

Qualidade industrial do trigo em resposta à adubação verde e doses de nitrogênio

Cilas Pinnow (1); Giovani Benin (1*); Ricardo Viola (1); Cristiano Lemes da Silva (1); Luiz Carlos Gutkoski (2); Luís César Cassol (1)

(1) Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Rodovia PR 469, km 01, 85501-970 Pato Branco (PR), Brasil.

(2) Universidade de Passo Fundo (UPF), Rodovia BR 285, km 171, 9900-970 Passo Fundo (RS), Brasil.

(*) Autor correspondente: benin@utfpr.edu.br

Recebido: 11/maio/2012; Aceito: 25/fev./2013

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de adubos verdes cultivados entre a cultura do milho e a do trigo e da adubação nitrogenada sobre a qualidade industrial do trigo. Os tratamentos consistiram de quatro níveis de adubação nitrogenada: sem adição de nitrogênio, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ e seis manejos outonais: quatro com o cultivo de espécies de cobertura (ervilha forrageira, ervilhaca comum, nabo forrageiro e tremoço), um cultivo de feijoeiro com fins comerciais e outro com a permanência em pousio no período compreendido entre a colheita do milho e a semeadura do trigo. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial, com três repetições. O rendimento de proteína aumentou linearmente com a aplicação de nitrogênio mineral. As doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio afetaram positivamente o desempenho dos parâmetros indicativos da qualidade industrial. A ervilha forrageira, o nabo forrageiro e a ervilhaca comum permitem combinar índices de qualidade tecnológica ideais para panificação e satisfatórios patamares de produtividade de grãos, reduzindo a demanda de adubação nitrogenada mineral.

Palavras-chave: *Triticum aestivum* L., qualidade de panificação, adubação nitrogenada, rendimento de grãos.

Baking quality of wheat in response to green manure and nitrogen rates

Abstract

The objective this study was to investigate the effects of green manures cultivated between the maize and wheat crop and nitrogen rates on baking quality of spring wheat. Treatments consisted of four nitrogen fertilization rates: without N addition, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹ using the amidic form, and six managements before wheat crop: four green manures forage pea, common pea, oilseed radish and lupine, common bean grown for commercial purposes, and the fallow between the corn harvest and wheat cropping. The experimental design was in randomized blocks and factorial scheme, with three replicates. The protein yield increased linearly with the application of mineral N rates. The nitrogen rates of 80 and 120 kg ha⁻¹ improved the baking wheat quality. The forage pea, oilseed radish and common pea allowed ideal index of baking quality and satisfactory crop yield, reducing the demand for mineral N fertilization.

Key words: *Triticum aestivum* L., baking quality, nitrogen fertilization, grain yield.

1. INTRODUÇÃO

A fim de obter farinhas com qualidade físico/química, reológicas e nutricionais adequadas à panificação, a exigência em qualidade tecnológica tem sido cada vez mais considerada pelos mercados consumidores na compra de trigo. Além disso, o novo regulamento técnico do trigo estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, por meio da Instrução Normativa n.º 38, de 30 de novembro de 2010 (BRASIL, 2010), elevou o grau de exigência de qualidade industrial do grão do trigo. Esse fato pode ocasionar impacto negativo na destinação de seu uso comercial e no valor econômico do trigo, caso não se atinja a qualidade mínima desejada.

A qualidade tecnológica do trigo é influenciada por fatores genéticos, ambientais e de manejo (GUARIENTI et al., 2000; MIRANDA e EL-DASHI, 2002; CAZETTA et al., 2008; FRANCESCHI et al., 2009; DENČIĆ et al., 2011; FREO et al., 2011). Dentre estes fatores, destaca-se o manejo da adubação nitrogenada (GARRIDO-LESTACHE et al., 2004; TAKAYAMA et al., 2006). Entretanto, a utilização de altas doses de adubação nitrogenada pode elevar os custos de produção a ponto de tornar a cultura economicamente inviável (LADHA et al., 2005; FOULKES et al., 2009; BARRACLOUGH et al., 2010), além de ocasionar danos ambientais, devido à lixiviação de nitrato e volatilização de amônia (RILEY et al., 2001; MA et al., 2010).

Uma alternativa à adubação nitrogenada mineral é a rotação de culturas com leguminosas. Poucos estudos avaliaram o efeito de espécies de adubos verdes, cultivadas no período outonal, entre a colheita do milho e a semeadura do trigo. Neste esquema de sucessão de culturas, o nabo forrageiro, a ervilhaca comum e a ervilha forrageira constituem-se em alternativas promissoras, devido ao ciclo e ao potencial em reciclar e disponibilizar nutrientes para a cultura do trigo; há estudos que indicam acúmulo de nitrogênio que variam entre 60 e 110 kg ha⁻¹ (GIACOMINI et al., 2003; CABEZAS et al., 2004; NUNES et al., 2011; VARGAS et al., 2011). Estas espécies também possuem relação C/N adequada, para que não ocorra imobilização do N e para que sua liberação ocorra em sincronia com os estádios de maior demanda da cultura do trigo (AITA et al., 2001; LIMA et al., 2007; VIOLA et al., 2013). Apesar disso, o cultivo de espécies de cobertura ainda é uma prática pouco utilizada pelos agricultores brasileiros, sobretudo na cultura do trigo, por uma série de razões, que compreendem desde motivos de custo comercial até dificuldades técnicas (NUNES et al., 2011).

A farinha de trigo, para ser adequada à panificação, deve ter características como alta capacidade de absorção de água, boa tolerância ao amassamento, glúten de força média a forte e alta porcentagem de proteína (CAZETTA et al., 2008; MÓDENES et al., 2009). Os atributos que influem na qualidade de panificação são determinados, principalmente, pelo conteúdo de proteína dos grãos, seja por sua variação quantitativa, em termos de composição de subunidades, seja qualitativa, em relação às diferentes frações proteicas que compõem o glúten (GIANIBELLI et al., 2001; APPELBEE et al., 2009). Em média, cada quilo de N mineral aplicado incrementa de 0,01% até 0,03% a concentração proteica dos grãos do trigo (XUE et al., 2007; CAZETTA et al., 2008) e 0,58 a 0,81 unidades de força de glúten (CAZETTA et al., 2008). Além disso, vários estudos relatam a existência de correlações positivas (0,56 a 0,64) entre a concentração de proteína nos grãos e a força de glúten (GARRIDO-LESTACHE et al., 2004; HRUŠKOVÁ, 2009).

A rotação com leguminosas pode incrementar em até 5% a concentração de proteínas nos grãos do trigo e possibilitar qualidade de grãos mínima à comercialização (ANDERSON et al., 1998). O nabo forrageiro (MARTENS e ENTZ, 2011), a ervilhaca comum (MACHADO et al., 2008) e a ervilha forrageira (MILLER et al., 2011) alteram positivamente a produtividade e a concentração proteica dos grãos, bem como as propriedades viscoelásticas da farinha do trigo (GUARIENTI et al., 2000; TALGRE et al., 2009). Neste contexto, o uso combinado entre N mineral e adubos verdes pode se constituir em uma prática de manejo sustentável (AULAKH et al., 2001).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de adubos verdes cultivados entre a cultura do milho e a do trigo e da adubação nitrogenada sobre a qualidade industrial do trigo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano agrícola de 2010, no município de Pato Branco, Paraná, em área com histórico de manejo sob sistema plantio direto desde 1987, localizada a 26°10'38"S e 52°41'24"O, com 800 metros de altitude. O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, de textura argilosa, com relevo ondulado.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições. Os tratamentos foram dispostos em esquema bifatorial (Espécies x Doses de Nitrogênio). As seguintes espécies intercalares foram usadas como cobertura: nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), ervilha forrageira (*Pisum sativum* subsp. *Arvense*, cultivar BRS Forrageira) e tremoço (*Lupinus albus* L.), além do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L., cultivar IAPAR 81) cultivado para fins comerciais e o tratamento testemunha que permaneceu em pouso, composto apenas por restos culturais de milho. O segundo fator foi composto por quatro níveis de adubação nitrogenada na cultura do trigo (controle sem a adição de N, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N), usando uréia como fonte. A semeadura da cultivar de trigo BRS Pardela foi realizada em 18/6/2010, em sucessão às espécies de cobertura, na densidade de 350 sementes viáveis por m². A caracterização química da área, dados meteorológicos, detalhes do manejo das espécies de cobertura, acúmulo e liberação de nutrientes, podem ser observados em VIOLA et al. (2013).

As análises da qualidade industrial de panificação do trigo foram realizadas no laboratório de Cereais do Centro de Pesquisa em Alimentação da Universidade de Passo Fundo. A concentração proteica dos grãos (CPG) foi estimada por espectrometria de infravermelho próximo (NIR), modelo Perstorp Analytical. Os valores de glúten seco (GS) e glúten úmido (GU) foram determinados através do aparelho Glutomatic, marca Perten Instruments, de acordo com método n.º 38-12 da AACCC (1995). O número de queda (NQ) da farinha foi determinado pelo aparelho Falling Number, modelo 1500 Fungal (Perten Instruments, Suíça) de acordo com o método n.º 56-81B da AACCC (1995). O rendimento de proteínas (RP) foi obtido a partir da multiplicação do rendimento de grãos pela CPG. O rendimento de grãos (RG) foi determinado pelo rendimento das parcelas, corrigido para a umidade de 13% e transformado para kg ha⁻¹.

As características viscoelásticas da farinha de trigo foram mensuradas em alveógrafo Chopin, modelo NG, conforme a AACCC (1995), método n.º 54-30. Foram considerados os seguintes parâmetros dos alveogramas: Força de glúten (W), que corresponde ao trabalho mecânico necessário para expandir a massa até a ruptura, expressa em 10⁻⁴ Joules; tenacidade (P), que mede a sobrepressão máxima exercida na expansão da massa (mm); extensibilidade (L) que mede o comprimento da curva (mm) e a relação P/L. O rendimento de moagem (RM) e/ou extração

experimental da farinha, foi mensurado em moinho experimental "Brabender Quadrumat Senior", com 2 kg de grãos, pelo método n.º 26-20 da AACCI (1995). Os grãos foram condicionados para 15% de umidade, sendo o tempo de condicionamento de 16–24 horas.

Foram testadas a homogeneidade e a normalidade dos erros do modelo matemático, via testes de Bartlett e Lilliefors. Após atender aos pressupostos iniciais, os dados foram submetidos à análise de variância pelo modelo bifatorial, considerando como fixos o efeito das espécies de cobertura e das doses de nitrogênio. O efeito das doses de N sobre o rendimento de proteína (RP) foi analisado por regressão polinomial, testados até o grau de polinômio cúbico. A escolha do modelo equacional para as regressões considerou a significância dos parâmetros da equação de regressão ajustada testados pelo teste F e teste *t* de Student ($p < 0,05$). Para os demais caracteres componentes da qualidade industrial, devido aos seus padrões de resposta complexos, difíceis de serem explicados biologicamente (LÓPEZ-BELLIDO et al., 2001), o efeito das doses de N foi avaliado através do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas através dos aplicativos Genes (CRUZ, 2006) e os gráficos construídos com software SigmaPlot 11.0.

A interpretação das associações foi realizada pelo cosseno do ângulo entre os dois vetores a serem comparados. Foram adotados os seguintes critérios: a associação é positiva se o ângulo entre os vetores for $< 90^\circ$; é negativa se o ângulo for $> 90^\circ$; e é nula se o ângulo entre os vetores for igual a 90° (YAN e TINKER, 2006). A notação Transform=0 indica que os dados não foram transformados. A notação Scaling=1 (SD) indica que os dados foram divididos pelo desvio-padrão. A notação Centering se refere ao modelo utilizado, em que Centering=2 representa GGE (genótipo + interação genótipo x ambiente). O SVP ou "singular value partitioning" é uma técnica matemática para decomposição de matrizes. O SVP=1, com foco no genótipo, foi utilizado para a análise da associação entre os caracteres componentes da qualidade tecnológica e os adubos verdes em estudo. O SVP=2, com foco no ambiente, foi utilizado para a avaliação da associação entre os caracteres componentes da qualidade tecnológica e as doses de N em estudo (YAN et al., 2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância conjunta (dados não mostrados) revelaram significância ($p < 0,05$) para a interação dos fatores espécies de cobertura x doses de nitrogênio, tanto para o rendimento de grãos, quanto para os caracteres referentes à qualidade industrial de panificação. Esse fato indica que a cultura do trigo respondeu de forma diferenciada aos efeitos do cultivo das espécies de cobertura e as doses de adubação nitrogenada, corroborando

com os resultados obtidos por GARRIDO-LESTACHE et al. (2004) e MOHAMMED et al. (2011). Os valores médios de todos os caracteres farinográficos avaliados foram elevados, indicando que a cultivar BRS Pardela possui características favoráveis à panificação e às massas, conforme também verificado por SCHEUER et al. (2011).

Para a escolha do modelo equacional para as regressões foi considerada a significância dos parâmetros da equação de regressão ajustada testados pelo teste F e teste *t* de Student ($p < 0,05$).

Todos os parâmetros dos coeficientes de regressão foram significativos ($p < 0,05$) pelo teste F e teste *t* (Figura 1a). Em todas as espécies de cobertura, o rendimento de proteína (RP) aumentou linearmente, em função das doses de adubação nitrogenada, concordando com os resultados

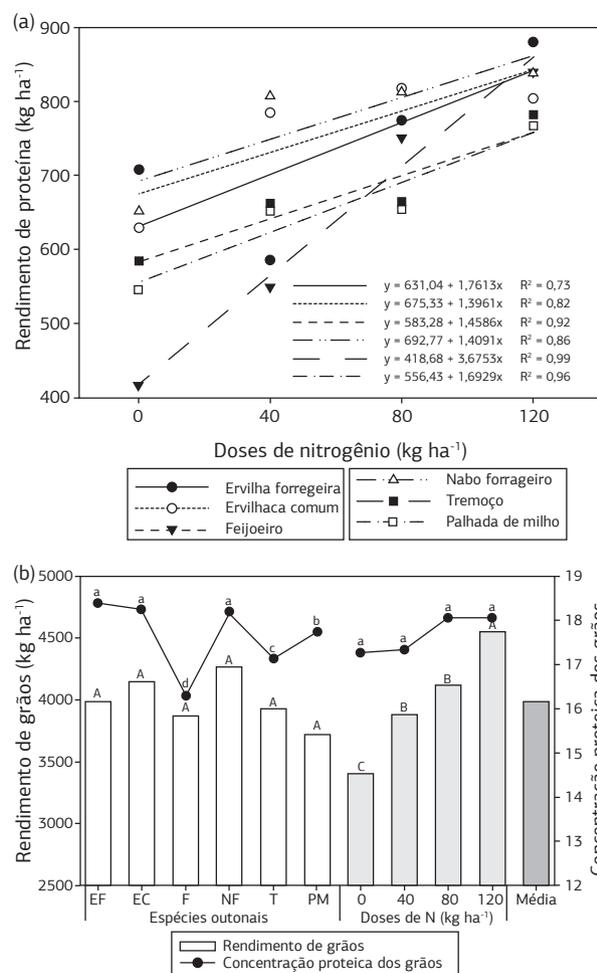


Figura 1. Análise e ajuste das equações de regressão para rendimento de proteína (a) e comparação de médias para o rendimento de grãos e concentração proteica dos grãos (b) de trigo cultivado em sucessão a espécies de cobertura, sob quatro doses de adubação nitrogenada. Pato Branco (PR), 2010. Entre as espécies outonais e entre as doses de nitrogênio, médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. (EF: Ervilha forrageira; EC: Ervilhaca comum; F: Feijoeiro comum; NF: Nabo forrageiro; T: Tremoço; PM: Palhada de milho).

verificados por CAZETTA et al. (2008). De acordo com as equações de regressão, tanto no tratamento-controle (sem suplementação nitrogenada de cobertura), como na dose de 120 kg ha⁻¹ de N, a semeadura de trigo sobre os restos culturais de nabo forrageiro (692,7 e 861,8 kg ha⁻¹ respectivamente) e ervilhaca comum (675,3 e 842,8 kg ha⁻¹ respectivamente) proporcionaram os maiores valores de rendimento de proteína; esse resultado se deve ao potencial destas espécies em reciclar e disponibilizar nitrogênio e outros nutrientes para a cultura do trigo (VIOLA et al., 2013). Os menores rendimentos de proteína foram obtidos sobre os restos culturais de feijoeiro comum (417 kg ha⁻¹) e palhada de milho (546 kg ha⁻¹), devido ao baixo acúmulo de N e elevada relação C/N dos resíduos culturais destas espécies (VIOLA et al., 2013), favorecendo a imobilização do N.

O nitrogênio é o principal componente formador de proteínas. Dessa forma, em condições de baixa disponibilidade de N, as plantas diminuem a síntese de proteínas nos grãos e favorecem a síntese de amido, gerando grãos com baixa concentração proteica. Neste contexto, vários estudos apontam relação negativa entre rendimento de grãos e concentração de proteínas (CPG) (RHARRABTI et al., 2001; GUARDA, et al., 2004), mesmo com a aplicação de adubação nitrogenada (MARINCIU e SĂULESCU, 2008). Outros estudos apontam ausência de correlação entre a concentração de proteínas nos grãos e rendimento de grãos (BORDES et al., 2008) ou até mesmo associações positivas (MONAGHAN et al., 2001). No presente estudo, ocorreu elevação da concentração proteica dos grãos concomitantemente ao rendimento de grãos (Figura 1b). A contradição entre estudos é um indicativo que a relação CPG x RG depende do ambiente, genótipo e manejo utilizado.

O rendimento de grãos do trigo em sucessão à ervilhaca comum, à ervilha forrageira e ao nabo forrageiro foi superior a 3990 kg ha⁻¹ (Figura 1b), com CPG acima de 18%. O acúmulo e a dinâmica de liberação de N observados para a ervilhaca comum, ervilha forrageira e nabo forrageiro (VIOLA et al., 2013) possibilitaram conciliar elevado potencial produtivo com altos níveis de CPG, corroborando com outros autores (COOPER et al., 2001; LÓPEZ-BELLIDO et al., 2001; GARRIDO-LESTACHE et al., 2004).

A força de glúten (W) e a relação P/L da farinha de trigo variaram em função da aplicação de nitrogênio mineral e da espécie de cobertura antecessora (Figura 2a,b). Em todos os tratamentos, nos testes alveográficos, os valores de W foram superiores a 360 x 10⁻⁴ J e número de queda (NQ) (Figura 3a) acima de 297 segundos. Embora, neste estudo, não se avaliou a estabilidade (E) da massa, de acordo com SCHEUER et al. (2011), a cultivar BRS Pardela possui E superior a 14 minutos, sendo classificada como melhoradora, de acordo com a Instrução Normativa n.º 38 (BRASIL, 2010). A relação P/L da farinha variou entre 0,6 e 1,2 sendo classificada como glúten balanceado, o que confere uma farinha equilibrada, ideal para fabricação de pães (GUARIENTI, 1996; MÓDENES et al., 2009).

Quando o trigo foi cultivado em sucessão à ervilha forrageira, os maiores valores de W foram observados nos tratamentos sem adubação nitrogenada e com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N (Figura 2a). Por outro lado, quando o trigo foi cultivado sucedendo a ervilhaca comum, o feijoeiro comum e o nabo forrageiro, os maiores valores de W foram obtidos com a aplicação de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N. Nestas sucessões, houve aumento de 0,27 a 0,60 unidades de força de glúten para cada quilo de N mineral aplicado. CAZETTA et al. (2008) verificaram incremento de 0,58 a 0,81 unidades de força de glúten para cada kg ha⁻¹ de N aplicado.

A relação P/L foi afetada positivamente, com o incremento da adubação nitrogenada, quando o trigo foi cultivado após ervilha forrageira e nabo forrageiro, e negativamente, quando cultivado em sucessão à ervilhaca comum (Figura 2b). Neste sentido, GARRIDO-LESTACHE et al. (2004) verificaram que doses crescentes de N ocasionaram redução da relação P/L, com consequente melhoria do equilíbrio da massa. De forma semelhante, LÓPEZ-BELLIDO et al. (1998) e TALGRE et al. (2009) também observaram benefícios da utilização de espécies de cobertura (em especial das leguminosas) no conteúdo proteico dos grãos do trigo e nas propriedades reológicas da massa.

Sucedendo ao feijoeiro e à palhada de milho (Figura 3a), o número de queda do grão (NQ) foi mais elevado nas maiores doses de adubação nitrogenada. Esse comportamento pode estar relacionado ao baixo acúmulo de N e a elevada relação C/N destas espécies (VIOLA et al., 2013). Nos esquemas de sucessão envolvendo o nabo forrageiro, ervilha forrageira, ervilhaca comum e tremoço, há tendência de maiores valores de NQ na dose de 40 kg ha⁻¹ de N e redução de seu valor com nas maiores doses de nitrogênio mineral. PENCKOWSKI et al. (2010) também verificaram que a atividade enzimática da alfa-amilase é aumentada com a elevação das doses de N.

O rendimento de moagem (RM) médio foi de 46%. Os menores valores foram obtidos em sucessão à ervilha forrageira (dose de 40 kg ha⁻¹ de N) e tremoço na ausência de suplementação nitrogenada (Figura 3b). Os maiores valores de RM foram obtidos em sucessão à ervilhaca comum com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N, tremoço com suplementação nitrogenada de 40 ha⁻¹, 80 ha⁻¹ e 120 ha⁻¹ e palhada de milho (pousio) nas doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N (Figura 3b). A moagem tem por finalidade quebrar os grãos de trigo, transformando o endosperma em grânulos com diâmetro inferior a 250 µm (GUTKOSKI et al., 1999). O rendimento de moagem determina a taxa de extração de farinha, ou seja, indica a proporção de farinha obtida em relação ao total de grãos processado.

O glúten é o elemento responsável pela formação da massa, atribuindo-lhe a característica viscoelástica que esta possui. Em sua grande maioria, constitui-se pelas principais proteínas do trigo, a gliadina e a glutenina (CZUCHAJOWSKA e PASZCZYŃSKA, 1996; MÓDENES et al., 2009). As maiores porcentagens de glúten seco (GS) e de

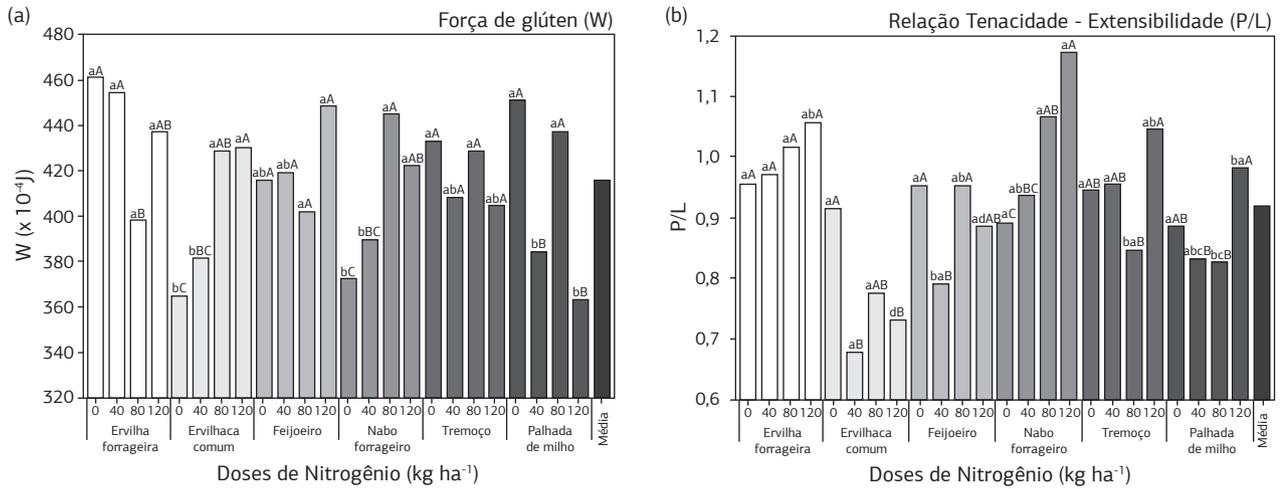


Figura 2. Força de glúten (a) e relação tenacidade/extensibilidade (b) da farinha de trigo cultivado em sucessão a espécies de cobertura, sob quatro doses de adubação nitrogenada (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). Pato Branco (PR), 2010. Entre as doses de nitrogênio e entre as espécies de cobertura, médias seguidas por mesma letra maiúscula e minúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

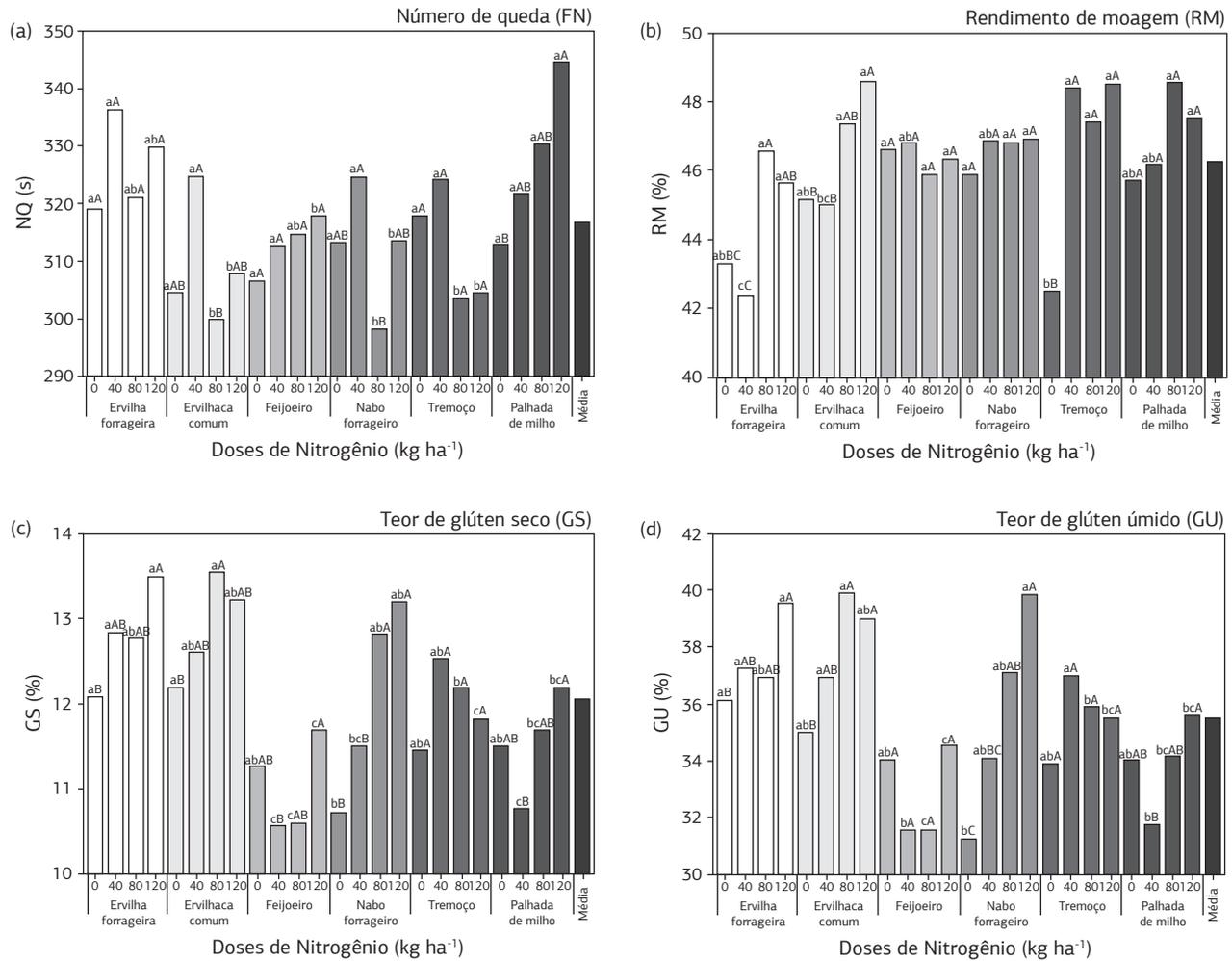


Figura 3. Número de queda do grão (a), rendimento de moagem (b), glúten seco (c) e glúten úmido (d) de trigo cultivado em sucessão a espécies de cobertura, sob quatro doses de adubação nitrogenada (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). Pato Branco (PR), 2010. Entre as doses de nitrogênio e entre as espécies outonais, médias seguidas por mesma letra maiúscula e minúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

glúten úmido (GU) foram observadas em sucessão à ervilha forrageira com a dose de 120 kg ha⁻¹ de N (GS=13,5% e GU= 39,5%), à ervilhaca comum com as doses de 80 kg ha⁻¹ de N (GS=13,5% e GU=39,9%) e 120 kg ha⁻¹ de N (GS=13,2% e GU=38,9%); e ao nabo forrageiro com suplementação de 120 kg ha⁻¹ de N (GS=13,2% e GU=39,8%) (Figura 3c,d). Esses valores são semelhantes aos constatados por SCHEUER et al. (2011), que relatam valores de GU e GS, respectivamente, de 33,4% e 11,7%, para a cultivar BRS Pardela. PENCKOWSKI et al. (2010) também observaram maiores porcentagens de GU e GS com o aumento da adubação nitrogenada. O feijoeiro comum e a palhada de milho contêm, de maneira geral, menores teores de GS e GU, entretanto, em todos os tratamentos, estiveram acima de 10,5% e 31% respectivamente, indicando que as farinhas possuem características físicas e reológicas ideais para panificação.

Houve associação entre os caracteres componentes da qualidade tecnológica com as espécies de adubos verdes (Figura 4a) e com as doses de N (Figura 4b). Ângulos menores, maiores e iguais a 90° graus indicam, respectivamente, associação positiva, negativa e ausência de associação (YAN e TINKER, 2006). Nos caracteres RG, RP, CPG, GS e GU a associação é positiva com nabo forrageiro, ervilhaca comum e ervilha forrageira, o que pode ser explicado pela elevada produção de matéria seca, acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio observada nestas espécies, bem como pela decomposição e liberação de nitrogênio para a cultura do trigo, em estádios fenológicos de maior demanda deste nutriente (VIOLA et al., 2013).

Os caracteres W, relação P/L e NQ estão mais associados à ervilha forrageira e ao nabo forrageiro (Figura 4a). Ainda na figura 4a, se observa que os caracteres “RG, RP, CPG, GS e GU” e “W, P/L e NQ” são associados entre si, conforme também verificado por TALGRE et al. (2009) e GAO et al. (2012). A associação entre P/L e W também foi observada por NELSON et al. (2006) e MOHAMMED et al. (2011); esses autores também observaram associação positiva entre a relação elasticidade/extensibilidade com elasticidade e força de glúten.

Na figura 4b se observa a associação dos parâmetros de qualidade tecnológica com as doses de N. Com exceção do NQ, todos os parâmetros foram positivamente associados às doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de N. Os caracteres RG, RP, CPG, GS, GU e RM foram mais associados à dose de 120 kg ha⁻¹ de N enquanto W e a relação P/L formam mais associados à dose 80 kg ha⁻¹ de N. Estas associações positivas indicam, de modo geral, que o desempenho dos caracteres componentes da qualidade tecnológica foi maximizado nas maiores doses de adubação nitrogenada. O NQ proporcionou maior desempenho médio com a aplicação de 40 kg ha⁻¹ de N, corroborando com o que foi observado no teste de comparação múltipla de médias (Figura 3a).

As espécies de cobertura ervilha forrageira, a ervilhaca comum e o nabo forrageiro proporcionaram efeitos positivos mais pronunciados na qualidade tecnológica e produtividade da cultura do trigo. Dessa forma, o cultivo dessas espécies entre a colheita do milho e a semeadura do trigo torna-se uma prática de manejo viável e sustentável, pois permite suprir e/ou complementar a adubação nitrogenada mineral.

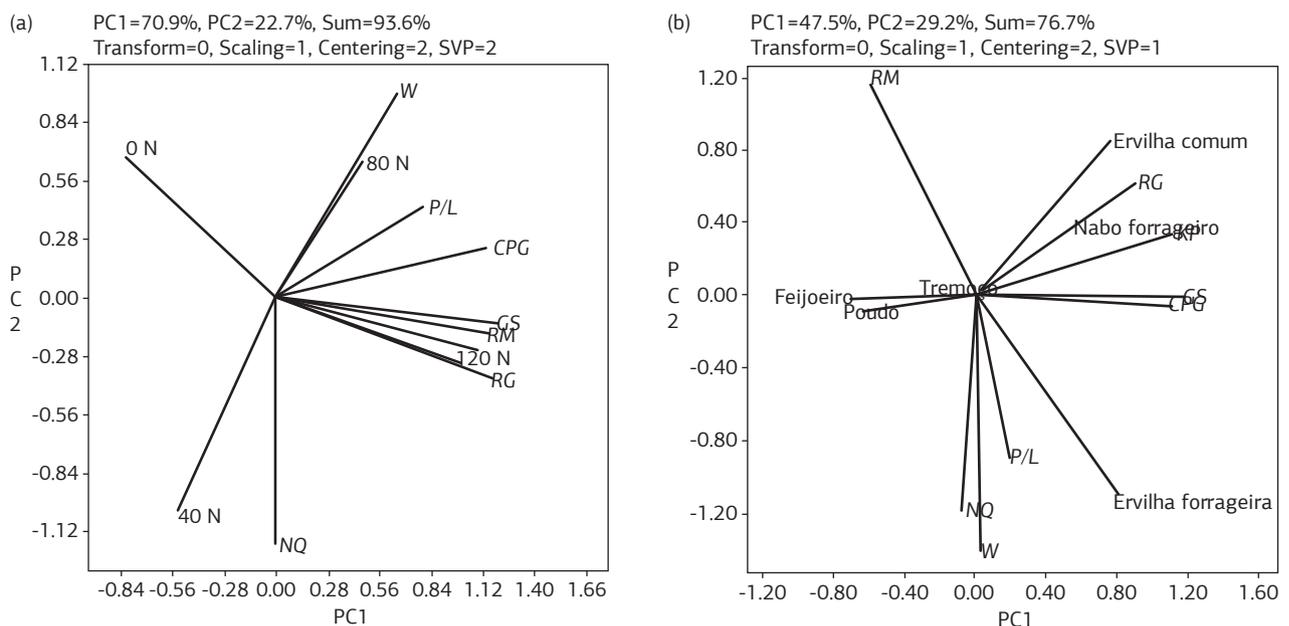


Figura 4. Plotagem dos escores dos componentes principais, segundo o modelo GGE Biplot, quanto à associação de seis manejos outonais (média de doses de nitrogênio) (a) e dosagens de nitrogênio (média de manejo outonal) (b) com os caracteres, rendimento de grãos (RG), rendimento de proteína (RP), concentração proteica dos grãos (CPG), relação P/L (P/L), força de glúten (W), número de queda do grão (NQ), rendimento de moagem (RM), índice de glúten seco (GS) e índice de glúten úmido (GU) em quatro espécies de cobertura, feijoeiro comum e pousio. Pato Branco (PR), 2010.

4. CONCLUSÃO

O cultivo de adubos verdes entre as culturas do milho e a semeadura do trigo maximiza a qualidade de panificação e a produtividade do trigo, reduzindo a demanda de adubação nitrogenada mineral. A ervilha forrageira, o nabo forrageiro e a ervilhaca comum proporcionam efeitos positivos mais pronunciados na qualidade tecnológica e produtividade da cultura do trigo. A resposta do trigo à aplicação de nitrogênio mineral é dependente da cultura antecessora. As doses de 80 e 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio afetam positivamente o desempenho dos parâmetros indicativos da qualidade industrial.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Fundação Araucária, pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AACC American Association of Cereal Chemists. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 9.ed. Saint Paul: Approved Methods Committee, 1995. v.1-2.

AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N.; DA ROS, C.O. Plantas de cobertura de solo como fontes de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.157-165, 2001.

AULAKH, M.S.; KHERA, T.S.; DORAN, J.W.; BRONSON, K.F. Managing crop residue with green manure, urea, and tillage in a rice-wheat rotation. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p.820-827, 2001.

ANDERSON, W.K.; SHACKLEY B.J.; SAWKINS D. Grain yield and quality: does there have to be a trade-off? *Euphytica*, v.100, p.183-188, 1998.

APPELBEE, M.J.; MEKURIA, G.T.; NAGASANDRA, V.; BONNEAU, J.P.; EAGLES, H.A.; EASTWOOD, R.F.; MATHER, D.E. Novel allelic variants encoded at the *Glu-D3* locus in bread wheat. *Journal of Cereal Science*, v.49, p.254-261, 2009.

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

BORDES, J.; BRANLARD, G.; OURY, F.X.; CHARMET, G.; BALFOURIER, F. Agronomic characteristics, grain quality and flour rheology of 372 bread wheat in a worldwide core collection. *Journal of Cereal Science*, v.48, p.569-579, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.º 38, de 30 de novembro de 2010.

Regulamento técnico do trigo. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, Seção 1, n.29, p.2, 1, 2010.

CABEZAS, W.A.R.L.; ALVES, B.J.R.; CABALLERO, S.S.U.; SANTANA, D.G. Influência da cultura antecessora e da adubação nitrogenada na produtividade de milho em sistema plantio direto e solo preparado. *Ciência Rural*, v.34, p.1005-1013, 2004.

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

COOPER, M.; WOODRUFF, D.R.; PHILLIPS, I.G.; BASFORD, K.E.; GILMOUR, A.R. Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat. *Field Crops Research*, v.69, p.47-67, 2001.

CRUZ, C.D. Programa GENES: Aplicativo computacional em genética e estatística versão Windows. Viçosa: UFV, 2006. 442p.

CZUCHAJOWSKA, Z.; PASZCZYŃSKA, B. Is wet gluten good for baking?. *Cereal Chemistry*, v.73, p.483-489, 1996.

DENČIĆ, S.; MLADENOV, N.; KOBILJSKI, B. Effects of genotype and environment on breadmaking quality in wheat. *International Journal of Plant Production*, v.5, p.71-82, 2011.

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

FRANCESCHI, L.; BENIN, G.; GUARIENTI, E.; MARCHIORO, V.S.; MARTIN, T.N. Fatores pré-colheita que afetam a qualidade tecnológica de trigo. *Ciência Rural*, v.39, p.1625-1632, 2009.

FREO, J.D.; ROSSO, N.D.; MORAES, L.B.D.; DIAS, A.R.G.; ELIAS, M.C.; GUTKOSKI, L.C. Physicochemical properties and silicon content in wheat flour treated with diatomaceous earth and conventionally stored. *Journal of Stored Products Research*, v.47, p.316-320, 2011.

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.

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

GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E.R.O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R.S.; FRIES, M.R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.325-334, 2003.

GIANIBELLI, M.C.; LARROQUE, O.R.; MACRITCHIE, F.; WRIGLEY, C.W. Biochemical, genetic, and molecular

- characterization of wheat endosperm proteins. American Association of Cereal Chemists, Online Review article, 2001. (Publication n.º C-2001-0926-01O)
- GUARDA, G.; PADOVAN, S.; DELOGU, G. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, v.21, p.181-192, 2004.
- GUARIENTI, E.M. Qualidade industrial de trigo. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1996. 36p.
- GUARIENTI, E.M.; SANTOS, H.P.; LHAMBY, J.C.B. Influência do manejo do solo e da rotação de culturas na qualidade industrial do trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.2375-2382, 2000.
- GUTKOSKI, L.C.; ANTUNES, E.; ROMAN, I.T. Avaliação do grau de extração de farinhas de trigo e de milho em moinho tipo colonial. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v.17, p.153-166, 1999.
- HRUŠKOVÁ, I.S.M. Modelling of wheat, flour and bread quality parameters. *Scientia Agriculturae Bohemica*, v.40, p.58-66, 2009.
- 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.85-156, 2005.
- LIMA, J.D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R.K.; SOLIMAN, E.P.; MORAES, W.S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.37, p.60-63, 2007.
- LOPEZ-BELLIDO, L.; FUENTES, M.; CASTILLO, J.E.; LÓPEZ-GARRIDO, F.J. Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, v.57, p.265-276, 1998.
- LÓPEZ-BELLIDO, L.; LÓPEZ-GARRIDO, R.J.; CASTILLO, J.E.; LÓPEZ-GARRIDO, F.J. Effect sod long-term tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on bread-making quality of hard red spring wheat. *Field Crops Research*, v.72, p.197-210, 2001.
- MA, B.L.; WU, T.Y.; TREMBLAY, N.; DEEN, W.; MCLAUGHLIN, N.B.; MORRISON M. J.; STEWART, G. On-farm assessment of the amount and timing of nitrogen fertilizer on ammonia volatilization. *Agronomy Journal*, v.102, p.134-144, 2010.
- MACHADO, S.; PETRIE, S.; RHINHART, K.; RAMIG, R.E. Tillage effects on water use and grain yield of winter wheat and green pea in rotation. *Agronomy Journal*, v.100, p.154-162, 2008.
- MARINCIU, C.; SĂULESCU, N.N. Cultivar effects on the relationship between grain protein concentration and yield in winter wheat. *Romanian Agricultural Research*, v.25 p.19-28, 2008.
- MARTENS, J.T.; ENTZ, M. Integrating green manure and grazing systems: A review. *Canadian Journal of Plant Science*, v.91, p.811-824, 2011.
- MILLER, P.R.; LIGHTHISER, E.J.; JONES, C.A.; HOLMES, J.A.; RICK, T.L.; WRAITH, J.M. Pea green manure management affects organic winter wheat yield and quality in semiarid Montana. *Canadian Journal of Plant Science*, v.91, p.497-508, 2011.
- MIRANDA, M.Z.; EL-DASH, A. Farinha integral de trigo germinado: 3. Características nutricionais e estabilidade ao armazenamento. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.22, p.216-223, 2002.
- MÓDENES, A.N.; SILVA, A.M.; TRIGUEROS, D.E.G. Avaliação das propriedades reológicas do trigo armazenado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.29, p.508-512, 2009.
- MOHAMMED, A.; GEREMEW, B.; AMSALU, A. Variation and associations of quality parameters in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, v.6, p.17-31, 2011.
- MONAGHAN, J.M.; SNAPE, J.W.; CHOJECKI, A.J.S.; KETTLEWELL, P.S. The use of grain protein deviation for identifying wheat cultivars with high grain protein concentration and yield. *Euphytica*, v.122, p.309-317, 2001.
- NELSON, J.C.; ANDREESCU, C.; BRESEGHELLO, F.; FINNEY, P.L.; GAULBERTO, D.G.; BERGMAN, C.J.; PEÑA, R.J.; PERRETANT, M.R.; LEROY, P.; QUALSET, C.O. Quantitative trait locus analysis of wheat quality traits. *Euphytica*, v.149, p.145-159, 2006.
- NUNES, A.S.; SOUZA, L.C.F.; VITORINO, A.C.T.; MOTA, L.H.S. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. *Semina*, v.32, p.1375-1384, 2011.
- PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Qualidade industrial do trigo em função do trinexapacetyl e doses de nitrogênio. *Ciência e Agrotecnologia*, v.34, p.1492-1499, 2010.
- RHARRABTI, Y.; VILLEGAS, D.; GARCÍA DEL MORAL, L.F.; APARICIO, N.; ELHANI, S.; ROYO, C. Environmental and genetic determination of protein content and grain yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Plant Breeding*, v.120, p.381-388, 2001.
- RILEY, W. J.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; MATSON, P. A. Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite, and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.61, p.223-236, 2001.
- SCHEUER, P.M.; FRANCISCO, A.; MIRANDA, M.Z.; OGLIARI, P.J.; TORRES, G.; LIMBERGER, V.; MONTENEGRO, E.M.; RUFFI, C.R.; BIONDI, S. Characterization of Brazilian wheat cultivars for specific technological applications. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.31, p.816-826, 2011.
- TALGRE, L.; LAURINGSON, E.; ROOSTALU, H.; ASTOVER, A. The effects of green manures on yields and yield quality of spring wheat. *Agronomy Research*, v.7, p.125-132, 2009.
- TAKAYAMA, T.; ISHIKAWA, N.; TAYA, S. The effect to the protein concentration and flour quality of nitrogen fertilization

at 10 days after heading in wheat. *Japan Agricultural Research Quarterly*, v.40, p.291-297, 2006.

VARGAS, T.O.; DINIZ, E.R.; SANTOS, R.H.S.; LIMA, C.T.A.; URQUIAGA, S.; CECON, P.R. Influência da biomassa de leguminosas sobre a produção de repolho em dois cultivos consecutivos. *Horticultura Brasileira*, v.29, p.562-568, 2011.

VIOLA, R.; BENIN, G.; CASSOL, L.C.; PINNOW, C., FLORES, M.F.; BORNHOFEN, E. Adubação verde e nitrogenada na cultura do trigo em plantio direto. *Bragantia*, ahead of print, p.0-0, 2013. DOI: 10.1590/S0006-87052013005000013.

XUE, L.H.; CAO W. X.; YANG L.Z. Predicting grain yield and protein content in winter wheat at different N supply levels using canopy reflectance spectra. *Pedosphere*, v.17, p.646-653, 2007.

YAN, W. GGEbiplot – A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy Journal*, v.93, p.1111-1118, 2001.

YAN, W.; TINKER, A. Biplot analysis of multi environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, v.86, p.623-645, 2006.