

Aplicação de nitrogênio a taxa variável em cultura de trigo: estudo de caso na Unidade Piloto de Agricultura de Precisão de Não-Me-Toque, RS

Jão Leonardo Fernandes Pires*¹, Geomar Mateus Corassa*², Almir César Rambo*³, Leonardo Kerber*⁴, Aldemir Pasinato*⁵, Genei Antonio Dalmago¹, José Pereira da Silva Júnior¹, Anderson Santi¹, Antônio Luis Santi*⁶, Eiana Maria Guarienti¹, Gilberto Rocca da Cunha¹, Mércio Luiz Srieder¹, Elizandro Fochesatto*⁷

¹Pesquisador, Embrapa Trigo, Rodovia BR 285 km 294, Passo Fundo, RS

²Acadêmico de Mestrado, UFSM, Campus de Frederico Westphalen

³Eng. Agr., Departamento Técnico da Cotrijal

⁴Analista de Produção, Cotrijal

⁵Analista, Embrapa Trigo

⁶Professor, UFSM, Campus de Frederico Westphalen

⁷Acadêmico de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

* E-mails: joao.pires@embrapa.br, geomarmateus@hotmail.com, arambo@cotrijal.com.br, lkerber@cotrijal.com.br, aldemir.pasinato@embrapa.br, santi_pratica@yahoo.com.br, elizandrofochesatto@hotmail.com

Resumo: O uso de sensores ópticos ativos como ferramenta para a definição da dose de nitrogênio a ser aplicada em cobertura na cultura do trigo é tecnologia disponível e em uso no Brasil. Com o objetivo de realizar o manejo sítio específico da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo utilizando-se sensor óptico ativo, foi realizado um estudo de caso na Unidade Piloto da Rede de AP em Não-Me-Toque, RS, na safra 2012. No momento da aplicação de nitrogênio em cobertura, a área foi dividida em dois talhões: um com aplicação a taxa fixa e outro a taxa variável. Foi utilizado equipamento comercial dotado de sensor óptico ativo para aplicação em taxa variável. A área foi monitorada antes e depois da aplicação de nitrogênio por meio de GreenSeeker®. Os resultados indicaram que o equipamento utilizado apresenta agilidade e flexibilidade na variação da dose de nitrogênio aplicada, configurando-se como uma ferramenta importante para o manejo sítio específico em trigo. Entretanto, há oportunidade para melhoria na estratégia de aplicação de N a taxa variável. Outros fatores, além da leitura de NDVI, podem ser levados em consideração para a aplicação em taxa variável. É necessário, por exemplo, considerar a “dose máxima” para cada cultivar em função da resposta no rendimento de grãos e suscetibilidade ao acamamento.

Palavras-chave: NDVI, taxa variável, *Triticum aestivum* L.

Nitrogen application at variable rate: a pilot study case in Não-Me-Toque, RS

Abstract: The use of active optical sensors as a tool to better define the top-dressing nitrogen dose is an available technology on wheat crops in Brazil. In order to perform site-specific nitrogen management in wheat using active optical sensor, a case study was conducted at Não-Me-Toque, RS state, Brazil, during 2012 growing season. For top-dressing nitrogen application, the area was divided into two plots, using a) fixed and b) variable N rates. Nitrogen application was carried out with an commercial equipment. The area was monitored before and after nitrogen application using the GreenSeeker®. The results obtained from this study showed that the equipment used has agility and flexibility concerning nitrogen variation dose, becoming an important tool for site-specific management in wheat. However,



improvements are still necessary in the strategy of N application using variable rates. Besides NDVI readings, other reasons may be taken into account for variable rate N application. It is necessary, for example, to consider the “maximum dose” for each cultivar according to their yield response and their lodging susceptibility.

Keywords: NDVI, variable rate, *Triticum aestivum* L.

1. Introdução

A aplicação de nitrogênio (N) em cobertura na cultura do trigo é uma prática importante para a exploração do potencial de rendimento da cultura e obtenção de retorno econômico nas lavouras. No Rio Grande do Sul, atualmente, utiliza-se o teor de matéria orgânica do solo, a cultura anterior e a expectativa de rendimento de grãos como indicadores da dose de N a ser aplicada (REUNIÃO..., 2013). Para as aplicações de N em cobertura, tem sido empregada a aplicação a taxa fixa, ou seja, uma única dose, distribuída de maneira uniforme em toda a área, não sendo levadas em consideração as respostas das diferentes cultivares, a variabilidade espacial da lavoura ou outros fatores locais que podem interferir no aproveitamento do N aplicado, como umidade do solo, cobertura de palha, etc.

Entretanto, com o advento da agricultura de precisão, novas tecnologias têm sido utilizadas como indicador para a aplicação de N a taxa variável. Tais ferramentas tem o intuito de diagnosticar o estado nutricional da cultura e de tornar mais fidedignas as doses de N a serem aplicadas em cobertura, conforme a necessidade identificada de maneira instantânea. Dentre estas tecnologias, têm-se os aplicadores autopropelidos, dotados de sistema de posicionamento geográfico (GPS). Estes equipamentos realizam leituras da lavoura por meio de sensores ópticos ativos acoplados na máquina, considerando a posição geográfica. Tais sensores baseiam-se nas propriedades ópticas das folhas, combinando valores de reflectância do dossel de diferentes comprimentos de onda para a avaliação de uma comunidade de plantas, ao invés de plantas individuais.

Estes sensores são capazes de determinar o “Índice de vegetação” de forma rápida e não destrutiva e evidenciar a variabilidade espacial existente na lavoura (FENG et al., 2008) sem realizar contato físico com a mesma (MOLIN,

2001). Assim, permitindo orientar de forma ágil e instantânea a aplicação localizada de nitrogênio. Estudos tem demonstrado que a concentração de N em trigo, determina alterações na reflectância espectral nas folhas (FENG et al., 2008, POVH et al., 2008), as quais podem ser detectadas por estes sensores. Dessa forma, a resposta espectral torna-se um indicador importante na caracterização do estado nutricional da cultura.

Dentre os sensores utilizados para estimar as doses de N a serem aplicadas a taxa variável tem-se o N-Sensor (Yara International), que é acoplado na parte superior do aplicador e realiza um escaneamento lateral conforme a máquina vai se deslocando na lavoura. Por meio do escaneamento tem-se uma estimativa de biomassa e de clorofila presentes na área de leitura e, instantaneamente, ocorre a conversão para um índice de valor absoluto denominado “Índice de Vigor de Biomassa” que, por meio de uma curva de calibração pré estabelecida, permite que sejam determinadas as doses de nitrogênio a serem aplicadas. Em tempo real as informações são transferidas ao distribuidor de fertilizantes que realiza a aplicação a taxa variada (BRAGAGNOLO, 2010). Além do N-Sensor, outros sensores remotos têm sido utilizados, como é o caso de GreenSeeker®(NTECH..., 2009) o qual fornece o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Este índice tem sido amplamente utilizado em estudos buscando a caracterização do potencial produtivo e a definição de doses de N a serem aplicadas em trigo (POVH et. al, 2008; GROHS et al., 2009).

Com o objetivo de realizar o manejo sitio específico da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do trigo utilizando-se sensor óptico ativo, foi realizado um estudo de caso, em lavoura comercial, utilizando-se aplicação a taxa fixa e a taxa variável.

2. Material e Métodos

O trabalho foi realizado no Município de Não-Me-Toque, RS em uma Área Piloto do projeto de Agricultura de Precisão. A área possui 55,22 ha, sendo cultivada em sistema plantio direto. A variabilidade no rendimento de grãos e na fertilidade da área vem sendo mapeada ao longo dos últimos anos com algumas intervenções para correção da fertilidade sendo realizadas nesse período (última em 2011). A partir de informações de mapas de rendimento de grãos de milho (2008/2009) e trigo (2009), decidiu-se por utilizar enfoque de manejo sítio-específico de trigo por meio da aplicação de nitrogênio a taxa variável. A área foi dividida em duas glebas (Figura 1) sendo metade da área utilizada para aplicação de nitrogênio a taxa fixa (tradicional) e metade a taxa variável (sítio específico). Esta estratégia foi implementada na safra de inverno 2012. A área foi semeada com a cultivar de trigo BRS 327 da Embrapa utilizando adubação de 147 kg de DAP ha⁻¹ e 100 kg de KCl ha⁻¹ (taxa fixa). A fim de caracterizar o dossel em diferentes momentos durante o ciclo, inicialmente realizou-se leituras de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no estágio inicial da lavoura aos 16 dias após a emergência (início do afilhamento - estágio

2 segundo Feeks e Large - LARGE, 1954). Para tanto, em cada ponto utilizado historicamente para caracterização da fertilidade do solo (grid de 1 ponto por hectare) realizou-se leitura do NDVI utilizando-se o sensor óptico ativo GreenSeeker® com integração de um comprimento de leitura de 10 m. Construiu-se então o mapa de variabilidade de NDVI da área antes da aplicação de nitrogênio (Figura 2). No estágio de 6ª folha, realizou-se aplicação de N a taxa fixa e variável, dependendo da gleba definida previamente. Foi utilizada dose alvo de 150 kg de ureia ha⁻¹ (69 kg de N ha⁻¹). Foi utilizado um equipamento comercial dotado de sensor óptico ativo e capaz de fazer aplicação de N a taxa variável. A estratégia de aplicação utilizada foi a de “redistribuição de adubo”, ou seja, utilização de uma dose alvo (no caso 150 kg de ureia ha⁻¹) com aplicação desta dose na média da área a taxa variável. Na área de taxa fixa, a aplicação foi da mesma dose independente do padrão das plantas presentes na área. No momento da aplicação de N, por meio do sensor instalado no equipamento foi possível gerar mapas de N absorvido, biomassa, N recomendado e de N aplicado na área (Figura 3). Aos 23 dias após a aplicação de N (alongamento do trigo), retornou-se a área para avaliação do NDVI (por meio do GreenSeeker® e verificação da efetividade de aplicação de N sobre o crescimento

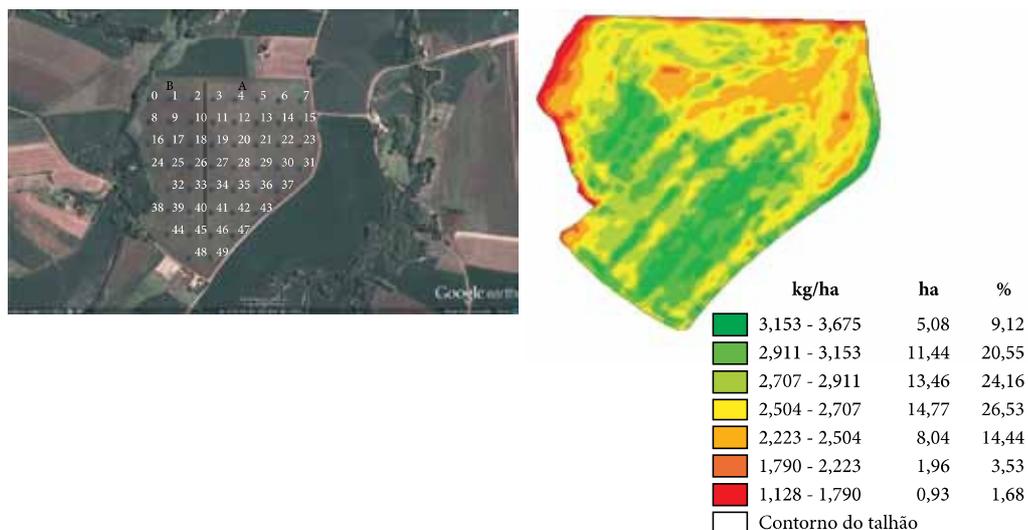


Figura 1. Área piloto com localização dos pontos de amostragem em grid de 1 ha e detalhe da divisão da área para aplicação de nitrogênio a taxa fixa (A) e variável (B) e mapa de variabilidade de rendimento de grãos da cultura de trigo safra 2009/2010. Fonte imagem aérea: Google earth (2013). Embrapa Trigo, Cotrijal, 2013.

das plantas de trigo. A estratégia utilizada foi fazer a leitura contínua de NDVI com uso de GPS acoplado ao GreenSeeker® utilizando-se as linhas de passagem do aplicador de ureia como rotas de caminhada para coleta dos dados. Os dados coletados foram processados preliminarmente gerando-se o mapa de NDVI da área (Figura 4).

No momento da colheita, foram marcados cerca de 100 pontos para coleta de amostras e avaliação do rendimento de grãos, componentes do rendimento de grãos e qualidade tecnológica do trigo. Após as diferentes avaliações, foram elaborados mapas temáticos especializados de cada variável para a área total, por meio do software ArcGis10.

3. Resultados e Discussão

A safra 2012 foi marcada por uma série de eventos meteorológicos adversos que também afetaram a Área Piloto (dados não mostrados). Merece destaque a ocorrência de vendavais que fizeram com que a cultura tivesse acamamento durante o estágio de enchimento de grãos. Também, a ocorrência de geadas tardias para a

região, ocorridas no final do mês de setembro, foram verificadas na área.

Dentre as variáveis tradicionalmente utilizadas para representar o potencial produtivo, destacam-se: o padrão de afilhamento, o nitrogênio acumulado no tecido foliar e a biomassa seca acumulada na parte aérea (WOBETO, 1994). Contudo, nos últimos anos as características óticas das plantas também passaram a ser priorizadas, visto que apresentam boa relação com o rendimento final de grãos. Os resultados de NDVI observados evidenciaram uma variação de NDVI de 0,320 a 0,472 quando este foi avaliado antes da aplicação de ureia. O Coeficiente de Variação observado nos 50 pontos amostrados foi de 7,63%.

Na Figura 2 encontra-se o mapa de NDVI da Unidade Piloto no afilhamento (1ª avaliação) mostrando a existência de variabilidade na lavoura de trigo amostrada.

A Figura 3 demonstra a variabilidade da área (biomassa e nitrogênio absorvido) no momento de aplicação da ureia em cobertura e também o nitrogênio recomendado e efetivamente aplicado pelo equipamento.

Apesar da similaridade espacial entre o N recomendado e o N aplicado (Figura 3), verificou-se, em algumas situações, diferença (ponto a ponto) entre o N recomendado e o efetivamente aplicado pelo equipamento na faixa onde se utilizou a aplicação a taxa variável. A recomendação com base no NDVI variou de 38 a 99 kg de N ha⁻¹ com média de 68,7 kg de N ha⁻¹. A quantidade de N aplicado ficou, em média, em 67,9 kg de N ha⁻¹ e a variação entre N recomendado e N aplicado ficou em - 0,75 kg de N ha⁻¹, havendo variação de + 32 kg de N ha⁻¹ até - 47 kg de N ha⁻¹ (em relação à média aplicada) dependendo do ponto de aplicação.

A Figura 4 representa a variabilidade no NDVI de trigo 23 dias após a aplicação de ureia, momento em que já é esperado efeito das doses de N aplicadas (tanto fixas como variáveis). Neste momento, os valores de NDVI, com mais de 13.000 pontos de leitura, variaram de 0,382 até 0,852, mas com valor de CV de 3,56%, abaixo do valor observado na leitura antes da aplicação de N (7,63%).

Para fins de avaliação dos valores de NDVI observados, pode-se citar os referenciais

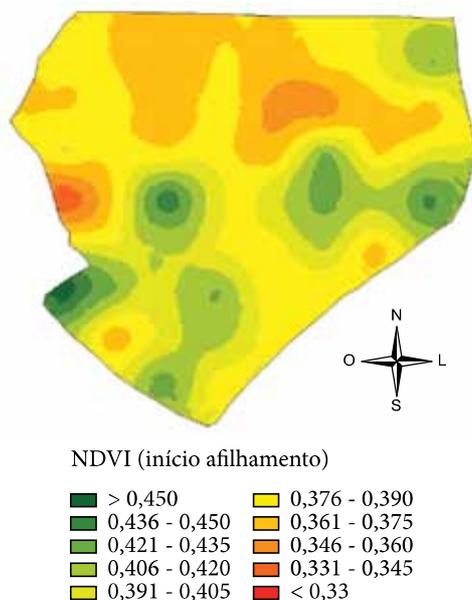


Figura 2. Mapa de variabilidade de NDVI com o sensor GreenSeeker® 16 dias após a emergência da cultura de trigo na Unidade Piloto de Não-Me-Toque, RS. Embrapa Trigo, Cotrijal, 2013.

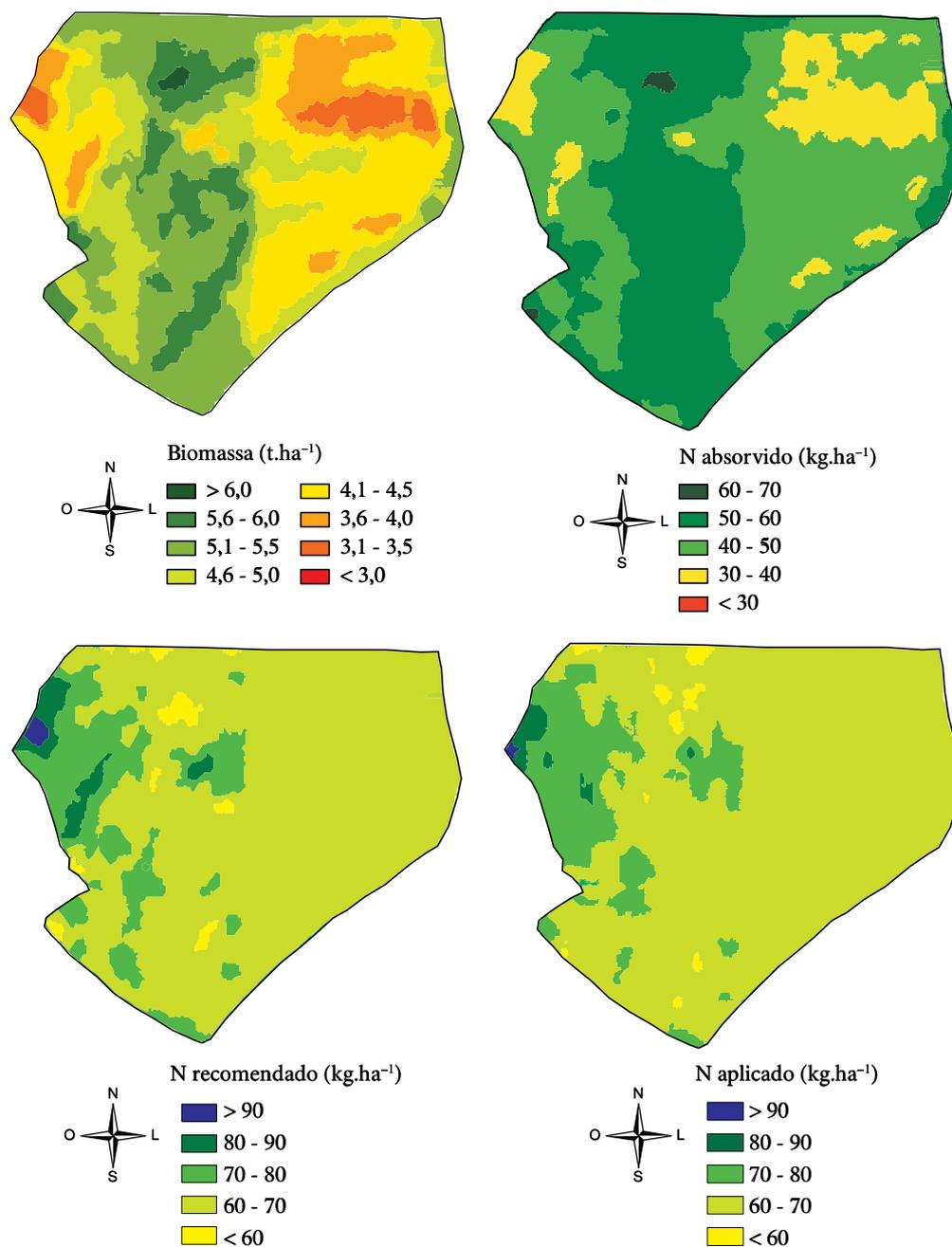


Figura 3. Mapas gerados a partir do sensor óptico ativo no momento da aplicação de nitrogênio na cultura de trigo na Unidade Ploto do município de Não-Me-Toque, RS com caracterização da variabilidade de biomassa e N absorvido e da dose de N recomendada e aplicada. Embrapa Trigo, Cotrijal, 2013.

encontrados por Grohs et al. (2009) para leituras na sexta folha de trigo. No estudo os autores indicam, para cultivo de trigo após milho, os valores de 0,13; 0,45; 0,68 e 0,80 como indicativos de lavouras com baixo, médio, alto e muito alto potencial produtivo, respectivamente. Salienta-se que estes indicadores são para sexta folha e as avaliações pós aplicação de N foram feitas após este estágio. Dentro desta realidade, é possível

verificar na Figura 4 a efetividade da aplicação de N tanto a taxa fixa quanto variável visto que a maior parte da área apresentou valores de NDVI superiores a 0,68 considerados por Grohs et al. (2009) como indicativos de lavouras de alto potencial de rendimento de grãos.

O rendimento de grãos foi avaliado por meio de amostragem da área (Tabela 1). Para tentar minimizar os efeitos dos eventos adversos (geadas e

vendavais) nos resultados de rendimento de grãos, as coletas foram direcionadas, em cada ponto, para regiões onde as plantas encontravam-se eretas e sem danos aparentes de geada. Na média dos pontos amostrados, a área com taxa fixa obteve

valores superiores (em números absolutos) a área manejada a taxa variável em todas as características avaliadas, com exceção da proteína no grão. Essa resposta pode estar associada à estratégia de aplicação e/ou a conformação das duas glebas em termos de variabilidade de outros fatores de produção que também influenciam no rendimento de grãos (topografia, nutrientes no solo, etc.).

Na Figura 5 verifica-se a variabilidade no rendimento de grãos de trigo na safra 2012 e algumas características de qualidade tecnológica de trigo (força de glúten - W e peso do hectolitro - PH). É possível identificar áreas com elevado rendimento de grãos associadas com valores de força de glúten e PH também elevados. Tais regiões da Unidade Piloto ocorreram tanto nas áreas onde foi realizada aplicação de N a taxa fixa, quanto a taxa variável, mostrando que ambas as estratégias de aplicação proporcionaram a obtenção de rendimentos de grãos e qualidade tecnológica adequados. As regiões da lavoura que apresentaram baixo rendimento de grãos e qualidade tecnológica parecem estar mais associadas à topografia onde os menores valores foram verificados nas partes mais baixas do terreno. Tal fato pode estar relacionado com a disponibilidade de outros nutrientes que não o nitrogênio e também a possível ocorrência de danos por geada visto que as áreas mais baixas

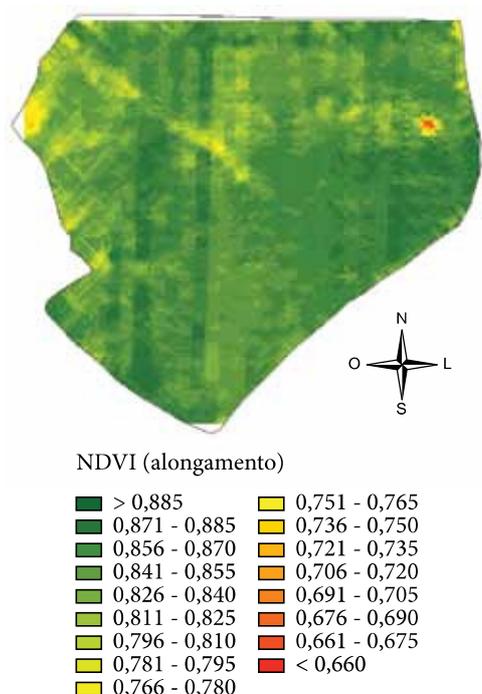


Figura 4. Mapa de variabilidade espacial de NDVI com o sensor GreenSeeker® 23 dias após a aplicação de nitrogênio (alongamento) na cultura de trigo na Unidade Piloto do município de Não-Me-Toque, RS. Embrapa Trigo, Cotrijal, 2013.

Tabela 1. Dados de rendimento de grãos e qualidade tecnológica de trigo nas amostras coletadas na Unidade Piloto de Não-Me-Toque, RS na safra 2012. Embrapa Trigo, Cotrijal, 2013.

| Avaliação | Aplicação de N a taxa fixa | | | Aplicação de N a taxa variável | | |
|--|----------------------------|--------|-------|--------------------------------|--------|-------|
| | Mínimo | Máximo | Média | Mínimo | Máximo | Média |
| Pontos amostrados (n°) | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) | 194 | 4.874 | 3.327 | 101 | 4.400 | 2.343 |
| Estatura (cm) | 92 | 112 | 103 | 87 | 109 | 101 |
| Espigas m ⁻² | 300 | 730 | 468 | 200 | 605 | 426 |
| Espiguetas m ⁻² | 3.843 | 12.118 | 6.693 | 2.560 | 9.620 | 5.973 |
| Pontos amostrados (n°) | 46 | 46 | 46 | 39 | 39 | 39 |
| Peso de mil grãos (g) | 28 | 42 | 38 | 22 | 43 | 35 |
| Peso do Hectolitro (kg hL ⁻¹) | 61 | 82 | 78 | 46 | 83 | 73 |
| Força de glúten - W (10 ⁻⁴ J) | 83 | 571 | 219 | 68 | 479 | 193 |
| Número de queda (segundos) | 120 | 393 | 281 | 62 | 471 | 263 |
| Proteína nos grãos (%) | 12 | 18 | 15 | 13 | 19 | 16 |

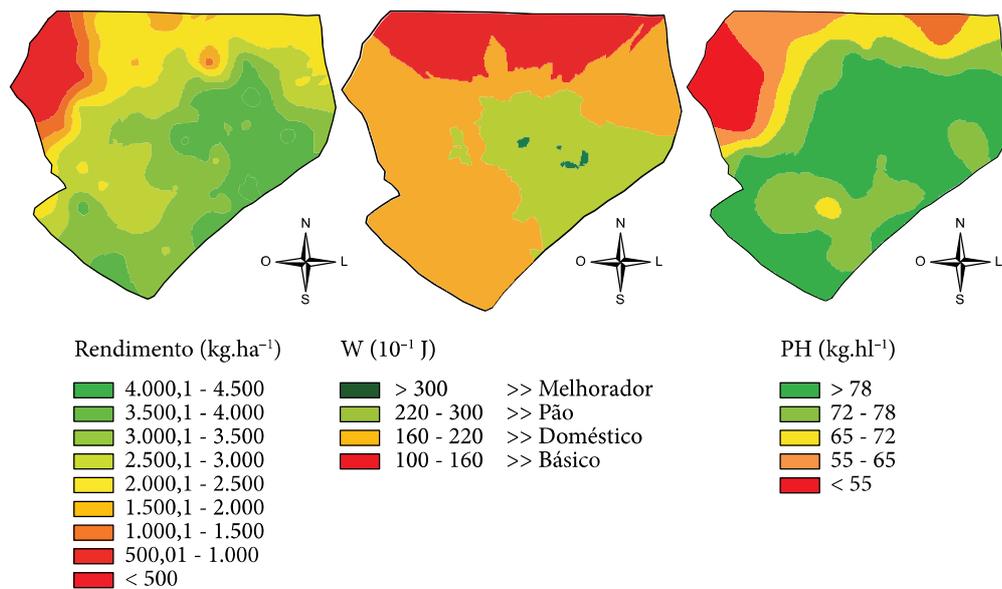


Figura 5. Mapa de variabilidade de Rendimento de grãos (kg ha⁻¹), força de glúten W (10⁻¹J) e peso do hectolitro - PH (kg.hL⁻¹) de trigo na Unidade Piloto de Não-Me-Toque, RS, 2012. Embrapa Trigo, Cotrijal, 2013.

apresentam maior potencial de ocorrência de geada.

O trigo apresenta variação quanto à suscetibilidade ao acamamento entre as cultivares disponíveis no mercado. Além do componente genético, esta característica é muito influenciada pelo ambiente, pela população de plantas e pela disponibilidade/aplicação de nitrogênio. A ocorrência de acamamento na área, apesar do uso de redutor de crescimento, mostra que este problema é complexo e remete à necessidade de ajustes nas estratégias de aplicação de N para que se possa reduzir o risco. Há possibilidade de se limitar o equipamento aplicador no sentido de que, mesmo obtendo uma leitura que indique a aplicação de N, esta seja limitada em função da dose máxima (pré-estabelecida) suportada pela cultivar para que se evite o acamamento das plantas.

Outro fato que reforça a necessidade de realização de alguns ajustes está na resposta das cultivares de trigo à dose de N para o rendimento de grãos. Sabe-se que há variação na resposta de cultivares a dose. Algumas cultivares atingem o máximo rendimento de grãos com doses menores do que outras. Dependendo da região de cultivo (altitude, regime hídrico e térmico, etc.) a resposta à dose também pode variar. Portanto, essa resposta

deveria ser considerada no manejo de N a taxa variável. Se uma cultivar/região, por exemplo, já atingiu rendimento de grãos máximo com 60 kg de N ha⁻¹ uma dose de 80 kg de N ha⁻¹ estaria sendo economicamente inviável, além de gerar impacto ambiental negativo desnecessariamente. Por outro lado, uma cultivar com resposta até 100 kg de N ha⁻¹, com a mesma dose de 80 kg de N ha⁻¹ não estaria expressando o seu máximo potencial produtivo, pois estaria sendo limitada pelo nitrogênio.

4. Considerações finais

O equipamento utilizado para aplicação a taxa variável permite agilidade e flexibilidade na variação da dose de nitrogênio aplicada, tornando-se ferramenta importante para o manejo sítio específico de nitrogênio em trigo.

A experiência realizada na Unidade Piloto de Não-Me-Toque permitiu constatar que há espaço para melhoria na estratégia de aplicação de N a taxa variável na cultura do trigo. Outros fatores, além da leitura de NDVI, podem ser levados em consideração para definição da estratégia de aplicação a taxa variável, qualificando ainda mais esta forma de aplicação. É necessário considerar uma "dose máxima" para cada cultivar ou grupo de

cultivares em função da resposta à dose e também em relação à suscetibilidade ao acamamento.

Agradecimentos

A equipe da Embrapa Trigo agradece a parceria da Cotrijal, ao produtor rural Nei Cesar Mânica pela disponibilização da área, os empregados da Fazenda Mânica, Mário Cadore e Márcio Cadore, pela condução da lavoura de trigo. Agradece-se também aos empregados da Embrapa Trigo, Cedenir Medeiros Scheer, Evandro Lampert, Elisson Pauletti, Itamar Amarante, Luís Katzwinkel, Luiz de Oliveira, Cristian Plentz e a estagiária Camila Remor, pelo auxílio na condução dos trabalhos.

Referências

- BRAGAGNOLO, J. Adubação nitrogenada à taxa variada com o N-Sensor nas culturas do milho e trigo. 2010. 110 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- 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, p. 394-404, 2008
- GOOGLE EARTH. Image © 2013 DigitalGlobe, 2013.
- GROHS, D.S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M.; POLETTO, N. C. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor GreenSeeker® Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 101-112, 2009.
- LARGE, E. C. Growth stages in cereals. *Plant Pathology*, London, v. 3, p. 128-129, 1954.
- MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: o gerenciamento da variabilidade. ESALQ/USP, 2001. 83 p.
- NTECH INDUSTRIES. GreenSeeker Manual. Disponível em: <<http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/get/document-493091>>. Acesso em: 10 out. 2012.
- POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008
- REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 6., 2012, Londrina. Informações técnicas para trigo e triticales – safra 2013. Londrina: IAPAR, 2013. 220 p.
- WOBETO, C. Padrão de afilhamento, sobrevivência de afilhos e suas relações com o rendimento de grãos em trigo. 1994. 102 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.