivo deste estudo foi estimar durante a fase de crescimento do trigo a produtividade de grãos e a qualidade tecnológica da farinha de cultivares submetidos a doses de nitrogênio com o uso do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O experimento foi conduzido a campo no município de Ponta Grossa - PR, Sul do Brasil durante a safra de inverno de 2014. O delineamento experimental utilizado é o de blocos completos casualizados, em esquema fatorial 4x6, com quatro repetições. Utilizaram-se as cultivares Quartzo, Gralha Azul, Sinuelo e Toruk, combinadas com seis doses de N (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N). As leituras para obtenção do NDVI foram feitas no início do alongamento, relacionando-as com a produtividade, teor de proteína e glúten, índice de alveograma (W), elasticidade da massa, extensibilidade da massa (L), tenacidade (P), relação tenacidade-extensibilidade (P/L) e número de quedas (FN) obtidas ao final do ciclo. As leituras de NDVI foram sensíveis tanto à aplicação de nitrogênio quanto às diferentes cultivares, sendo uma ferramenta que possibilita estimar antecipadamente a produtividade e a qualidade tecnológica da farinha. Os modelos de estimativa destes parâmetros devem ser gerados para cada cultivar.

Palavras chave: NDVI. Genótipo de trigo. Qualidade da farinha de trigo. Agricultura de precisão.

3.2 ABSTRACT

The demand for wheat with high technological quality and homogeneity by the food industry demands analyzes that demand time and money. The aim of this study was to estimate the grain yield and the flour technological quality of cultivars submitted to nitrogen doses using the normalized difference vegetation index (NDVI) during the wheat growth phase. The experiment was conducted under field conditions in Ponta Grossa, State of Paraná, southern Brazil during the winter of 2014. The experimental design was a randomized complete block design in a 4x6 factorial scheme with four replications. The cultivars Quartzo, Gralha Azul, Sinuelo and Toruk were combined with six N doses (0, 40, 80, 120, 160 and 200 kg ha⁻¹ of N). The measurements obtaining NDVI were made at the beginning of the elongation. These were related to productivity, protein and gluten content, alveogram index (W), mass elasticity, mass extensibility (L), toughness (P), relationship Tenacity-extensibility (P / L) and number of falls (FN) obtained at the end of the cycle. NDVI measurements were sensitive both to nitrogen application and to different cultivars, being a tool that allows to estimate in advance the productivity and the flour technological quality. The estimation models of these parameters must be generated for each cultivar.

Keywords: NDVI. Wheat genotype. Wheat flour quality. Precision agriculture.

3.3 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) está entre os cereais mais importantes no mundo, sendo o segundo maior cultivo responsável pela alimentação humana (FAO, 2015). A cultura do trigo juntamente com as culturas do milho e do arroz consomem aproximadamente 60 % do total de fertilizantes nitrogenados no mundo (Ladha et al., 2005). No Brasil, a cultura do trigo utiliza 84 % da área de plantio de inverno (CONAB, 2017) e, o fornecimento adequado de nitrogênio através da adubação é fundamental para alcançar rendimentos elevados, pois é o nutriente mais deficiente em praticamente todos os tipos de solo, nas formas inorgânicas absorvidas pelas plantas de NO_3^- e NH_4^+ (Okumura et al., 2011).

As recomendações de doses de N a serem aplicadas na cultura do trigo, no Sul do Brasil, levam em consideração a expectativa de rendimento, teor de matéria orgânica e cultura anterior ao plantio (soja ou milho) (COMISSÃO..., 2015). No entanto, estes últimos indicadores são poucos eficientes para estimar a necessidade de N com mais precisão, visto que os processos de decomposição do resíduo e liberação do N são influenciados por muitos fatores (Parton et al., 2007; Medrado et al., 2011; Acosta et al., 2014). Além de que os estudos de calibração são realizados em local e com cultivares específicos e extrapolados para outras cultivares e regiões.

Os teores de N em órgãos vegetativos estão positivamente correlacionados com o teor final de proteína no grão (Austin et al., 1977). De acordo com Poblaciones et al. (2009), a força de glúten (W), extensibilidade (L), relação tencidade-extensibilidade (P/L) e teor de glúten são parâmetros correlacionados com o teor de proteína do grão. Estudos anteriores utilizam o teor de proteína da farinha e do grão como parâmetro para a caracterização da qualidade do trigo (Bushuk, 1985; Johansson et al., 2001). Dada a grande diversidade de farinhas em função da ampla variação nas características de qualidade industrial presente nas cultivares (Gutkoski et al., 2007; Cazetta et al., 2008), a indústria de trigo exige cada vez mais qualidade e homogeneidade da farinha, exigindo análises cada vez mais detalhadas sobre parâmetros de alveografia, número de queda e teor de glúten. No entanto, estas análises além de demandar recursos financeiros, necessitam de tempo em laboratório.

Técnicas de sensoriamento estão sendo utilizadas na agricultura para obter índices de vegetação tais como, o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) através de sensores óticos proximais, que tem sido utilizados para estimar antes da colheita a produtividade de cereais (Povh et al., 2008; Rissini et al., 2015; Bredemeier et al., 2013 2013; Spitkó et al., 2016) e de cana-de-açúcar (Molin et al., 2010), matéria seca da parte aérea e teor de N foliar (Povh et al., 2008; Rissini et al., 2015) em tempo real e de maneira não destrutiva do material vegetal. Entretanto, há variações nas medições de sensores óticos ativos. Povh et al. (2008) relataram interferência das variedades de trigo nas leituras do sensor ótico ativo GreenSeeker. Samborski et al., (2015) encontraram influência do genótipo de trigo nos valores de NDVI obtidos com sensores GreenSeeker e Crop Circle. Dentre os índices de vegetação amplamente utilizados, os que utilizam bandas no infravermelho próximo e vermelho, como o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) proposto por Rouse et al. (1973), realizam a medição da quantidade de clorofila e a absorção de energia (Myneni et al., 1997). Este índice é obtido pela divisão de $(\rho_{nir}-\rho_r) / (\rho_{nir}+\rho_r)$, onde: ρ_r e ρ_{nir} referem-se respectivamente, as refletâncias no vermelho e infravermelho próximo (Rouse et al., 1973). Na refletância na região do infravermelho próximo, a vegetação apresenta alta reflexão da radiação incidente (Povh et al., 2008). Bredemeier et al. (2013) reportaram que o maior potencial produtivo é proporcionado pela maior disponibilidade de N e maior acúmulo de biomassa e que as maiores produtividades se relacionam com os maiores valores de NDVI.

Mais recentemente utilizando sensoriamento remoto em grande escala, Wang et al. (2014) estimaram o rendimento de grãos e o teor de proteínas nos grãos de trigo pela fusão de multi-sensor e imagens de sensoriamento remoto multi-temporais. Uma vez que são escassos os estudos que investigam a relação entre índices espectrais obtidos por sensor ótico ativo proximal, como o NDVI e a qualidade tecnológica da farinha de trigo, o objetivo deste estudo foi verificar se é possível estimar através do NDVI obtido durante a fase de crescimento do trigo, a produtividade de grãos e a qualidade tecnológica da farinha de diferentes cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Área experimental

O experimento foi realizado em Ponta Grossa, Estado do Paraná, Sul do Brasil nas coordenadas geográficas de 25°00'48" (S) e 50°09'7" (W) com altitude de 1000 m durante a safra de inverno de 2014. O solo do local do experimento é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (EMBRAPA, 2013). As principais características químicas do solo determinadas antes da semeadura, são apresentadas na Tabela 1. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb. Os dados de temperatura e radiação solar média e os totais por decêndios de precipitação pluvial, durante o período de condução dos experimentos, estão apresentados na Figura 1. A temperatura média mensal foi de 16,5 °C, a média dos mês (outubro) mais quente foi de 28,2 °C e a do mês (agosto) mais frio de 8,8 °C, com 590 mm de precipitação média pluvial acumulada durante a condução do experimento.

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS (0 – 10 M E 10 – 20 CM DE PROFUNDIDADE) ANTES DA SEMEADURA EM PONTA GROSSA (PR), 2014, BRASIL.

Profundidade	MO	pH	P	Ca	Mg	K	H+AL	Al	CTC	V
cm	g dm ³	CaCl ₂	mg dm ³	mmolc dm ³						%
0-10	34,0	5,3	21,0	18,0	10,0	1,6	36,0	<0,1	65,0	45,0
0-20	22,0	4,6	16,0	11,0	6,0	0,7	48,0	2,7	65,7	27,0

*Determinado por resina aniônica.

FONTE: O autor (2017).

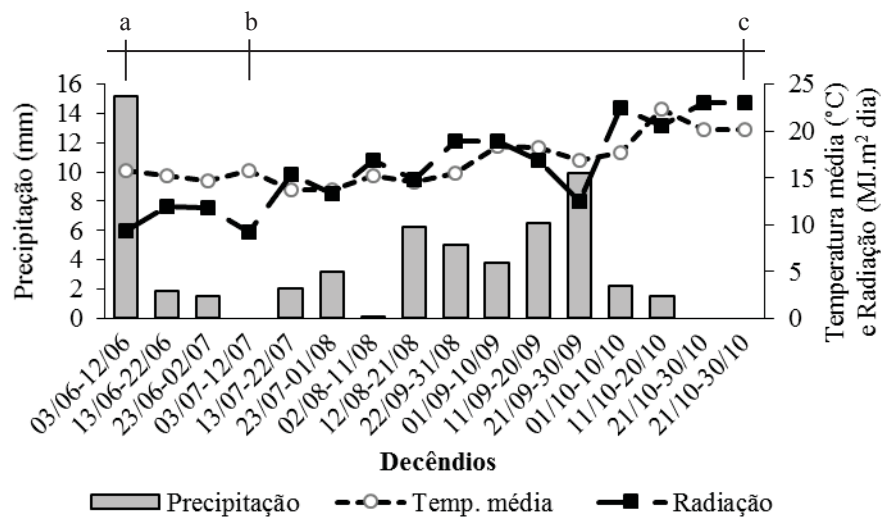


FIGURA 1. PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E RADIAÇÃO SOLAR POR DECÊNDIOS DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO EM PONTA GROSSA, PR, BRASIL, 2014. a= semeadura (03/06/2014), b= aplicação de nitrogênio (08/07/14), c= colheita (30/10/2014).

FONTE: O autor (2017).

3.4.2 Delineamento experimental

O experimento foi realizado no delineamento experimental de blocos completos casualizados, em esquema fatorial 4x6, com quatro repetições. O experimento foi realizado combinando quatro cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) (Quartzo, BRS Gralha Azul, TBIO Sinuelo, TBIO Toruk), com seis doses de nitrogênio (0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg ha⁻¹ de N). A área de cada unidade experimental foi de 15 m² (3 m x 5 m). A semeadura foi realizada em 03 de Junho de 2014 após o cultivo de milho, com espaçamento entre linhas de 0,17 m em densidades de 160, 123,2, 147,4 e 117,84 kg ha⁻¹, respectivamente, para Quartzo, BRS Gralha Azul, TBIO Sinuelo e TBIO Toruk. A adubação de semeadura foi de 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O em todas as unidades experimentais. As doses de N foram aplicadas em cobertura no estágio de perfilhamento, utilizando como fonte a ureia (46 % de N).

3.4.3 Medidas de refletância

As leituras foram realizadas no dossel das plantas considerando toda a extensão da parcela no estágio de emborrachamento, utilizando sensor ótico ativo portátil (GreenSeeker handheld crop sensor, Trimble, USA) em dois comprimentos de onda centralizados no vermelho (660 nm) e no infravermelho próximo (770 nm) (Figura 2). Os dados foram coletados à distância de 0,80 m entre o sensor e o dossel das plantas, posteriormente, coletou-se o valor do NDVI obtido pelo sensor.

FIGURA 2. SENSOR ÓTICO ATIVO GREENSEEKER® HAND HELT™ COM DOIS TIPOS DE LED (“LIGHT EMITTING DIODES”) (LADO DIREITO) QUE EMITEM RADIAÇÃO ATIVA NO COMPRIMENTOS DE ONDA NO VERMELHO E RECEBE NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO.



FONTE: O autor (2014).

3.4.4 Preparação de amostras e produtividade de grãos

Os grãos de trigo foram colhidos no ponto de maturação fisiológica da cultura utilizando uma colhedora automotriz de cereais de parcelas. Foi quantificada a massa dos grãos e determinado a produtividade em kg ha^{-1} , na umidade de 130 g kg^{-1} . Amostras de grãos de cada parcela foram secas em estufa com ventilação forçada de ar para secagem à $65 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ até peso constante. Posteriormente, uma sub amostra de 2 kg grãos foi utilizada para produção de farinha pelo método da AACC n.º 26-10A (2000) em moinho Brabender Quadrumat Senior. Uma amostra

da farinha resultante foi utilizada para determinação dos parâmetros de qualidade tecnológica do trigo.

3.4.5 Análise de qualidade tecnológica

As análises foram realizadas na farinha de trigo e em todas as parcelas. O teor de nitrogênio (N-total) na farinha foi determinado por combustão seca em analisador elementar (CNHS, VARIO EL III®). Os teores de proteína foram determinados por meio da multiplicação do teor de N-total com o fator de conversão de 6,25. O teor de glúten foi determinado utilizando um aparelho Glutomatic (Perten Instruments, Hägersten, Suécia) seguindo o método da AACC n.º 38-12 (2000). O número de queda (NQ) foi quantificado como descrito no método AACC n.º 56-81B (2011a). Os parâmetros de alveografia: força de glúten (W), estabilidade (EST), tenacidade (P) e extensibilidade da massa (L) foram realizadas em alveógrafo Chopin (Chopin Technologies, Villeneuve-la-Garenne Cedex, França) de acordo com o método da AACC n.º 50-30 (2011b). A relação tenacidade/extensibilidade (P/L) foi obtida dividindo P por L.

3.4.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise variância (ANOVA) e em caso de significância as médias das cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância e o efeito de doses por regressão. As relações entre as variáveis foram analisadas através do ajuste de modelos de regressão linear ou quadrático, utilizando aquele com maior significância pelo teste F ($p < 0,05$) e maior coeficiente de determinação (R^2).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Comportamento do NDVI e estimativa de produtividade de grãos

Houve interação entre cultivares e doses de N aplicadas para o NDVI e produtividade de grãos (Tabela 2). Isso indica que o sensor ótico ativo foi sensível à

variação de cultivar e adubação nitrogenada e que há necessidade de calibração do índice NDVI por cultivar. Pohv et al. (2008) relataram o efeito de cultivares interferindo nas leituras do mesmo sensor ótico ativo. Em geral, há tendência de aumento dos valores com aumento das doses de N aplicadas (Figura 3). Resultado que está de acordo com obtido por Kapp Junior et al. (2016), utilizando a mesma cultura, nutriente e sensor. Em outros estudos com cultivares de trigo, foram constatado que as leituras de NDVI obtidas com sensores ativo e passivo também foram influenciados pelas doses de N (Rissini et al., 2015).

TABELA 2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS FATORES EXPERIMENTAIS (FE) E SUAS INTERAÇÕES SOBRE O RENDIMENTO DE GRÃOS (RG), ÍNDICE DE REFLETÂNCIA POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) E CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FARINHA DE TRIGO. PONTA GROSSA (PR), BRASIL, 2014.

FE	GL	NDVI	RG	PB	W	P	L	P/L	Gl _U	EST.	NQ
Cultivar (C)	3	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Dose N (D)	5	**	**	**	NS	NS	**	**	**	**	*
C x D	15	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	**
CV %		2,83	5,52	4,03	9,62	11,38	12,64	24,7	5,28	29,13	3,24

** e * = significativo a 1% e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente. NS = não significativo.

PB= proteína bruta; W = força de glúten; P= tenacidade; L= extensibilidade; P/L = Relação tenacidade-extensibilidade; Gl_U= Glúten úmido; EST= estabilidade; NQ = Número de queda.

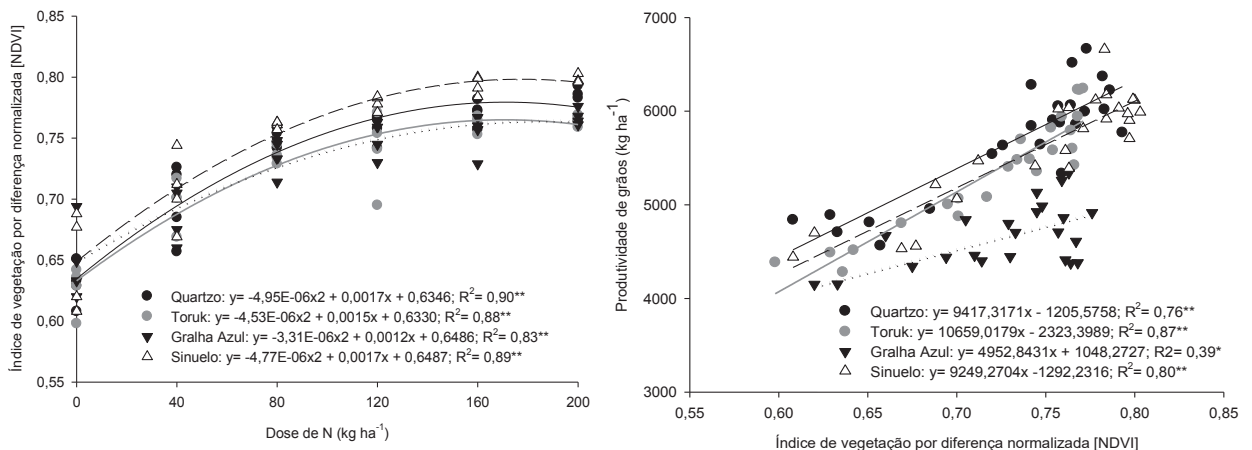
FONTE: O autor (2017).

Os valores de NDVI aumentaram quadraticamente com o incremento de nitrogênio, apresentando coeficientes de determinação (R^2) altamente significativos ($p < 0,01$) que variaram entre 0,83 (cv. “Gralha Azul”) a 0,91 (cv. “Quartzo”) (Figura 3). Estes resultados são superiores aos encontrados por Povh e tal., (2008), que encontraram $R^2 = 0,77$ aos 52 dias após a semeadura utilizando a mesma cultura, nutriente, sensor e classe de solo deste experimento. Estas diferenças estão relacionadas a cultivar utilizada, visto que em nosso experimento a cultivar Sinuelo apresentou maiores valores de NDVI, e as cultivares Quartzo, Toruk e Gralha Azul os menores valores, respectivamente, independente da dose aplicada (Figura 3), evidenciando que, as cultivares de trigo interferem nas leituras do sensor ótico ativo (Pohv et al., 2008). Maiores valores de NDVI se relacionam a maiores produtividades na colheita (Bredemeier et al., 2013).

As cultivares apresentaram regressões entre o NDVI e a produtividade de grãos, com coeficientes de determinação (R^2) altamente significativos ($p < 0,01$) para cada cultivar, no qual, pode se estimar o potencial produtivo do trigo por meio do NDVI no

estádio de emorrachamento, que apresenta período médio de duração de 45 dias (COMISSÃO..., 2015). Em outros estudos utilizando cultivares de trigo, Rissini et al., (2015) demonstraram o potencial de estimar a produtividade de grãos através de dados de sensoriamento remoto, sendo também constatado por Povh et al. (2008) e Bredemeier et al. (2013) utilizando o mesmo sensor ótico ativo (GreenSeeker). Embora os resultados tenham comprovado a relação entre NDVI e produtividade de grãos para todas as cultivares, foram encontrados valores com elevado nível de confiança com R^2 superior a 0,80 para cv. Toruk e Quartzo e outros com coeficientes inferiores a 0,80 para cv. Sinuelo e Galha Azul, reforçando que há diferenças entre cultivares que interferem na capacidade de leituras dos sensores.

FIGURA 3. RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI), DOSES DE N E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DE TRIGO. ** E * = SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS $P < 0,01$ E $0,05$ PELO TESTE F, RESPECTIVAMENTE, NS = NÃO SIGNIFICATIVO.



FONTE: O autor (2017).

3.5.2 Estimativa do número de queda, teores de proteína e glúten úmido da farinha

Os valores de NDVI apresentaram bom desempenho na previsão dos teores de proteína e glúten úmido da farinha, porém não houve regressão sobre o número de quedas. Entretanto, o número de quedas obteve a mesma tendência evidenciada em campo quando submetida a adubação nitrogenada. Há evidência de que o nitrogênio não influencia o número de quedas (Scalco et al., 2002; Rodrighero et al., 2015).

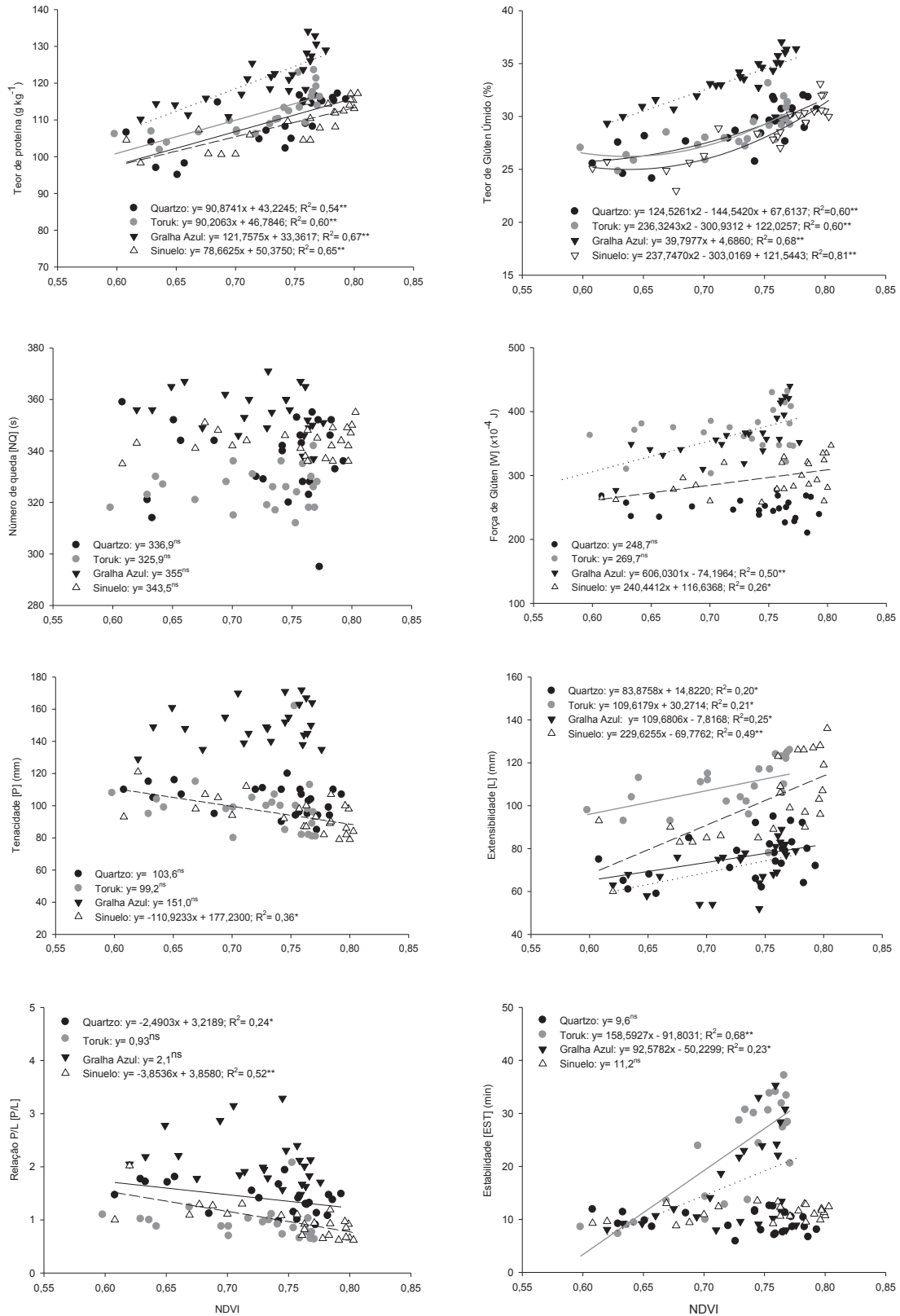
Penckowski et al. 2010). As regressões foram significativas para os teores de proteína e glúten úmido apresentando coeficientes de determinação (R^2) altamente significativos ($p < 0,01$) para cada cultivar e superiores a 0,5 (Figura 4). Poblaciones et al. (2009) obtiveram resultados positivos na predição do teor de proteínas no grão, porém os seus resultados foram utilizando medidor SPAD 502 que possui certa limitação em coleta de dados em grandes áreas agrícolas. A cultivar que apresentou os maiores ajustes foi a cultivar Sinuelo com $R^2 = 0,65$ para proteína e 0,73 para glúten úmido (Figura 4). Os teores de proteína aumentaram linearmente e de glúten úmido quadraticamente em resposta ao aumento dos valores de NDVI no dossel das plantas. Considerando que o NDVI aumentou com aumento do incremento de nitrogênio. Estes resultados são coerentes com experimentos de campo em que os teores de proteína nos grãos aumentam linearmente com o incremento da adubação nitrogenada (Cazzeta et al., 2008). Gutkoski et al. (2011) em estudo com cultivares de trigo e doses de nitrogênio aplicada no solo, evidenciaram aumento do teor de proteína na farinha com aumento da dose de nitrogênio, independente da cultivar. O aumento no teor de proteína na farinha como efeito da adubação nitrogenada também foi observado por Gao et al., (2012). Rodrighero et al. (2015) obtiveram resposta quadrática no teor de glúten úmido da farinha com aumento das doses de N aplicadas na cultivar Quartzo. O aumento dos valores de NDVI estão relacionados com o aumento dos teores de N em órgãos vegetativos (Freeman et al., 2003; Kapp Junior et al., 2016), que por conseguinte está positivamente correlacionado com o teor final de proteína do grão (Austin et al., 1977). Este nutriente está envolvido na formação de proteínas no trigo por melhorar as atividades de enzimas reguladoras como nitrato redutase, glutamina sintetase e transaminase glutâmica pirúvica (Wu et al., 2013), além da influência em processos como expansão da folha e taxa fotossintética (Okmura et al., 2011). A atividade destas enzimas apresenta correlação positiva com o acúmulo de proteína e proporção de Glutenina / Gliadina no trigo (Wu et al., 2013) que são proteínas formadoras do glúten.

3.5.3 Parâmetros de alveografia

As relações observadas nos parâmetros de alveografia divergem entre as cultivares, sugerindo uma forte influência das cultivares. Em geral o NDVI não teve bom desempenho na previsão dos parâmetros W, P, L, P/L e EST, variando o efeito

entre os cultivares (Figura 4). A estabilidade respondeu linearmente ao aumento dos valores de NDVI com ajuste para cultivar Toruk e Gralha Azul, apresentando R^2 de 0,68 e 0,23, no entanto este efeito não ocorreu para as demais cultivares. Considerando que, os valores de NDVI aumentaram com o incremento de nitrogênio. Estes resultados são coerentes com o observado em campo, onde os valores de estabilidade (EST) aumentam com aumento da dose de N (Gutkoski et al., 2013). No entanto a resposta a adubação nitrogenada varia entre cultivares. O mesmo autor não observou alteração dos valores de estabilidade com a variação da dose de N aplicada para outra cultivar avaliada. Rodrighero et al. (2015) relataram ausência de efeito na estabilidade com incremento de doses de N em farinha obtida da cultivar Quartzo, a mesma deste experimento. Somente a cultivar Sinuelo apresentou significância em todos os parâmetros avaliados, com exceção da estabilidade (EST).

FIGURA 4. RELAÇÕES ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) E OS TEORES DE PROTEÍNAS E GLÚTEN ÚMIDO, NÚMERO DE QUEDA (NQ), FORÇA DE GLÚTEN (W), TENACIDADE (P), EXTENSIBILIDADE (L), RELAÇÃO P/L (P/L) E ESTABILIDADE (EST) DA MASSA DE FARINHA DE TRIGO. ** E * = SIGNIFICATIVO AOS NÍVEIS $P < 0,01$ E $0,05$ PELO TESTE F, RESPECTIVAMENTE, NS = NÃO SIGNIFICATIVO. FONTE: O AUTOR (2017).



Entretanto, as cultivares que apresentaram R^2 superior a 0,5 foi a Sinuelo para relação P/L ($R^2 = 0,52$) e a Toruk para a extensibilidade (L) ($R^2 = 0,68$). A força de glúten variou entre os cultivares avaliados, apresentando regressão significativa para as cultivares Gralha Azul e Sinuelo com $R^2 = 0,50$ e $0,26$, respectivamente. Em geral P e P/L seguem tendência de decrescente e os demais parâmetros crescentes com o aumento dos valores de NDVI de acordo com modelo linear (Figura 3). Estes resultados são coerentes com experimentos de campo, em que a força de glúten (W) aumenta linearmente com aumento da adubação nitrogenada, enquanto há diminuição linear da relação P/L (Cazzeta et al., 2008). Embora relatado previamente relatado na literatura, este efeito do N varia em função da cultivar avaliada. Rodrihero et al., (2015) evidenciaram ausência de efeito na aplicação de doses de N (0 a 150 kg ha⁻¹) na força de glúten da farinha obtida da cultivar Quartzo. Penckowski et al., (2010) não encontraram respostas na tenacidade (P), elasticidade (L), relação P/L e força de glúten quando submetido a aplicação de doses de N que variaram de 60 a 225 kg ha⁻¹ de N em cultivares de trigo Avante e BRS 177, o que corrobora com a ausência de ajuste da regressão entre as outras cultivares avaliadas neste experimento.

3.6 CONCLUSÕES

As leituras de NDVI obtida para as cultivares com o sensor ótico ativo GreenSeeker foram afetadas pelas doses de nitrogênio. No entanto, há variações entre as cultivares de trigo nas leituras do sensor ótico ativo.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtida pelo sensor ótico ativo permite estimar em campo de forma rápida e com precisão aceitável a produtividade de grãos e teor de proteína e glúten na farinha, possibilitando gerar modelos de estimativa destes parâmetros separadamente para cada cultivar.

Como consequência da existência de diferença entre genótipos, não é possível gerar um único algoritmo de estimativa da produtividade e dos parâmetros de qualidade tecnológica.

3.7 REFERÊNCIAS

ACOSTA, J. A. A.; AMADOI, T. J. D.; SILVA, L.S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.

AUSTIN, R. B.; FORD, M. A.; EDRICH, J. A.; BLACKWELL, R. D. The nitrogen economy of winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, v. 88, n. 1, p. 159-167, 1977.

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Method 26-10A: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. Saint Paul, AACC, 2000.

AACC - American Association of Cereal Chemists. **Method 38-12: approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. Saint Paul: AACC, 2000.

AACC - American Association of Cereal Chemists. **International Approved Methods Method 56-81.03: determination of falling number**. 11th ed. Saint Paul: AACC, 2011a.

AACC - American Association of Cereal Chemists. **International Approved Methods Method 54-30.02: Alveograph method for soft and hard wheat flour**. 11th ed. Saint Paul: AACC, 2011b.

BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A. T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, 2013.

BUSHUK, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. **Cereal Foods World**, v. 30, n. 7, p. 447-451, 1985.

CUNHA, G. R.; CAIERÃO, E. **Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale**. Informações técnicas para trigo e triticale – Safra 2015. Brasília, DF: Embrapa Trigo, 2014. 229p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **5º Levantamento de grãos, safra 2016/2017**. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf>. Acessado em 15 Jan. 2017.

CAZETTA, D. A.; FILHO, D. F.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acessado em 15 jan. 2017.

FREEMAN, K. W.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V.; MULLEN, R. W.; STONE, M. L.; SOLIE, J. B. Late-Season Prediction of Wheat Grain Yield and Grain Protein. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n. 13-14, p. 1837-1852, 2003.

GAO, X.; LUKOW, O. M.; GRANT, C. A. Grain concentrations of protein, iron and zinc and bread making quality in spring wheat as affected by seeding date and nitrogen fertilizer management. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 121, p.36-44, 2012.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; COLUSSI, R.; SANTETI, T. A. S. Efeito da adubação nitrogenada nas características tecnológicas de trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 17, n. 14, p. 116-122, 2011.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, F. A.; PEDÓ, I. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. v. 31, n. 3, p. 786-792, 2007.

JOHANSSON, E.; PRIETO-LINDE, M. L.; JÖNSSON, J. Ö. Effects of Wheat Cultivar and Nitrogen Application on Storage Protein Composition and Breadmaking Quality. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 1, p. 19-25, 2001.

KAPP JUNIOR, C.; GUIMARÃES, A. M.; CAIRES, E. F. Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 886-894, 2016.

LADHA, J. K.; PATHAK, H.; KRUPNIK, T. J.; SIX, J.; KESSEL, C. V. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects. **Advances in Agronomy**, v. 87, p. 84-157, 2005.

MOLIN, J. P.; FRASSON, F. R.; AMARAL, L. R.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio Capability of an optical sensor in verifying the sugarcane response to nitrogen rates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1345-1349, 2010.

MEDRADO, R. D.; CARVALHO, A. C. F.; MORAES, A. M.; RIOS, E. M.; LANG, C. R.; LOPES, E. C. P. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agrária**, v. 12, n. 2, p. 97-107, 2011.

OKUMURA, R. S.; TAKAHASHI, H. W.; SANTOS, D. G. C.; LOBATO, A. K. DA S.; MARIANO, D. C.; MARQUES, O. J. M.; SILVA, M. H. L.; OLIVEIRA NETO, C. F.; LIMA JUNIOR, J. A. Influence of different nitrogen levels on growth and production parameters in maize plants. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 9, n. 3, p. 510-514, 2011.

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

PARK, H.; CLAY, D. E.; HALL, R. G.; ROHILA, J. S.; TULSI, P.; CLAY, S. A.; LEE, S. Winter Wheat Quality Responses to Water, Environment, and Nitrogen Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 14, p. 1894-1905, 2014.

PARTON, W.; SILVER, W. L.; BURKE, I. C.; GRASSENS, L.; HARMON, M. E.; CURRIE, W. S. Y.; KING, J. Y.; ADAIR, E. C.; BRANDT, L. A.; HART, S. C.; FASTH, B. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**, v. 315, p. 361-364, 2007.

PENCKOWSKI, L. H.; JEFERSON, Z.; FERNANDES, E. C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1492-1499, 2010.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Produtividade de Cultivares de Trigo Submetidas a Doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015.

RODRIGHERO, M. B.; CAIRES, E. F.; LOPES, R. B.; ANTÔNIO, A.; GRANATO, D.; DEMIATE, I. M. Wheat technological quality as affected by nitrogen fertilization under a no-till system. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 1, p. 175-181, 2015.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: FREDEN, S. C.; MERCANTI, E. P.; BECKER, M. **Proceedings of the third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**. Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SAMBORSKI, S. M.; GOZDOWSKI, D.; WALSH, O. S.; LAMB, D. W.; STEPIEN, M.; GACEK, E. S.; DRZAZGA, T. Winter Wheat Genotype Effect on Canopy Reflectance: Implications for Using NDVI for In-Season Nitrogen topdressing recommendations. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2097-2105, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

SCALCO, M. S.; FARIA, M. A. DE.; GERMANI, R.; MORAIS, A. R. DE. Produtividade e qualidade industrial do trigo sob diferentes níveis de irrigação e adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 1, p. 400-410, 2002.

SPITKÓ, T.; ZSUBORI, Z. T.; SZOKE, C.; BERZY, T.; PINTÉR, J.; MARTON, C. L. Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. 7, p. 293-298, 2016.

WANG, S.; TIAN, X.; LI, M.; NI, Y.; LI, J.; LI, H.; WANG, S.; CHEN, Y.; GUO, C.; ZHAO, A. Water and nitrogen management on micronutrient concentrations in winter wheat. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 3, p. 1003-1010, 2014.

WU, J.; LI, J.; WANG, C.; WEI, F.; ZHANG, Y.; WU, W. Effects of spraying foliar nitrogen on activities of key regulatory enzymes involved in protein formation in winter wheat suffered post-anthesis high temperature and waterlogging. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 2, p. 668-673, 2013.

4 CONCLUSÃO GERAL

A adubação nitrogenada melhorou a qualidade nutricional do trigo aumentando os teores de proteína, Ca, Mg, Cu e Zn. A composição nutricional é bastante variável entre as cultivares além de ser influenciado pelo processamento dos grãos que da origem a farinha de trigo, no entanto, a cultivar Gralha Azul apresenta grande potencial em fornecimento de nutrientes para os seres humanos que consomem farinha. A proporção dos nutrientes reduz consideravelmente na farinha após o processamento dos grãos, o que atenua os benefícios causados pela adubação nitrogenada e de cultivar. Isto leva a compreensão da necessidade de intensificar pesquisas relacionadas à qualidade nutricional com avaliações concentradas a partir da farinha.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) obtido com sensor ótico ativo mostrou-se eficiente às variações na produtividade de grãos e a qualidade tecnológica do trigo em função das variações na disponibilidade de N, sobretudo os parâmetros de proteína e glúten na farinha de trigo. A adubação nitrogenada e as cultivares influenciam as leituras do NDVI no qual se demonstrou promissor em estimar em campo em tempo real e de maneira antecipada a colheita estas características relacionadas à qualidade possibilitando gerar modelos de previsão com elevada confiabilidade. Devido à interferência das cultivares nas leituras de NDVI e nos parâmetros avaliados, não foi possível gerar modelos únicos que permite estimar com precisão estes parâmetros na cultura do trigo.

5 REFERÊNCIAS

- ABEDI, T.; ALEMZADEH, A.; KAZEMEINI, S. A. Effect of organic and inorganic fertilizers on grain yield and protein banding pattern of wheat. **Australian Journal of Crop Science**, v. 6, n. 4, p. 384-389, 2010.
- ACOSTA, J. A. A.; AMADOI, T. J. D.; SILVA, L.S.; SANTI, A.; WEBER, M. A. Decomposição da fitomassa de plantas de cobertura e liberação de nitrogênio em função da quantidade de resíduos aportada ao solo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 801-809, 2014.
- AUSTIN, R. B.; FORD, M. A.; EDRICH, J. A.; BLACKWELL, R. D. The nitrogen economy of winter wheat. **Journal of Agricultural Science**, v. 88, n. 1, p. 159-167, 1977.
- AACC - American Association of Cereal Chemists. **Method 26-10A: Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. Saint Paul, AACC, 2000.
- AACC - American Association of Cereal Chemists. **Method 38-12: approved methods of the American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. Saint Paul: AACC, 2000.
- AACC - American Association of Cereal Chemists. **International Approved Methods Method 56-81.03: determination of falling number**. 11th ed. Saint Paul: AACC, 2011a.
- AACC - American Association of Cereal Chemists. **International Approved Methods Method 54-30.02: Alveograph method for soft and hard wheat flour**. 11th ed. Saint Paul: AACC, 2011b.
- BOUIS, H.E.; WELCH, R. M. Biofortification — A Sustainable Agricultural Strategy for Reducing Micronutrient Malnutrition in the Global South. **Crop Science**, v. 50, p.20-32, 2010.
- BOUIS, H. E.; HOTZ, C.; MCCLAFFERTY, B.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, W. H. Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 32, n. 1, p. 31-40, 2011.
- BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A. T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1147-1154, 2013.
- BUSHUK, W. Flour proteins: structure and functionality in dough and bread. **Cereal Foods World**, v. 30, n. 7, p. 447-451, 1985.
- CUNHA, G. R.; CAIERÃO, E. **Reunião da comissão brasileira de pesquisa de trigo e triticale**. Informações técnicas para trigo e triticale – Safra 2015. Brasília, DF: Embrapa Trigo, 2014. 229p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **5º Levantamento de grãos, safra 2016/2017**. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_boletim_graos_junho_2015.pdf>. Acessado em 15 Jan. 2017.

CAZETTA, D. A.; FILHO, D. F.; ARF, O.; GERMANI, R. Qualidade industrial de cultivares de trigo e triticale submetidos à adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 741-750, 2008.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Review: Biofortification of Durum Wheat with Zinc and Iron. **Cereal Chemistry**, v.87, n. 1, p. 10-20, 2010.

CALDERINI, D.; ORTIZ-MONASTERIO, I. Grain Position Affects Grain Macronutrient and Micronutrient Concentrations in Wheat. **Crop Science**, v. 43, n. 1, p. 141-151, 2003.

CUBADDA, F.; AURELI, F.; RAGGI, A.; CARCEA, M. Effect of milling, pasta making and cooking on minerals in durum wheat. **Journal Cereal Science**, v. 49, n. 1, p. 92-97, 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **5º Levantamento de grãos, safra 2016/2017**. Brasília, 2017. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=30>>. Acessado em 15 jan. 2017.

DAROS, C. O.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, p. 799-804, 2003.

DEWETTINCK, K.; BOCKSTAELE, F. V.; KÜHNE, B.; WALLE, D. V. DE, COURTENS, T. M.; GELLYNCK, X. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. **Journal Cereal Science**, v. 48, n. 2, p. 243-257, 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistemas de produção de trigo**. Usos do trigo. Londrina, 2015. Disponível em <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/trigo1>>. Acessado em 15 Jan. 2017.

ELAZAB, A.; BORT, J.; ZHOU, B.; DOLORS, M.; NIETO-TALADRIZ, M. T.; LUIS, J. The combined use of vegetation indices and stable isotopes to predict durum wheat grain yield under contrasting water conditions. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 196-208, 2015.

ERDLE, K.; AGRICULTURAL, G.; MISTELE, B.; UNIVERSIT, T. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. **Field Crop Research**, v. 124, n. 1, p. 74-84, 2011.

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

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Faostat**. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>> Acessado em 15 jan. 2017.

FREEMAN, K. W.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V.; MULLEN, R. W.; STONE, M. L.; SOLIE, J. B. Late-Season Prediction of Wheat Grain Yield and Grain Protein. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n. 13-14, p. 1837-1852, 2003.

FAN, M. S.; ZHAO, F. J.; FAIRWEATHER-TAIT, S. J.; POULTON, P. R.; DUNHAM S. J.; MCGRATH, S. P. Evidence of decreasing mineral density in wheat grain over the last 160 years. **Journal Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 22, n. 4, p. 315-324, 2008.

FERREIRA, A. C. DE B.; ARAÚJO, G. A. DE A.; PEREIRA, P. R. G.; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agrícola**, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.

FENG, W.; YAO, X.; ZHU, Y.; TIAN, Y.C.; CAO, W. X. Monitoring leaf nitrogen status with hyperspectral reflectance in wheat. **European Journal of Agronomy**, v.28, n. 3, p. 394-404, 2008.

GAO, X.; LUKOW, O. M.; GRANT, C. A. Grain concentrations of protein, iron and zinc and bread making quality in spring wheat as affected by seeding date and nitrogen fertilizer management. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 121, p.36-44, 2012.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; COLUSSI, R.; SANTETI, T. A. S. Efeito da adubação nitrogenada nas características tecnológicas de trigo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 17, n. 14, p. 116-122, 2011.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, F. A.; PEDÓ, I. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. v. 31, n. 3, p. 786-792, 2007.

GRUNES, D. L.; ALLAWAY, W. H. Nutritional quality of plants in relation to fertilizer use. In: ENGELSTAD, O. P. **Fertilizer technology and use**. 3.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1985. p. 589-619.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.

HOCKING, P. J. Dry-matter production, mineral concentrations, and nutriente distribution and redistribution in irrigated spring wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 17, n. 8, p. 1289-1308, 1994.

HUSSAIN, S.; MAQSOOD, M. A.; RENGEL, Z.; KHAN, M. K. Mineral bioavailability in grains of Pakistani bread wheat declines from old to current cultivars. **Euphytica**. v. 186, n. 1, p.153-163, 2012.

HEINEMANN, A.B.; STONE, L.F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE, M. D. A. G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A.; CÁNOVAS, A. D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 352-356, 2006.

JOHANSSON, E.; PRIETO-LINDE, M. L.; JÖNSSON, J. Ö. Effects of Wheat Cultivar and Nitrogen Application on Storage Protein Composition and Breadmaking Quality. **Cereal Chemistry**, v. 78, n. 1, p. 19-25, 2001.

KAPP JUNIOR, C.; GUIMARÃES, A. M.; CAIRES, E. F. Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 886-894, 2016.

LADHA, J. K.; PATHAK, H.; KRUPNIK, T. J.; SIX, J.; KESSEL, C. V. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: Retrospects and prospects. **Advances in Agronomy**, v. 87, p. 84-157, 2005.

LI, M.; WANG, S.; TIAN, X.; LI, S.; CHEN, Y.; JIA, Z.; LIU, K.; ZHAO, A. Zinc and iron concentrations in grain milling fractions through combined foliar applications of Zn and macronutrients. **Field Crop Research**, v. 187, p. 135-141, 2016.

LIU, H.; WANG, Z. H.; LI, F.; LI, K.; YANG, N.; YANG, Y.; HUANG, D.; LIANG, D.; ZHAO, H.; MAO, H.; LIU, J.; QIU, W. Grain iron and zinc concentrations of wheat and their relationships to yield in major wheat production areas in China. **Field Crop Research**, v. 156, p. 151-160, 2014.

LOTT, J. N. A.; SPITZER, E. X-Ray Analysis Studies of Elements Stored in Protein Body Globoid Crystals of Triticum Grains. **Plant Physiology**, v. 66, n. 3, p. 494-499, 1980.

LYONS, G. H.; GENC, Y.; STANGOULIS, J. C. R.; PALMER, L. T.; GRAHAM, R. D. Selenium distribution in wheat grain, and the effect of postharvest processing on wheat selenium content. **Biological Trace Element Research**, v. 103, n. 2, p. 155-168, 2005.

MOLIN, J. P.; FRASSON, F. R.; AMARAL, L. R.; POVH, F. P.; SALVI, J. V. Capacidade de um sensor ótico em quantificar a resposta da cana-de-açúcar a doses de nitrogênio Capability of an optical sensor in verifying the sugarcane response to nitrogen rates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1345-1349, 2010.

MARTINS, A. P.; REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. **Scientia Agrária**, v. 8, n. 1, p. 1-17, 2007.

MILLER, R. O.; JACOBSEN, J. S.; SKOGLEY, E. O. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by hard red spring wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, n. 17-18, p. 2389-2407, 1993.

- MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, A. S.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; AMABILE, R. F. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em Latossolo Vermelho do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1941-1948, 2008.
- MEDRADO, R. D.; CARVALHO, A. C. F.; MORAES, A. M.; RIOS, E. M.; LANG, C. R.; LOPES, E. C. P. Decomposição de resíduos culturais e liberação de nitrogênio para a cultura do milho. **Scientia Agrária**, v. 12, n. 2, p. 97-107, 2011.
- MYNENI, R. B.; RAMAKRISHNA, R.; NEMANI, R.; RUNNING, S. W. Estimation of Global Leaf Area index and Absorbed Par Using Radiative Transfer Models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 6, p. 1380-1393, 1997.
- MOGER, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of Green, Red, and Near Infrared Bands for Predicting Winter Wheat Biomass, Nitrogen Uptake, and Final Grain Yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 8, p. 1431-1441, 2004.
- NUNES, P. H. M. P.; AQUINO, L. A.; DOS SANTOS, L. P. D.; XAVIER, F. O.; DEZORDI, L. R.; ASSUNÇÃO, N. S. Produtividade do trigo irrigado submetido à aplicação de nitrogênio e à inoculação com *Azospirillum brasilense*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 174-182, 2015.
- O'DELL, B. L.; BOLAND, A. R. DE.; KOIRTYOHANN, S. R. Distribution of Phytate and Nutritionally Important Elements among the Morphological Components of Cereal. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 20, n. 3, p. 718-723, 1972.
- OURY, F. X.; LEENHARDT, F.; RÉMÉSY, C.; CHANLIAUD, E.; DUPERRIER, B.; BALFOURIER, F.; CHARMET, G. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. **European Journal Agronomy**, v. 25, n. 2, p. 177-185, 2006.
- OZTURK, L.; ATILLA, M.; YUCEL, C.; TORUN, A.; CEKIC, C.; BAGCI, A. Concentration and localization of zinc during seed development and germination in wheat. **Physiologia Plantarum**, v. 128, n. 1, p. 144-152, 2006.
- OKUMURA, R. S.; TAKAHASHI, H. W.; SANTOS, D. G. C.; LOBATO, A. K. DA S.; MARIANO, D. C.; MARQUES, O. J. M.; SILVA, M. H. L.; OLIVEIRA NETO, C. F.; LIMA JUNIOR, J. A. Influence of different nitrogen levels on growth and production parameters in maize plants. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v. 9, n. 3, p. 510-514, 2011.
- PAULETTI, V.; COSTA, L. C. **Calibração de doses de nitrogênio para milho, em plantio direto, na região dos Campos Gerais – Paraná**. Castro: [s.n.], 2006. 36. p. (Relatório interno Fundação ABC).
- POBLACIONES, M. J.; LÓPES-BELLIDO, R. J.; LÓPES-BELLIDO, R. J. Field estimation of technological bread-making quality in wheat. **Field Crops Research**, v. 112, n. 2, p. 253-259, 2009.

PARK, H.; CLAY, D. E.; HALL, R. G.; ROHILA, J. S.; TULSI, P.; CLAY, S. A.; LEE, S. Winter Wheat Quality Responses to Water, Environment, and Nitrogen Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 14, p. 1894-1905, 2014.

PARTON, W.; SILVER, W. L.; BURKE, I. C.; GRASSENS, L.; HARMON, M. E.; CURRIE, W. S. Y.; KING, J. Y.; ADAIR, E. C.; BRANDT, L. A.; HART, S. C.; FASTH, B. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. **Science**. v. 315, p. 361-364, 2007.

PENCKOWSKI, L. H.; JEFERSON, Z.; FERNANDES, E. C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapac-ethyl e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 6, p. 1492-1499, 2010.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I. Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. **Trends in Plant Science**, v.3, n. 4, p. 151-156, 1998.

PEARSON, J.N.; RENGEL, Z. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 45, n. 281, p. 1829-1835, 1994.

PIECZONKA, K.; ROSOPULO, A. Distribution of Cadmium, Copper, and Zinc in the Caryopsis of Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Analytical Chemistry**, v. 322, n. 7, p. 697-699, 1985.

POUTANEN, K. Past and future of cereal grains as food for health. **Trends in Food Science & Technology**, v. 25, n. 2, p. 58-62, 2012.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENUÍ, A. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Produtividade de Cultivares de Trigo Submetidas a Doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015.

RODRIGHERO, M. B.; CAIRES, E. F.; LOPES, R. B.; ANTÔNIO, A.; GRANATO, D.; DEMIATE, I. M. Wheat technological quality as affected by nitrogen fertilization under a no-till system. **Acta Scientiarum**, v. 37, n. 1, p. 175-181, 2015.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: FREDEN, S. C.; MERCANTI, E. P.; BECKER, M. **Proceedings of the third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**. Washington: NASA, 1973. p. 309-317.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

SHI, R.; ZHANG, Y.; CHEN, X.; SUN, Q.; ZHANG, F.; RÖMHELD, V.; ZOU, C. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 1, p. 165-170, 2010.

SOUZA, T. M.; PRANDO, A. M.; TAKABAYASHI, C. R.; SANTOS, J. S.; ISHIKAWA A. T.; FELÍCIO, A. L. S. M. Composição química e desoxinivalenol em trigo da região Centro - Sul do Paraná: Adubação nitrogenada em cobertura associada com *Azospirillum brasilense*. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 327-342, 2014.

SCHÄCHTL, J.; HUBER, G.; MAIDL, F. X.; STICKSEL, E.; SCHULZ, E.; ASCHBERGER, P. Laser-induced chlorophyll fluorescence measurements for detecting the nitrogen status of wheat (*Triticum aestivum* L.) canopies. **Precision Agriculture**, v. 6, p. 143-156, 2005.

SPITKÓ, T.; ZSUBORI, Z. T.; SZOKE, C.; BERZY, T.; PINTÉR, J.; MARTON, C. L. Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize. **Plant, Soil and Environment**, v. 62, n. 7, p. 293-298, 2016.

SVEČNJAK, Z.; JENEL, M.; BUJAN, M.; VITALI, D.; VEDRINA, I. Trace element concentrations in the grain of wheat cultivars as affected by nitrogen fertilization. **Agricultural and Food Science**, v. 22, n. 4, p. 445-451, 2013.

SAMBORSKI, S. M.; GOZDOWSKI, D.; WALSH, O. S.; LAMB, D. W.; STEPIEN, M.; GACEK, E. S.; DRZAZGA, T. Winter Wheat Genotype Effect on Canopy Reflectance: Implications for Using NDVI for In-Season Nitrogen topdressing recommendations. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2097-2105, 2015.

SCALCO, M. S.; FARIA, M. A. DE.; GERMANI, R.; MORAIS, A. R. DE. Produtividade e qualidade industrial do trigo sob diferentes níveis de irrigação e adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 1, p. 400-410, 2002.

TRINDADE, M. G.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B.; CÁNOVAS, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Nitrogênio e água como fatores de produtividade do trigo no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 24-29, 2006.

TOSI, P.; GRITSCH, C. S.; HE, J.; SHEWRY, P. R. Distribution of gluten proteins in bread wheat (*Triticum aestivum*) grain. **Annals of Botany**, v. 108, n. 1, p. 23-35, 2011.

WANG, S.; TIAN, X.; LI, M.; NI, Y.; LI, J.; LI, H.; WANG, S.; CHEN, Y.; GUO, C.; ZHAO, A. Water and nitrogen management on micronutrient concentrations in winter wheat. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 3, p. 1003-1010, 2014.

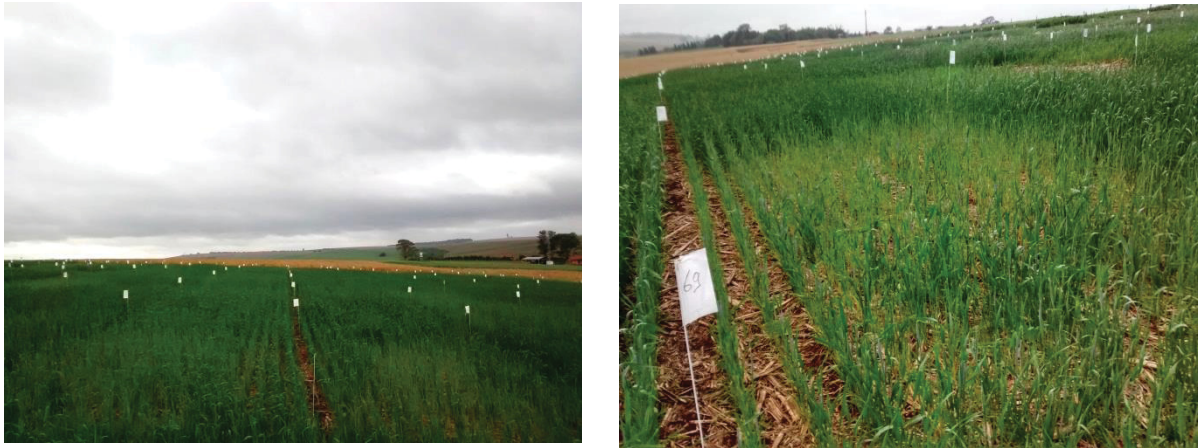
WU, J.; LI, J.; WANG, C.; WEI, F.; ZHANG, Y.; WU, W. Effects of spraying foliar nitrogen on activities of key regulatory enzymes involved in protein formation in winter wheat suffered post-anthesis high temperature and waterlogging. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 11, n. 2, p. 668-673, 2013.

ZHAO DL, REDDY KR, KAKANI VG, READ JJ, KOTI S. Selection of optimum reflectance ratios for estimating leaf nitrogen and chlorophyll concentrations of field-grown cotton. **Agronomy Journal**, v. 97, n. 1, p. 89-98, 2005.

ZHAO, P.; YANG, F.; SUI, F.; WANG, Q.; LIU, H. Effect of Nitrogen Fertilizers on Zinc Absorption and Translocation in Winter Wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4167, p. 1532-4087, 2015.

APÊNDICE

FIGURA 1. ÁREA EXPERIMENTAL COM AS CULTIVARES DE TRIGO QUARZTO, GRALHA AZUL, TBIO SINUELO, TBIO TORUK E O EFEITO VISUAL DAS DOSES DE NITROGÊNIO.



FONTE: O autor (2015).

FIGURA 2. VISÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL COM A DEMARCAÇÃO DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS.



FONTE: O autor (2015).