

Passo Fundo, RS / Julho, 2025

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL



Índices de eficiência de uso de nitrogênio baseados em teor de proteína e em rendimento de grãos de trigo

Eliana Maria Guarienti⁽¹⁾, Fabiano Daniel De Bona⁽¹⁾, Sandra Mara Vieira Fontoura⁽²⁾, Sérgio Ricardo Silva⁽³⁾, Adilson de Oliveira Junior⁽⁴⁾, Marcos Caraffa⁽⁵⁾, José Pereira da Silva Junior⁽¹⁾, Sirio Wiethölter⁽¹⁾, João Leonardo Fernandes Pires⁽¹⁾ e Gilberto Rocca da Cunha⁽¹⁾

⁽¹⁾ Pesquisadores, Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS. ⁽²⁾ Pesquisadora, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, Guarapuava, PR. ⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Florestas, Colombo, PR. ⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Soja, Londrina, PR. ⁽⁵⁾ Professor, Sociedade Educacional Três de Maio, Três de Maio, RS.

Resumo – O nitrogênio (N) é um nutriente indispensável para o crescimento e o desenvolvimento de plantas de trigo, influenciando o rendimento e a qualidade tecnológica de grãos. O aprimoramento do uso da adubação nitrogenada para melhorar estas características passa pela avaliação da eficiência de uso de N (EUN), que é complexa em função dos vários fatores envolvidos, em especial àqueles ligados à dinâmica do N no solo e aos processos de absorção, translocação e redistribuição de N na planta. Novos métodos de avaliação e/ou a revisão de métodos clássicos de EUN, podem contribuir para o entendimento do problema, bem como indicar possíveis caminhos para a melhoria da adubação nitrogenada na cultura do trigo. O objetivo deste estudo foi comparar cinco índices de eficiência de uso de N (IEUN) que empregam no cálculo, o rendimento de grãos e/ou a contribuição do teor de N (estimado a partir do teor de proteína nos grãos), e verificar a possibilidade de ocorrência de excedente de N no sistema. Os experimentos foram conduzidos em 12 ambientes, sendo seis no Paraná e seis no Rio Grande do Sul, constando de cinco estratégias de manejo de parcelamento de N, com aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N em três cultivares de trigo (BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante), no início do perfilhamento, no alongamento do colmo e na emergência da espiga, além da testemunha (sem N). O balanço parcial do N nativo e a eficiência agrônômica foram os IEUN que propiciaram as informações mais efetivas. Foi estimado excedente de N total em todos os tratamentos (de 29,5 a 106,7 kg ha⁻¹), sugerindo que o N disponibilizado não foi integralmente utilizado pelas cultivares de trigo.

Termos para indexação: *Triticum aestivum* L., fator de produtividade parcial, eficiência agrônômica, balanço de nitrogênio.

Nitrogen use efficiency indices based on wheat protein content and grain yield

Abstract – Nitrogen (N) is an indispensable nutrient for the growth and development of wheat plants, influencing grain yield and technological quality.

Embrapa Trigo
Rodovia BR-285, km 294
Caixa Postal 78
99022-100 Passo Fundo, RS
www.embrapa.br/trigo
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente

Leila Maria Costamilan

Membros

Alberto Luiz Marsaro Júnior,
Eliana Maria Guarienti, João
Leodato Nunes Maciel, João
Leonardo Fernandes Pires,
Joaquim Soares Sobrinho, Jorge
Alberto de Gouvêa, Martha
Zavariz de Miranda e Sirio
Wiethölter

Normalização bibliográfica

Graciela Olivella Oliveira
(CRB-10/1434)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcia Barrocas Moreira Pimentel

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados à Embrapa.

Improving the use of nitrogen fertilization to improve these characteristics involves evaluating the efficiency of N use (NUE), which is complex due to the various factors involved, especially those linked to the dynamics of N in the soil and the processes of absorption, translocation and redistribution of N in the plant. New evaluation methods and/or the revision of classic NUE methods can contribute to understanding the problem, as well as indicating possible ways to improve nitrogen fertilization in wheat. The aim of this study was to compare five efficiency N use indices (NUEI) that use the contribution grain yield and/or of N content (estimated from the protein content in the grains) in their calculations, and to verify the possibility of N surplus in the N system. The experiments were conducted in 12 environments, six in Paraná and six in Rio Grande do Sul, and consisted of five management strategies for N installments, with 90 kg ha⁻¹ of N applied to three wheat cultivars (BRS Guamirim, BRS Guaraim and BRS Marcante), at the start of tillering, at stem elongation and at ear emergence, as well as the control (no N). The partial balance of native N and agronomic efficiency were the NUEIs that provided the most effective information. A surplus of total N was estimated in all treatments (from 29.5 to 106.7 kg ha⁻¹), suggesting that the N made available was not fully utilized by the wheat cultivars.

Index terms: *Triticum aestivum* L., partial factor productivity, agronomic efficiency, nitrogen balance.

Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma importante matéria-prima usada para fins alimentícios e não alimentícios. A demanda nacional foi estimada em 14,7 milhões de toneladas em 2023 e considerando que a safra brasileira de trigo foi de 8,1 milhões de toneladas e exportações de 2,4 milhões de toneladas, tornou-se necessária a importação de 39,3% da demanda interna (Acompanhamento [...], 2024).

Considerando a área potencial de cultivo de trigo, no Brasil, de mais de 47,7 milhões de hectares (Projeto MapBiomas, 2023) e a ocupação, no inverno, de apenas 3,1 milhões de hectares em 2023 (Acompanhamento [...], 2024), fica evidente que entraves de natureza técnica, de comercialização e de política agrícola persistem e limitam a expansão da triticultura nacional. De acordo com Cunha et al. (2016), o cultivo de trigo no Brasil estende-se por ampla área, abrangendo regiões de zonas temperadas, subtropicais e tropicais, que vão desde o

extremo sul do país até o paralelo 11°S. No entanto, a produção de trigo está concentrada em dois estados da região sul, Paraná (PR) e Rio Grande do Sul (RS), que foram responsáveis por 40,1% e 42,9% da produção total de trigo do país, respectivamente, no ano 2023 (IBGE, 2024).

Dentre os entraves técnicos, o rendimento de grãos em níveis competitivos e a manutenção da qualidade tecnológica em regiões com interação genótipo x ambiente desfavorável configuram-se como grandes desafios, especialmente nos estados da região Sul do Brasil, conforme verificado no levantamento do rendimento de grãos e da qualidade tecnológica das safras de 2015, 2016 e 2017 realizado por Guarienti et al. (2019).

A Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale, organização que congrega instituições de pesquisa públicas e privadas e diversos representantes do setor agroindustrial tritícola, tem sugerido o emprego de diversas estratégias de manejo para melhorar o desempenho da cultura do trigo (Reunião [...], 2023). Dentre as estratégias que mais afetam o rendimento, merece destaque a disponibilização de nutrientes em quantidade adequada ao trigo. O emprego de fertilizantes aumenta, substancialmente, o custo de produção, pois este ocupou a primeira posição no custo variável do trigo no RS (27,1%) e, no PR (31,2%), em 2023 (Conab, 2024).

Entre os nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento do trigo, que compõem os fertilizantes, é ressaltado o papel do nitrogênio (N), cujas funções na planta estão ligadas à síntese de proteína, clorofila, coenzimas, fitormônios, ácidos nucleicos e metabólitos secundários (Marschner, 2012).

O Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SC) (Manual [...], 2016) e o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (Manual [...], 2017) orientam que a quantidade de fertilizante nitrogenado a ser aplicada na cultura do trigo varia em função do teor de matéria orgânica do solo, da cultura precedente (leguminosa ou gramínea) e da expectativa de rendimento de grãos da cultura. No RS e em SC, a dose de N a ser aplicada na semeadura deve variar de 15 a 20 kg ha⁻¹, sendo o restante aplicado em cobertura entre as fases de perfilhamento e alongamento do colmo. Para as doses mais elevadas de N em cobertura, pode-se optar pelo parcelamento em duas aplicações: no início do afilamento e o restante, no início do alongamento. Para expectativas de rendimento de trigo superiores a 3,0 t ha⁻¹, deve-se acrescentar 20 kg ha⁻¹ de N

(após leguminosa) e 30 kg ha⁻¹ de N (após gramínea), por tonelada adicional de grãos a ser produzida. No PR, a adubação nitrogenada deve ser realizada de modo parcelado, aplicando na semeadura de 10 a 30 kg ha⁻¹, se a cultura antecessora for soja, e de 25 a 50 kg ha⁻¹ se for milho; o restante do N é aplicado em cobertura, variando de 30 a 90 kg ha⁻¹ após soja e de 30 a 100 kg ha⁻¹ após milho.

Por se tratar de uma planta exigente em N, o trigo tem comprovada resposta à adição via adubação (Foloni et al., 2016). No entanto, a pronta resposta do trigo ao suprimento de adubo nitrogenado (aceleração das taxas de crescimento e intensificação da cor verde das folhas), típica de plantas da família Poaceae (gramíneas), nem sempre é sinônimo de alta eficiência do uso do N. Agricultores das principais regiões produtoras de trigo do Brasil relatam variações na resposta à adubação nitrogenada pelo cereal, sendo observada interferência do método de manejo do N, do solo, do ano agrícola (clima) e da cultivar semeada no aproveitamento do nutriente aportado ao solo (De Bona et al., 2016).

Entre as principais causas que contribuem para reduzir a eficiência de uso do N no trigo, atualmente, estão apontadas: o uso impróprio de doses do nutriente, podendo causar acamamento da planta se aplicado em excesso; aplicação de N em estágio de crescimento e desenvolvimento não ideal; condições meteorológicas adversas (frio intenso, baixa radiação solar, déficit ou excesso hídrico, etc.); desconhecimento das demandas de N de cada cultivar e/ou grupo homogêneo de cultivares de trigo; e a escassez de informações relevantes em relação à dinâmica de N no solo e sua absorção, translocação e distribuição nos órgãos da planta (De Bona et al., 2016; Ferreira et al., 2021, 2022; Lollato et al., 2021; Marinho et al., 2022).

Considerando estes múltiplos fatores, a solução para a melhoria da eficiência de uso de N pelo trigo é complexa porque os métodos atuais de recomendação de dose e manejo do N na cultura são pouco precisos, especialmente, devido à falta de informações mais detalhadas com relação à dinâmica do N no solo e aos processos de absorção, translocação e distribuição na planta para as diferentes cultivares modernas de trigo.

É consenso entre os pesquisadores da área de fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas, que trabalham com trigo, que contribuições expressivas e imprescindíveis para a melhoria da adubação nitrogenada em trigo necessitam de novas metodologias de pesquisa que forneçam dados mais conclusivos com relação à dinâmica de N no solo e à alocação e redistribuição de N na planta. No

entanto, revisar os métodos clássicos e de ampla aceitação na comunidade científica, sob diferentes abordagens, pode contribuir para gerar conhecimentos básicos e práticos, com potencial avanço do conhecimento da adubação nitrogenada em trigo (e em outros cereais de inverno), gerando benefícios econômicos ao produtor, ganhos de qualidade para o consumidor e redução de impactos ambientais. Neste contexto, novas análises sobre alguns índices de eficiência de uso de N (IEUN) podem se constituir em alternativas para o alcance desses objetivos.

De acordo com Fixen et al. (2015), o conceito de eficiência de uso de N é importante para avaliar sistemas de produção de culturas em termos de manejo de fertilizantes e da disponibilidade hídrica, com potencial de indicar perdas de nutrientes para o meio ambiente a partir de sistemas de cultivo.

Revisando os IEUN, Congreves et al. (2021) descreveram que estes podem ser classificados em diferentes grupos, de acordo com o foco da abordagem escolhida: no fertilizante (seis tipos de IEUN); na planta (cinco); no solo (três); na ecologia (dois); no isótopo ¹⁵N (cinco); e no sistema de cultivo (três).

Fixen et al. (2015) mostraram como cada IEUN deve ser calculado e quais os questionamentos respondidos pelo emprego do indicador, bem como demonstraram quais os usos típicos recomendados. Desta forma, os três IEUN empregados neste trabalho apresentam as seguintes características, de acordo com os autores citados:

Fator de produtividade parcial: considera a relação entre kg de grãos colhidos por kg de N aplicado. Mostra o quão responsivo é o sistema de produção comparado com a entrada de nutrientes.

Eficiência agrônômica: considera o incremento de rendimento de grãos em função da aplicação do nutriente. Investiga a melhoria na produtividade alcançada pelo aporte do nutriente e é usada como indicador de curto prazo do impacto do nutriente aplicado, na produtividade.

Balanco parcial de N: é a razão entre a quantidade de N retirado do sistema e do N aplicado. É empregado como um indicador de tendências de longo prazo e é mais útil quando combinado com informações sobre fertilidade do solo.

Melhorar a eficiência de uso de N, para garantir o aporte de N necessário ao crescimento e desenvolvimento da planta e, também, aliar a um custo de produção da lavoura compatível com a receita esperada e ao mínimo impacto negativo ao meio ambiente, é objeto de preocupação relatado em diversas publicações, tais como as de EU Nitrogen Expert Panel (Oenema et al., 2015), Fixen et al. (2015), Congreves et al. (2021) e Mălinaş et al. (2022).

Analisar um resultado de IEUN de forma isolada pode induzir a uma limitada compreensão sobre a extensão de seu significado prático, com consequente desvio no atingimento às finalidades propostas pelos autores supracitados. Desta forma, os objetivos do presente estudo foram comparar cinco índices de eficiência de uso de N, com foco no fertilizante, empregando, nos cálculos, o rendimento de grãos e a combinação de rendimento e teor de proteína nos grãos de trigo, e verificar a possibilidade de ocorrência de excedente de N no sistema.

Este trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) 2 e 12 da ONU, a saber: fome zero e agricultura sustentável e consumo e produção responsáveis, respectivamente.

Material e métodos

Os experimentos foram realizados em campo entre 2016 e 2018, em seis ambientes do RS e do PR, abrangendo diferentes regiões fisiográficas com várias condições climáticas e edáficas, conforme Tabela 1.

Em Guarapuava, os ensaios foram realizados em parceria com a Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (FAPA/Agrária); em Londrina e Ponta Grossa, com a Embrapa Soja; em Muitos Capões, com a NBN Sementes; em Três de Maio, com a Sociedade Educacional Três de Maio (Setrem); e em Vacaria, com a Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação do estado do RS. Os ensaios de Passo Fundo e de Coxilha foram conduzidos pela Embrapa Trigo.

Os dados meteorológicos dos diferentes locais e anos dos experimentos são apresentados na Tabela 2, com destaque para a ocorrência dos eventos La Niña em 2016 e 2017, e de El Niño em 2018 (Estados Unidos, 2024). Amostras de solo foram previamente coletadas na camada 0–20 cm, e os resultados das análises de argila e das propriedades químicas do solo constam na Tabela 3.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas principais consistiram das cultivares BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante. Nas subparcelas, formadas por 18 linhas de 6 metros de comprimento e espaçamento de 0,17 m entre linhas (totalizando 18,4 m² de área), foram aplicados os tratamentos de adubação nitrogenada, consistindo na aplicação de 90 kg ha⁻¹ N, na forma de nitrato de amônio, em cinco estratégias de manejo do N (EMN): EMN1 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{2}{3}$ N no perfilhamento); EMN2 ($\frac{1}{3}$ N na fase

vegetativa + $\frac{2}{3}$ N no alongamento do colmo); EMN3 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no alongamento do colmo); EMN4 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no perfilhamento + $\frac{1}{3}$ N no espigamento); EMN5 ($\frac{1}{3}$ N na fase vegetativa + $\frac{1}{3}$ N no alongamento do colmo + $\frac{1}{3}$ N no espigamento); e EMN6 (controle sem adubação nitrogenada, ou N zero). Para as aplicações fracionadas de N, foram definidos como subperíodos os seguintes intervalos: a) vegetativo: da sementeira até o aparecimento do duplo anel; b) perfilhamento: do início do período reprodutivo até o aparecimento da espiguetta terminal; c) alongamento do colmo: após a formação da espiguetta terminal até o aparecimento da folha bandeira; d) espigamento: primeiras espigas recém visíveis.

A adubação de base consistiu em correções dos teores de fósforo e de potássio incorporados ao solo no sulco de plantio, quando inadequados para o cultivo de trigo, em todos os tratamentos e ambientes. A dose total de adubação nitrogenada (90 kg ha⁻¹ de N) foi utilizada em cobertura, tendo como fonte o nitrato de amônio. A dose foi baseada nas indicações da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Manual [...], 2016), para uma expectativa de rendimento de grãos entre 5 a 6 t ha⁻¹. Os tratamentos fitossanitários foram realizados conforme necessário, seguindo as diretrizes das Informações Técnicas para Trigo e Triticale – Safra 2016 (Reunião [...], 2016). A cultura antecessora foi a soja, em todos os locais e anos.

A escolha das cultivares considerou as respostas de qualidade tecnológica, especificamente na força de glúten (W), sendo BRS Guamirim com média força de glúten, BRS Guaraim com baixa força de glúten e BRS Marcante com alta força de glúten.

O rendimento de grãos (kg ha⁻¹) foi determinado por meio da colheita das sete linhas centrais das subparcelas, o equivalente a 7,14 m² de área útil. Após a secagem, o material foi pesado e os valores foram ajustados para 13% de umidade. Amostras de grãos de cada subparcela, após moagem para obtenção de farinha integral (moinho de martelos, marca Perten, modelo 3100), foram encaminhadas para análise de teor de proteína dos grãos, quantificado por meio de espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS), em equipamento XDS Rapid Content Analyzer, marca FOSS (FOSS NIRSystems, Hoganas, Suécia), modelo XDS-RCA (XDS acoplado ao módulo Rapid Content Analyzer), de acordo com o método 39-10.01 American [...] (2010). Foi empregado o fator 5,83 (farinha integral) para conversão do teor de N em teor de proteína dos grãos.

Tabela 1. Características edafoclimáticas dos ambientes de condução dos experimentos, nos anos de 2016 a 2018, nos estados do Rio Grande do Sul (RS) e Paraná (PR).

Ambiente ⁽¹⁾		RHACT ⁽²⁾	Coordenadas geográficas		Altitude (m)	Média anual da temperatura do ar (°C)			Média anual da precipitação pluvial (mm)	Tipo de solo ⁽³⁾
Local	Ano		Latitude	Longitude		Média	Mínima	Máxima		
Coxilha, RS ⁽⁴⁾	2017	1	28°07' S	52°33' W	721	17,7	12,6	22,3	1.788	Latossolo Vermelho Distrófico típico
Guarapuava, PR	2017 e 2018	1	25°21' S	51°30' W	1.058	17,2	12,9	23,5	1.925	Latossolo Bruno Distrófico típico
Londrina, PR	2016 e 2017	3	23°11' S	51°11' W	628	21,1	16,0	27,3	1.588	Latossolo Vermelho Eutroférico
Muitos Capões, RS ⁽⁴⁾	2016	1	28°51' S	50°94' W	985	16,1	10,4	21,7	1.844	Latossolo Vermelho Distroférico típico
Passo Fundo, RS ⁽⁴⁾	2018	1	28°24' S	52°34' W	687	17,7	12,6	22,3	1.803	Latossolo Vermelho Distrófico típico
Ponta Grossa, PR	2016 e 2017	1	25°09' S	50°04' W	886	16,9	11,1	22,6	1.574	Latossolo Vermelho Distrófico típico
Três de Maio, RS	2016 e 2018	2	27°78' S	54°25' W	343	20,8	15,4	25,8	1.770	Latossolo Vermelho Distroférico típico
Vacaria, RS ⁽⁴⁾	2017	1	28°30' S	50°56' W	971	16,1	10,4	21,7	1.844	Latossolo Bruno Alumínico típico

⁽¹⁾ Classificação climática de Köppen baseada em Alvares et al. (2013): Cfa – Coxilha, Londrina, Passo Fundo e Três de Maio; Cfb – Guarapuava, Muitos Capões, Ponta Grossa e Vacaria.

⁽²⁾ Região Homogênea de Adaptação de Cultivares de Trigo: 1 – Fria e úmida; 2 – Moderadamente quente e úmida; 3 – Quente e moderadamente seca, de acordo com Cunha et al. (2016).

⁽³⁾ Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Santos et al. (2018).

⁽⁴⁾ Municípios limítrofes pertencentes ao mesmo macroambiente: Coxilha e Passo Fundo (região do Planalto Médio) e Muitos Capões e Vacaria (região dos Campos de Cima da Serra).

Tabela 2. Precipitação pluvial (Ppt) acumulada durante o período de cultivo do trigo⁽¹⁾, média das temperaturas mínimas e máximas do ar ocorridas durante a condução dos experimentos de estratégia de manejo da adubação nitrogenada, nos locais e anos de cultivo e respectivos valores normais.

Local de semeadura	Ppt acumulada (mm)				Temperatura mínima (°C)				Temperatura máxima (°C)			
	Valor normal ⁽²⁾	2016	2017	2018	Valor normal	2016	2017	2018	Valor normal	2016	2017	2018
Guarapuava, PR	690,0	–	715,2	538,0	11,4	–	10,3	10,4	22,6	–	23,4	21,8
Londrina, PR	375,6	456,6	400,4	–	13,7	12,8	13,9	–	25,3	23,4	23,4	–
Coxilha (2017) e Passo Fundo (2018), RS ⁽³⁾	771,7	–	653,5	928,9	11,3	–	11,5	11,2	21,7	–	23,2	22,2
Ponta Grossa, PR	561,4	520,4	525,4	–	11,4	10,2	12,3	–	22,5	21,5	23,4	–
Três de Maio, RS	532,6	515,2	–	496,8	12,4	11,2	–	12,0	22,6	23,4	–	23,4
Muitos Capões (2016) e Vacaria (2017), RS ⁽³⁾	604,5	664,6	559,8	–	9,7	9,1	10,9	–	20,8	20,2	22,4	–

⁽¹⁾ Período: abril-agosto. (Londrina, 2017); maio-setembro (Londrina, 2016); junho-outubro (Três de Maio); junho-novembro (Coxilha e Ponta Grossa); julho-novembro (Guarapuava e Passo Fundo); julho-dezembro (Muitos Capões); e agosto-dezembro (Vacaria).

⁽²⁾ Fonte: Guarapuava, Londrina e Ponta Grossa - Paraná (2022); Passo Fundo e Vacaria - Inmet (2022); Três de Maio (temperaturas máxima e mínima, informação de Santa Rosa, e precipitação pluvial, de Giruá) - Wrege et al. (2011).

⁽³⁾ Municípios limítrofes pertencentes ao mesmo macroambiente: Coxilha e Passo Fundo (região do Planalto Médio) e Muitos Capões e Vacaria (região dos Campos de Cima da Serra).

Tabela 3. Teor de argila e propriedades químicas do solo (camada 0–20 cm) nos diferentes locais e anos de condução dos experimentos de estratégia de manejo da adubação nitrogenada em trigo.

Ambiente de condução do experimento	Argila g dm ⁻³	pH água	P ⁽¹⁾	K ⁽²⁾	MO ⁽³⁾	Al ⁽⁴⁾	Ca ⁽⁵⁾	Mg ⁽⁶⁾
			mg dm ⁻³		%	mmol _c dm ⁻³		
Coxilha, RS, 2017	460	6,0	15	142	3,7	0,0	75,3	32,6
Guarapuava, PR, 2017	580	5,9	15	140	5,9	0,0	156,0	38,5
Guarapuava, PR, 2018	583	6,2	18	142	5,7	0,0	198,5	41,2
Londrina, PR, 2016	675	6,1	9	320	2,3	0,0	50,3	20,2
Londrina, PR, 2017	676	6,1	18	321	2,3	0,0	35,0	11,3
Muitos Capões, RS, 2016	600	5,8	31	270	5,2	0,0	101,4	38,3
Passo Fundo, RS, 2018	550	5,8	36	278	3,1	0,0	66,9	31,5
Ponta Grossa, PR, 2016	330	5,4	14	181	2,8	3,7	34,3	10,7
Ponta Grossa, PR, 2017	332	5,1	14	190	2,9	0,0	41,0	11,2
Três de Maio, RS, 2016	720	6,3	14	224	3,9	0,0	76,5	36,1
Três de Maio, RS, 2018	730	5,7	10	155	3,2	1,4	66,9	28,4
Vacaria, RS, 2017	443	6,1	6	325	4,9	0,0	71,9	42,7

(1) Fósforo. (2) Potássio. (3) Matéria orgânica. (4) Alumínio. (5) Cálcio. (6) Magnésio.

Nos cálculos dos índices de eficiência de uso de N foram usadas as seguintes definições das variáveis:

N aplicado (N_{aplic}): quantidade total de N aplicada na adubação nitrogenada (90 kg ha⁻¹).

N extraído (N_{ext}): o N extraído do solo pelas plantas de trigo e acumulado nos grãos foi calculado a partir do teor de proteína nos grãos e do rendimento de grãos (ambos a 13% de umidade), obtidos em cada parcela, sendo o valor expresso em kg ha⁻¹ de N.

N da matéria orgânica (N_{mo}): o cálculo do N disponibilizado pela matéria orgânica foi baseada na proposição de Wiethölter (2011), a qual considerando a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo e dos restos culturais de 1,5% por safra, cada 1% de matéria orgânica presente no solo possibilitaria a oferta de, em média, 15 kg ha⁻¹ de N. Para este cálculo, foram empregados os dados da Tabela 3 referentes aos teores de matéria orgânica obtidos na análise de solo, por local e ano de condução dos ensaios, e o valor foi expresso em kg ha⁻¹ de N.

N nativo (N_{nat}): os valores de N provenientes do tratamento sem aporte de N de cada ambiente foram calculados a partir do teor de proteína e do rendimento de grãos (base 13 % de umidade). O valor obtido foi expresso em kg ha⁻¹ de N.

Os IEUN foram calculados por meio de duas diferentes abordagens: a primeira, não considerando o tratamento sem aporte de N (testemunha; N = 0 kg ha⁻¹), e a segunda levando em conta a contribuição da testemunha.

1) Primeira abordagem: não considerando tratamento testemunha (N = 0 kg ha⁻¹):

Fator parcial de produtividade: FPP = R_T / N_{aplic} , calculado segundo Fixen et al. (2015).

Onde:

R_T = Rendimento de grãos obtido no tratamento (kg ha⁻¹).

N_{aplic} = N aplicado (90 kg ha⁻¹).

Balanco parcial de N aplicado: BNP_{aplic} = N_{ext} / N_{aplic} , calculado segundo Fixen et al. (2015).

Onde:

N_{ext}: N extraído dos grãos (kg ha⁻¹).

N_{aplic}: N aplicado (90 kg ha⁻¹).

Balanco parcial de N aplicado + N da matéria orgânica: BPN_(aplic + mo) = $N_{ext} / (N_{aplic} + N_{mo})$, cálculo baseado na fórmula do balanço parcial de N segundo Fixen et al. (2015).

Onde:

N_{ext}: N extraído dos grãos (kg ha⁻¹).

N_{aplic}: N aplicado (90 kg ha⁻¹).

N_{mo}: N na matéria orgânica do solo (kg ha⁻¹).

2) Segunda abordagem: levando em conta a contribuição da testemunha (N = 0 kg ha⁻¹). Foram consideradas duas formas de calcular o IEUN: a primeira, empregando o cálculo da eficiência agrônômica; e a segunda considerando outra forma de abordar o balanço parcial de N, conforme as fórmulas descritas abaixo:

Eficiência agrônômica (EA): $EA = (R_T - R_{T0}) / N_{aplic}$, calculado segundo Fixen et al. (2015).

Onde:

R_T : Rendimento de grãos obtido no tratamento com N (kg ha^{-1}).

R_{T0} : Rendimento de grãos obtido no tratamento testemunha ($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$)

N_{aplic} : N aplicado (90 kg ha^{-1}).

Balço parcial de N aplicado + N nativo:

$BPN_{(aplic + nat)} = N_{ext} / (N_{aplic} + N_{nat})$, cálculo baseado na fórmula do balanço parcial de N segundo Fixen et al. (2015).

Onde:

N_{ext} : N extraído dos grãos (kg ha^{-1}).

N_{aplic} : N aplicado (90 kg ha^{-1}).

N_{nat} : N nativo (kg ha^{-1}).

Como procedimento de investigação científica de caráter indireto, foi usado o método comparativo de pesquisa (Fachin, 2005; Coelho, 2022), no qual foram buscadas relações de semelhança e, principalmente, de disparidade entre os IEUN estudados, comparando-se pares de índices, em níveis crescentes de complexidade de informações fornecidas por cada par, com o objetivo de ressaltar novas interpretações sobre o emprego de IEUN com foco no fertilizante.

Saldo de nitrogênio no sistema

É importante ressaltar que este trabalho não foi delineado com o objetivo de mostrar, efetivamente, quais foram as fontes de N as plantas utilizaram, nem as quantidades de cada uma. Para melhor compreensão do que representaria, de maneira hipotética, o “excedente de N no sistema”, foi realizado o cálculo do saldo de N, considerando a contribuição do N nativo e do N adicionado, como fontes principais de N para as plantas.

Foram calculados dois tipos de saldo: (1) saldo de N1: calculado pela diferença entre o total de N disponível para as plantas por meio do N_{nat} (obtido a partir da testemunha $N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$ e o N recuperado em cada EMN (N_{ext}) e (2) saldo de N2: calculado pela diferença entre N_{nat} somado aos 90 kg ha^{-1} aplicados em cobertura e o N_{ext} .

Resultados e discussão

Rendimento de grãos e teor de proteína nos grãos

Para melhor compreensão dos quantitativos envolvidos foram apresentados na Tabela 4, o rendimento de grãos e, na Tabela 5, o teor de proteína dos grãos.

Dados de rendimento de grãos apresentados na Tabela 4 mostraram que, em 66,7% das 36 combinações (três genótipos x 12 ambientes), a testemunha ($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$) apresentou rendimento superior a 3 t ha^{-1} , valor de referência empregado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Manual [...] (2016) para seleção de dose de N com o objetivo de maximizar o rendimento de grãos. Destacando-se, nas três cultivares avaliadas, rendimentos de grãos superiores a 4 t ha^{-1} em Três de Maio (2016) e 5 t ha^{-1} em Guarapuava (2018), mesmo sem aporte de N. Associado a isso, a dose total de N de 90 kg ha^{-1} , empregada para atender à expectativa de rendimento de grãos entre 5 a 6 t ha^{-1} , foi efetiva apenas na cultivar BRS Marcante em Muitos Capões (2016) nas estratégias de manejo de N 1 e 2, e em BRS Guaraim em Três de Maio (2016) nas EMN 1 a 5. Em Guarapuava (2018), as três cultivares apresentaram rendimentos de grãos acima de 5 t ha^{-1} em todos os tratamentos [incluindo a testemunha ($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$)]. Estes resultados divergem do esperado, quando são seguidas as diretrizes do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Manual [...], 2016), o que sugere a necessidade de reavaliar as orientações de adubação nitrogenada em trigo.

Teores de proteína nos grãos, apresentados na Tabela 5, mostraram que, à exceção da cultivar BRS Marcante em Muitos Capões e BRS Guamirim em Londrina (2017) com teor de proteína classificado, segundo Willians et al. (1988), como “baixo” (9,1 a 11,5%), nos demais ambientes os percentuais obtidos na testemunha ($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$) foram classificados como de médio teor de proteína (11,6 a 13,5%), alto teor (13,6 a 15,5%) a muito alto (15,6 a 17,5%), mostrando o potencial da contribuição do N nativo nesta característica de qualidade.

Índices de eficiência de uso de nitrogênio

Considerando que, nos experimentos, foram atendidos os requisitos estabelecidos por Fixen et al. (2015), no que se refere ao emprego de práticas adequadas de manejo e de disponibilização de potássio e fósforo em níveis adequados no solo para o cultivo de trigo, foram empregados os limites estabelecidos por estes autores, que classificaram os valores obtidos em cada IEUN em três categorias: intervalo de valores típicos desejados, abaixo e acima destes valores.

Tabela 4. Rendimento de grãos (em kg ha⁻¹) das cultivares de trigo BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante em diferentes ambientes (locais e anos de condução dos ensaios) e estratégias de manejo de nitrogênio. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2025.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾						Média
	EMN1	EMN2	EMN3	EMN4	EMN5	EMN6	
Guarapuava, 2017							
BRS Guamirim	3.871	3.540	3.890	4.055	3.381	3.277	3.669
BRS Guaraim	3.958	3.692	4.117	3.308	4.127	2.919	3.687
BRS Marcante	4.918	4.241	4.824	4.700	4.834	3.876	4.565
Média	4.249	3.824	4.277	4.021	4.114	3.357	CV⁽²⁾: 19,0
Guarapuava, 2018							
BRS Guamirim	5.536	5.605	5.676	5.480	5.369	5.472	5.523
BRS Guaraim	6.051	6.130	6.106	5.687	5.978	5.460	5.902
BRS Marcante	5.932	5.743	5.878	5.995	6.120	5.874	5.924
Média	5.839	5.826	5.887	5.721	5.822	5.602	CV: 4,3
Coxilha, 2017							
BRS Guamirim	2.704	3.057	3.064	2.845	2.912	2.399	2.830
BRS Guaraim	3.141	2.982	3.355	3.207	3.368	2.305	3.060
BRS Marcante	2.597	2.623	2.775	2.815	2.802	2.472	2.681
Média	2.814	2.887	3.065	2.956	3.027	2.392	CV: 15,8
Passo Fundo, 2018							
BRS Guamirim	3.110	3.362	3.451	3.209	3.542	3.025	3.283
BRS Guaraim	4.629	4.901	4.784	4.740	4.807	3.552	4.569
BRS Marcante	4.431	4.266	4.650	4.555	4.429	3.749	4.347
Média	4.056	4.176	4.295	4.168	4.259	3.442	CV: 10,7
Ponta Grossa, 2016							
BRS Guamirim	3.428	4.952	3.419	3.222	3.323	2.535	3.480
BRS Guaraim	4.541	4.855	4.638	4.683	4.397	3.371	4.414
BRS Marcante	4.627	4.975	4.999	4.943	4.562	4.243	4.725
Média	4.199	4.927	4.352	4.283	4.094	3.383	CV: 17,1
Ponta Grossa, 2017							
BRS Guamirim	3.849	3.777	3.652	3.616	3.801	3.462	3.693
BRS Guaraim	4.520	4.516	4.464	4.463	4.171	4.030	4.361
BRS Marcante	4.120	4.184	4.377	4.262	4.247	4.067	4.210
Média	4.163	4.159	4.164	4.114	4.073	3.853	CV: 6,8
Muitos Capões, 2016							
BRS Guamirim	3.898	3.694	3.737	3.414	3.127	1.807	3.280
BRS Guaraim	3.779	4.332	4.053	3.790	3.759	2.018	3.622
BRS Marcante	5.202	5.159	4.963	4.436	4.645	2.299	4.451
Média	4.293	4.395	4.251	3.880	3.844	2.042	CV: 24,1
Vacaria, 2017							
BRS Guamirim	2.097	1.804	1.642	1.775	1.869	1.257	1.741
BRS Guaraim	3.164	3.088	2.834	2.811	2.814	1.942	2.775
BRS Marcante	3.386	3.610	3.383	3.036	3.387	1.865	3.111
Média	2.882	2.834	2.620	2.540	2.690	1.688	CV: 23,0

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾						Média
	EMN1	EMN2	EMN3	EMN4	EMN5	EMN6	
Três de Maio, 2016							
BRS Guamirim	4.723	4.923	4.936	4.687	4.703	4.403	4.729
BRS Guaraim	5.547	5.759	5.570	5.632	5.394	4.751	5.442
BRS Marcante	4.860	4.998	4.922	5.118	5.157	4.345	4.900
Média	5.044	5.227	5.143	5.146	5.085	4.500	CV: 7,2
Três de Maio, 2018							
BRS Guamirim	3.294	3.606	3.402	3.464	3.724	3.417	3.484
BRS Guaraim	4.542	4.659	4.595	4.515	4.457	3.718	4.414
BRS Marcante	2.617	3.192	3.089	3.234	3.282	3.495	3.151
Média	3.484	3.819	3.695	3.738	3.821	3.544	CV: 9,3
Londrina, 2016							
BRS Guamirim	3.070	2.335	2.815	3.223	3.705	2.689	2.973
BRS Guaraim	3.825	3.313	3.743	2.846	4.032	4.077	3.639
BRS Marcante	3.603	3.210	3.570	3.588	4.233	3.604	3.635
Média	3.499	2.952	3.376	3.219	3.990	3.457	CV: 22,5
Londrina, 2017							
BRS Guamirim	4.360	4.107	4.269	4.215	3.994	3.577	4.087
BRS Guaraim	4.433	4.265	4.383	4.063	4.575	3.726	4.241
BRS Marcante	3.406	3.466	3.466	3.572	3.874	3.332	3.519
Média	4.066	3.946	4.040	3.950	4.147	3.545	CV: 7,8

Média geral = 3.948 kg ha⁻¹.

⁽¹⁾ EMN1 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no perfilhamento); EMN2 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no alongamento do colmo); EMN3 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no alongamento do colmo); EMN4 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no espigamento); EMN5 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no alongamento do colmo + 1/3 N no espigamento); e EMN6 (sem adubação com N).

⁽²⁾ Coeficiente de variação do ensaio, em %.

Tabela 5. Teor de proteína nos grãos* (em %, base seca) das cultivares de trigo BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante em diferentes ambientes (locais e anos de condução dos ensaios) e estratégias de manejo de nitrogênio. Empresa Trigo, Passo Fundo, RS, 2025.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /teor de proteína nos grãos						Média ⁽²⁾
	EMN1	EMN2	EMN3	EMN4	EMN5	EMN6	
Guarapuava, 2017							
RS Guamirim	16,8	17,3	17,0	16,9	17,4	14,9	16,7
RS Guaraim	16,0	15,9	15,6	15,8	15,7	15,0	15,7
RS Marcante	15,2	15,7	15,6	15,5	15,9	13,9	15,3
Média	16,0	16,3	16,1	16,1	16,3	14,6	CV⁽³⁾: 4,4
Guarapuava, 2018							
RS Guamirim	16,4	16,4	16,3	16,7	16,5	14,6	16,2
RS Guaraim	14,6	14,9	14,8	15,0	15,3	13,3	14,6
RS Marcante	14,5	14,2	14,1	14,7	14,6	12,9	14,2
Média	15,2	15,1	15,1	15,5	15,5	13,6	CV: 5,5

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /teor de proteína nos grãos						
	EMN1	EMN2	EMN3	EMN4	EMN5	EMN6	Média ⁽²⁾
Coxilha, 2017							
RS Guamirim	15,4	16,2	16,7	16,4	17,0	16,3	16,3
RS Guaraim	15,4	15,8	15,4	15,7	15,9	14,6	15,5
RS Marcante	15,3	17,2	16,3	16,4	17,0	14,0	16,0
Média	15,4	16,4	16,1	16,2	16,6	15,9	CV: 5,8
Passo Fundo, 2018							
RS Guamirim	15,5	15,7	15,8	15,4	15,1	14,9	15,4
RS Guaraim	13,5	13,7	13,3	13,4	13,8	13,1	13,5
RS Marcante	13,6	13,8	14,0	13,9	14,0	13,0	13,7
Média	14,2	14,4	14,4	14,2	14,3	13,7	CV: 3,6
Ponta Grossa, 2016							
RS Guamirim	15,0	15,2	14,9	15,5	15,7	13,7	15,0
RS Guaraim	13,8	14,1	13,8	14,5	14,3	13,0	13,9
RS Marcante	13,6	13,8	13,8	14,4	14,2	12,8	13,8
Média	14,1	14,4	14,2	14,8	14,7	13,2	CV: 4,5
Ponta Grossa, 2017							
RS Guamirim	16,9	17,6	17,3	17,3	17,4	16,7	17,2
RS Guaraim	15,4	14,8	15,7	15,6	16,1	14,9	15,4
RS Marcante	15,6	15,7	15,2	15,5	15,8	14,0	15,3
Média	16,0	16,0	16,1	16,2	16,4	15,2	CV: 5,0
Muitos Capões, 2016							
RS Guamirim	13,9	15,2	14,0	15,4	16,7	15,0	15,0
RS Guaraim	12,5	13,7	13,8	14,7	15,2	13,1	13,8
RS Marcante	10,7	11,6	11,1	12,6	13,1	11,4	11,7
Média	12,4	13,5	13,0	14,2	15,0	13,2	CV: 5,0
Vacaria, 2017							
RS Guamirim	17,1	17,5	17,9	18,0	18,0	16,7	17,5
RS Guaraim	14,7	14,6	15,0	14,9	15,0	14,2	14,7
RS Marcante	14,3	14,2	14,6	15,5	15,4	13,5	14,6
Média	15,4	15,4	15,8	16,1	16,1	14,8	CV: 4,8
Três de Maio, 2016							
RS Guamirim	14,3	15,8	15,1	15,7	16,1	13,6	15,1
RS Guaraim	13,6	13,4	13,5	13,9	13,8	11,7	13,3
RS Marcante	13,7	14,0	13,8	14,5	14,3	11,9	13,7
Média	13,8	14,4	14,1	14,7	14,7	12,4	CV: 6,5
Três de Maio, 2018							
RS Guamirim	15,5	15,9	15,9	15,7	15,7	14,3	15,5
RS Guaraim	14,2	14,5	14,4	14,4	14,5	13,4	14,2
RS Marcante	15,5	15,4	15,3	14,3	15,2	12,9	14,8
Média	15,1	15,3	15,2	14,8	15,1	13,5	CV: 4,7

Continua...

Tabela 5. Continuação.

Cultivar	Estratégia de manejo de nitrogênio ⁽¹⁾ /teor de proteína nos grãos						
	EMN1	EMN2	EMN3	EMN4	EMN5	EMN6	Média ⁽²⁾
Londrina, 2016							
RS Guamirim	17,2	17,7	17,4	17,4	16,9	16,3	17,1
RS Guaraim	15,9	16,4	16,1	16,7	15,9	14,4	15,9
RS Marcante	16,5	16,6	16,4	16,4	16,4	14,6	16,1
Média	16,5	16,9	16,6	16,8	16,4	15,1	CV: 4,8
Londrina, 2017							
RS Guamirim	12,5	14,0	13,5	13,7	12,9	11,5	13,0
RS Guaraim	14,0	13,4	13,0	12,9	13,9	12,0	13,2
RS Marcante	13,1	14,1	14,2	13,8	13,8	14,0	13,8
Média	13,2	13,8	13,6	13,5	13,5	12,5	CV: 9,5
Média geral = 14,9% (base seca).							

*Fonte: Adaptado de Guarienti et al. (2024).

⁽¹⁾ EMN1 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no perfilhamento); EMN2 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no alongamento do colmo); EMN3 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no alongamento do colmo); EMN4 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no espigamento); EMN5 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no alongamento do colmo + 1/3 N no espigamento); e EMN6 (sem adubação com N).

⁽²⁾ Coeficiente de variação do ensaio, em %.

1º IEUN que não considera tratamento testemunha (N = 0 kg ha⁻¹):

Fator de produtividade parcial (FPP)

Fixen et al. (2015) estabeleceram, como intervalo típico desejado do FPP, os situados entre 40 e 90, ou seja, o equivalente a 40 e 90 kg de grãos colhidos por kg de nutriente aplicado. Valores iguais ou inferiores a 39 sugerem solos menos responsivos ou a aplicação excessiva de N que não está sendo aproveitado pelas plantas. Valores acima de 91 preconizam que o suprimento de N está limitando a produtividade.

Na Tabela 6 observou-se que, das 60 combinações (cinco EMN e 12 ambientes), as cultivares apresentaram respostas diferenciadas no FPP, tendo BRS Guaraim e BRS Marcante os maiores percentuais nos valores típicos esperados com, respectivamente, 78,3 e 70,0%, contrastando com baixos valores esperados de FPP, de 21,7 e 30,0%, respectivamente. BRS Guamirim apresentou 50,0% dos valores dentro do esperado, e 50,0%, baixos FPPs.

Considerando todas as EMN em um mesmo ambiente, com resultados dentro da faixa esperada, a cultivar BRS Guaraim foi a mais responsiva em 66,7% dos ambientes, seguida das cultivares BRS Marcante (58,3%) e BRS Guamirim (33,3%). Quando todas as EMN apresentaram baixo FPP, 25,0% dos ambientes foram enquadrados nesta situação

para a cultivar BRS Guamirim e 16,7% para as cultivares BRS Guaraim e BRS Marcante.

Balanço parcial de N - 90 kg ha⁻¹ de N (BPN_{aplic})

Na Tabela 6 observou-se que, das 60 combinações, os genótipos apresentaram respostas diferenciadas no BPN_{aplic}: Na cultivar BRS Guamirim, 46,7% dos tratamentos apresentaram valores dentro da faixa esperada de BPN_{aplic}: 8,3% abaixo e 45,0% com altos valores; com as cultivares BRS Guaraim e BRS Marcante, os maiores percentuais foram obtidos com altos BPN_{aplic} com, respectivamente, 65,0 e 60,0%, e os valores dentro do esperado no BPN_{aplic} responderam por 35,0 e 40,0%, respectivamente.

Considerando os ambientes de cultivo e todas as EMN com resultados dentro da faixa esperada, a cultivar BRS Marcante obteve o mais alto percentual (33,3%), seguida das cultivares BRS Guamirim (25,0%) e BRS Guaraim (16,7%). Quando todas as EMN apresentaram alto BPN_{aplic}, 50,0% dos ambientes foram enquadrados nesta situação para as cultivares BRS Guaraim e BRS Marcante e 33,3% em BRS Guamirim.

Segundo Fixen et al. (2015), quantitativos de BPN (equivalentes a kg de N que estão sendo extraídos do sistema comparativamente ao N que está sendo aplicado, neste trabalho equivalente a 90 kg ha⁻¹) situados entre 0,7 e 0,9 constituem-se em valores típicos desejados. Valores iguais ou inferiores a 0,6 indicam que mudanças no manejo podem melhorar

a eficiência ou que a fertilidade do solo deve estar sendo incrementada, e valores maiores ou iguais a 1,0 sugerem que a fertilidade do solo pode estar em declínio.

Comparação FPP vs BPN_{aplic}

Estes dois IEUN apresentaram respostas aparentemente contraditórias, sob alguns aspectos,

apesar de serem concebidos com diferentes objetivos: o FPP mostrou predomínio de tratamentos dentro da faixa de valores típicos esperados (66,1%), enquanto que, no BPN_{aplic}, estes percentuais foram menos expressivos (40,6%); considerando os valores fora da faixa ideal, o FPP mostrou maior percentual de valores abaixo de 40 (33,9%), que sugerem solos menos responsivos ou aplicação excessiva

Tabela 6. Índices de eficiência de uso de nitrogênio (N) obtidos das cultivares de trigo BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante em diferentes ambientes (locais e anos de condução dos ensaios) e estratégias de manejo de nitrogênio. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2025.

Local	EMN ⁽¹⁾	Índice de eficiência de uso de nitrogênio									
		FPP ⁽²⁾		BPN ⁽³⁾				EA ⁽⁶⁾		BPN _(aplic+nat) ⁽⁷⁾	
		Ano 1 ⁽⁸⁾	Ano 2 ⁽⁹⁾	Aplic ⁽⁴⁾		(N _{aplic+mo}) ⁽⁵⁾		Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
BRS Guamirim											
Guarapuava	1	43	62	1,1	1,5	0,5	0,8	7	1	0,6	0,6
	2	39	62	1,0	1,5	0,5	0,8	3	1	0,6	0,7
	3	43	63	1,1	1,5	0,6	0,8	7	2	0,6	0,7
	4	45	61	1,1	1,5	0,6	0,8	9	0	0,6	0,7
	5	38	60	1,0	1,5	0,5	0,8	1	-1	0,5	0,6
Coxilha e Passo Fundo ⁽¹⁰⁾	1	30	35	0,7	0,8	0,4	0,5	3	1	0,4	0,5
	2	34	37	0,8	0,9	0,5	0,6	7	4	0,5	0,5
	3	34	38	0,8	0,9	0,5	0,6	7	5	0,5	0,5
	4	32	36	0,8	0,8	0,5	0,5	5	2	0,5	0,5
	5	32	39	0,8	0,9	0,5	0,6	6	6	0,5	0,5
Ponta Grossa	1	38	43	0,9	1,1	0,6	0,7	10	4	0,5	0,6
	2	55	42	1,2	1,1	0,9	0,7	27	4	0,8	0,6
	3	38	41	0,8	1,0	0,6	0,7	10	2	0,5	0,5
	4	36	40	0,8	1,0	0,6	0,7	8	2	0,5	0,5
	5	37	42	0,9	1,1	0,6	0,7	9	4	0,5	0,6
Muitos Capões e Vacaria ⁽¹⁰⁾	1	43	23	0,9	0,6	0,5	0,3	23	9	0,6	0,4
	2	41	20	0,9	0,5	0,5	0,3	21	6	0,6	0,4
	3	42	18	0,9	0,5	0,5	0,3	21	4	0,6	0,4
	4	38	20	0,9	0,5	0,5	0,3	18	6	0,6	0,4
	5	35	21	0,9	0,6	0,5	0,3	15	7	0,6	0,4
Três de Maio	1	52	37	1,1	0,8	0,7	0,6	4	-1	0,6	0,5
	2	55	40	1,3	1,0	0,8	0,6	6	2	0,6	0,5
	3	55	38	1,2	0,9	0,7	0,6	6	0	0,6	0,5
	4	52	38	1,2	0,9	0,7	0,6	3	1	0,6	0,5
	5	52	41	1,3	1,0	0,8	0,6	3	3	0,6	0,5
Londrina	1	34	48	0,9	0,9	0,6	0,7	4	9	0,5	0,5
	2	26	46	0,7	1,0	0,5	0,7	-4	6	0,4	0,6
	3	31	47	0,8	1,0	0,6	0,7	1	8	0,5	0,6
	4	36	47	0,9	1,0	0,7	0,7	6	7	0,5	0,6
	5	41	44	1,0	0,9	0,8	0,6	11	5	0,6	0,5

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Local	EMN ⁽¹⁾	Índice de eficiência de uso de nitrogênio									
		FPP ⁽²⁾		BPN ⁽³⁾				EA ⁽⁶⁾		BPN _(aplic+nat) ⁽⁷⁾	
				Aplic ⁽⁴⁾		(N _{aplic+mo}) ⁽⁵⁾					
		Ano 1 ⁽⁸⁾	Ano 2 ⁽⁹⁾	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
BRS Guaraim											
Guarapuava	1	44	67	1,1	1,5	0,5	0,8	12	7	0,6	0,7
	2	41	68	1,0	1,5	0,5	0,8	9	7	0,6	0,7
	3	46	68	1,1	1,5	0,5	0,8	13	7	0,6	0,7
	4	37	63	0,9	1,4	0,4	0,7	4	3	0,5	0,6
	5	46	66	1,1	1,5	0,5	0,8	13	6	0,6	0,7
Coxilha e Passo Fundo	1	35	51	0,8	1,0	0,5	0,7	9	12	0,5	0,6
	2	33	54	0,8	1,1	0,5	0,7	8	15	0,5	0,6
	3	37	53	0,9	1,1	0,5	0,7	12	14	0,5	0,6
	4	36	53	0,8	1,1	0,5	0,7	10	13	0,5	0,6
	5	37	53	0,9	1,1	0,5	0,7	12	14	0,6	0,6
Ponta Grossa	1	50	50	1,0	1,2	0,7	0,8	13	6	0,6	0,6
	2	54	50	1,1	1,1	0,8	0,7	16	5	0,7	0,6
	3	52	50	1,1	1,2	0,7	0,8	14	5	0,6	0,6
	4	52	50	1,1	1,2	0,8	0,8	15	5	0,7	0,6
	5	49	46	1,0	1,1	0,7	0,8	11	2	0,6	0,6
Muitos Capões e Vacaria	1	42	35	0,8	0,8	0,4	0,4	20	14	0,5	0,5
	2	48	34	1,0	0,7	0,5	0,4	26	13	0,7	0,5
	3	45	31	0,9	0,7	0,5	0,4	23	10	0,6	0,5
	4	42	31	0,9	0,7	0,5	0,4	20	10	0,6	0,5
	5	42	31	0,9	0,7	0,5	0,4	19	10	0,7	0,5
Três de Maio	1	62	50	1,3	1,1	0,8	0,7	9	9	0,7	0,6
	2	64	52	1,3	1,1	0,8	0,7	11	10	0,7	0,6
	3	62	51	1,2	1,1	0,8	0,7	9	10	0,6	0,6
	4	63	50	1,3	1,1	0,8	0,7	10	9	0,7	0,6
	5	60	50	1,2	1,1	0,7	0,7	7	8	0,6	0,6
Londrina	1	43	49	1,0	1,0	0,7	0,7	-3	8	0,5	0,6
	2	37	47	0,9	0,9	0,7	0,7	-8	6	0,5	0,5
	3	42	49	0,9	0,9	0,7	0,7	-4	7	0,5	0,5
	4	32	45	0,9	0,9	0,6	0,6	-14	4	0,4	0,5
	5	45	51	1,1	1,1	0,8	0,8	-1	9	0,5	0,6
BRS Marcante											
Guarapuava	1	55	66	1,2	1,4	0,6	0,7	12	1	0,7	0,6
	2	47	64	1,1	1,4	0,6	0,7	4	-1	0,6	0,6
	3	54	65	1,2	1,4	0,6	0,7	11	0	0,7	0,6
	4	52	67	1,2	1,5	0,6	0,7	9	1	0,6	0,6
	5	54	68	1,3	1,5	0,6	0,8	11	3	0,7	0,7

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Local	EMN ⁽¹⁾	Índice de eficiência de uso de nitrogênio									
		FPP ⁽²⁾		BPN ⁽³⁾				EA ⁽⁶⁾		BPN _(aplic+nat) ⁽⁷⁾	
		Ano 1 ⁽⁸⁾	Ano 2 ⁽⁹⁾	Aplic ⁽⁴⁾		(N _{aplic+mo}) ⁽⁵⁾		Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
Ano 1	Ano 2			Ano 1	Ano 2						
Coxilha e Passo Fundo	1	29	49	0,7	1,0	0,4	0,7	1	8	0,4	0,6
	2	29	47	0,7	1,0	0,5	0,6	2	6	0,5	0,5
	3	31	52	0,7	1,1	0,5	0,7	3	10	0,5	0,6
	4	31	51	0,8	1,0	0,5	0,7	4	9	0,5	0,6
	5	31	49	0,8	1,0	0,5	0,7	4	8	0,5	0,6
Ponta Grossa	1	51	46	1,0	1,1	0,7	0,7	4	1	0,5	0,5
	2	55	46	1,1	1,1	0,8	0,7	8	1	0,6	0,6
	3	56	49	1,1	1,1	0,8	0,7	8	3	0,6	0,6
	4	55	47	1,2	1,1	0,8	0,7	8	2	0,6	0,6
	5	51	47	1,1	1,1	0,7	0,7	4	2	0,6	0,6
Muitos Capões e Vacaria	1	58	38	0,9	0,8	0,5	0,4	32	17	0,6	0,6
	2	57	40	1,0	0,8	0,5	0,5	32	19	0,7	0,6
	3	55	38	0,9	0,8	0,5	0,5	30	17	0,6	0,6
	4	49	34	0,9	0,8	0,5	0,4	24	13	0,6	0,5
	5	52	38	1,0	0,9	0,5	0,5	26	17	0,7	0,6
Três de Maio	1	54	29	1,1	0,7	0,7	0,4	6	-10	0,6	0,4
	2	56	35	1,2	0,8	0,7	0,5	7	-3	0,6	0,5
	3	55	34	1,1	0,8	0,7	0,5	6	-5	0,6	0,4
	4	57	36	1,2	0,8	0,7	0,5	9	-3	0,7	0,4
	5	57	36	1,2	0,8	0,7	0,5	9	-2	0,7	0,5
Londrina	1	40	38	1,0	0,7	0,7	0,5	0	1	0,5	0,4
	2	36	39	0,9	0,8	0,6	0,6	-4	1	0,5	0,5
	3	40	39	1,0	0,8	0,7	0,6	0	1	0,5	0,5
	4	40	40	1,0	0,8	0,7	0,6	0	3	0,5	0,5
	5	47	43	1,2	0,9	0,8	0,6	7	6	0,6	0,5

⁽¹⁾ EMN1 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no perfilhamento); EMN2 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no alongamento do colmo); EMN3 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no alongamento do colmo); EMN4 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no espigamento); EMN5 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no alongamento do colmo + 1/3 N no espigamento).

⁽²⁾ Fator de produtividade parcial.

⁽³⁾ Balanço parcial de nitrogênio

⁽⁴⁾ Balanço parcial de nitrogênio (N aplicado = 90 kg ha⁻¹).

⁽⁵⁾ Balanço de nitrogênio considerando o N aplicado e o N estimado da matéria orgânica do solo.

⁽⁶⁾ Eficiência agrônômica.

⁽⁷⁾ Balanço de nitrogênio considerando o N aplicado e o N obtido no tratamento zero N (nativo).

⁽⁸⁾ Ano 1: 2016 (Londrina, Ponta Grossa, Três de Maio e Muitos Capões); 2017 (Guarapuava e Coxilha).

⁽⁹⁾ Ano 2: 2017 (Londrina, Ponta Grossa, Vacaria); 2018 (Guarapuava, Passo Fundo e Três de Maio).

⁽¹⁰⁾ Municípios limítrofes pertencentes ao mesmo macroambiente: Coxilha e Passo Fundo (região "Planalto Médio") e Muitos Capões e Vacaria (região "Campos de Cima da Serra").

■ - Valor esperado de IEUN de acordo com Fixen et al. (2015): FPP = 40 a 90; BN = 0,7 a 0,9; EA = 15 a 30. ■ - Valor abaixo do esperado de IEUN de acordo com Fixen et al. (2015): FPP ≤ 39; BN ≤ 0,6; EA ≤ 14. ■ - Valor acima do esperado de IEUN de acordo com Fixen et al. (2015): FPP ≥ 91; BN: ≥ 1,0; EA ≥ 31.

de N que não está sendo aproveitado pelas plantas (Fixen et al., 2015), enquanto que, no BPN_{aplic} , os maiores percentuais foram obtidos com os valores altos deste indicador (56,7%), que sugerem que a fertilidade do solo pode estar em declínio (Fixen et al., 2015).

Informações da Tabela 6 constituem-se em exemplos adequados a essas observações. As cultivares BRS Guaraim, em Ponta Grossa e Três de Maio, e BRS Marcante, em Guarapuava e Ponta Grossa, mostraram que, ao mesmo tempo, no FPP, a contribuição do tratamento nitrogenado (90 kg ha^{-1}) determinou valores típicos esperados em 100% dos tratamentos, e no BPN_{aplic} , em 100% dos casos, os valores foram acima do esperado. Neste último IEUN os dados sugerem que, para que o rendimento de grãos fosse obtido, outra fonte de N, além do aplicado, foi empregada para produção de grãos, como o proveniente da matéria orgânica do solo, indicando que as plantas de trigo “mineraram” o N do ambiente, podendo resultar em redução da fertilidade do solo.

Exemplificando, outro contraste foi obtido em todos os tratamentos na cultivar BRS Guamirim, em Coxilha e Passo Fundo, com valores iguais ou inferiores a 39 no FPP e valores dentro da faixa ideal no BPN_{aplic} , indicando, no primeiro caso, que mudanças no manejo podem aumentar a eficiência da cultura ou que a fertilidade do solo deve estar sendo incrementada e, no segundo caso, que os valores de rendimento em função da aplicação de N estão otimizados.

Estas aparentes contradições são provenientes da forma como esses IEUN são calculados: o FPP leva em consideração o rendimento de grãos por unidade de N aplicado, enquanto que no BPN , por se tratar de balanço do nutriente N, a fórmula de cálculo é embasada no N aplicado (N_{aplic}) e no N recuperado nos grãos (N_{ext}), no qual o teor de proteína combinado com o rendimento nos grãos são informações indispensáveis ao cálculo.

Comparando-se estes IEUN baseados no fertilizante, o BPN_{aplic} apresenta informações mais substanciais por mostrar, o quanto do N aplicado foi (em tese) aproveitado pelas plantas e transformado em grãos, considerando o teor de proteína constituinte destes grãos.

Balanço parcial de N aplicado + N da matéria orgânica [$BPN_{(aplic + mo)}$]

Conforme Mălinaş et al. (2022), alguns IEUN não levam em consideração a contribuição do N utilizado pela planta proveniente do solo (a exemplo do fator de produtividade parcial e do BPN_{aplic}), situação que pode levar a um equívoco na compreensão da

estimativa da eficiência do uso de N. Para comprovar esta afirmação, foi realizado o cálculo do balanço de N considerando o somatório do N_{aplic} (90 kg ha^{-1} de N) e o N fornecido pelo solo, cujos resultados obtidos são apresentados na Tabela 6.

Neste trabalho, uma das alternativas para incorporar a contribuição do N do solo no cálculo do BPN foi por meio da estimativa do N presente na matéria orgânica do solo.

Considerando o intervalo entre 0,7 e 0,9, descrito por Fixen et al. (2015) como valores típicos de N desejados, na Tabela 6 observou-se que, das 60 combinações, os genótipos apresentaram respostas diferenciadas no $BPN_{(aplic+mo)}$: valores dentro da faixa esperada (36,7% dos tratamentos em BRS Guaraim, 63,3% em BRS Guaraim e 46,7% em BRS Marcante). Valores abaixo de 0,6 foram obtidos em 63,3% dos tratamentos em BRS Guamirim, 36,7% em BRS Guaraim e 53,3% em BRS Marcante.

Considerando todas as EMN em um mesmo ambiente, com resultado dentro da faixa esperada de $BPN_{(aplic+mo)}$, BRS Guaraim obteve o mais alto percentual (50,0%), seguida de BRS Marcante (33,3%) e BRS Guamirim (25,0%); e quando todas as EMN apresentaram valor abaixo de 0,6, 50,0% dos ambientes foram enquadrados nesta categoria para BRS Guamirim e BRS Marcante e 33,3% para BRS Guaraim.

Comparação BPN_{aplic} vs $BPN_{(aplic + mo)}$

Na Tabela 6 é possível observar a mudança radical nos resultados comparando as duas formas de cálculo do BPN , ou seja, BPN_{aplic} e $BPN_{(aplic + mo)}$. À exceção de algumas situações, a quase totalidade dos tratamentos que apresentaram resultados dentro dos valores típicos desejados no BPN_{aplic} passaram para abaixo do valor mínimo desejado no $BPN_{(aplic + mo)}$, bem como os tratamentos classificados com resultados acima do valor esperado no BPN_{aplic} passaram para resultado dentro da faixa típica desejada no $BPN_{(aplic + mo)}$, na maior parte das situações. Na prática, o incremento na quantidade de N propiciada no cálculo do $BPN_{(aplic + mo)}$ mostrou que, onde faltava N no BPN_{aplic} , o solo supriu esta deficiência, e nas situações em que o N parecia estar em quantidade suficiente, a contabilização do N proveniente da matéria orgânica resultou em “excedente” de N calculado no sistema, que não foi utilizado na produção de grãos. Além disso, de acordo com Fixen et al. (2015), alteração no manejo de N poderia incrementar a eficiência deste indicador.

Comparando-se os IEUN baseados no fertilizante, o $BPN_{(aplic + mo)}$ apresentou informações mais robustas por evidenciar a quantidade teórica da

contribuição da soma de N proveniente da adubação nitrogenada e da matéria orgânica do solo, que foi disponibilizado para plantas e transformado em grãos, considerando o teor de proteína constituinte destes grãos.

2º) IEUN que consideram tratamento testemunha ($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$):

Eficiência agrônômica (EA)

Segundo Fixen et al. (2015), os valores considerados típicos desejados para este indicador situam-se entre 15 e 30 (15 e 30 kg de grão por kg de nutriente aplicado). Valores abaixo de 14 sugerem que mudanças no manejo do N podem aumentar a resposta do cereal e reduzir o custo de produção.

Na Tabela 6, observa-se que, das 60 combinações, as cultivares apresentaram respostas similares na EA, predominando valores abaixo de 15: BRS Guamirim em 90,0% dos tratamentos, BRS Guaraim em 86,7%, e BRS Marcante em 85,0%. Os tratamentos que apresentaram valores no intervalo típico desejado responderam por 10,0% em BRS Guamirim, 13,3% em BRS Guaraim e 11,7% em BRS Marcante.

Resultados dentro da faixa esperada de EA, considerando todas as EMN em cada ambiente de cultivo, foram obtidos apenas em Muitos Capões (2016) e Vacaria (2017) em BRS Guamirim e BRS Guaraim (o equivalente a 16,7% dos ambientes) e, quando todas as EMN apresentaram baixo valor de EA, 83,3% dos ambientes foram enquadrados nesta situação em BRS Guamirim e BRS Marcante, e 75,0% em BRS Guaraim.

À exceção de BRS Guamirim e BRS Guaraim em Muitos Capões (2016) e de algumas situações pontuais em que foram obtidos valores de EA dentro dos valores típicos esperados, a quase totalidade dos tratamentos apresentou valores abaixo do esperado, indicando que o “excedente” de N calculado não está sendo aproveitado pelas plantas.

Valores de EA superiores a 30 foram obtidos nas EMN 1 e 2 em BRS Marcante produzido em Muitos Capões (2016) e, em tese, essas situações indicam “falta” de N no sistema. No entanto, isto não ocorreu, sendo que no item EA x $BPN_{(aplic + nat)}$ serão apresentados argumentos sobre esse tema.

Balanço parcial de N aplicado + N nativo [$BPN_{(aplic + nat)}$]

Esta forma de cálculo de balanço parcial de N, qualificada como a mais completa, inclui a estimativa de disponibilidade do N nativo obtido a partir dos valores calculados do N extraído pela testemunha

($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$), somado ao N adicionado em cobertura nos diferentes tratamentos ($90 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$).

Valores de $BPN_{(aplic+nat)}$ iguais ou inferiores a 0,6, usados nas avaliações dos dois índices de balanço parcial de N expostos anteriormente, sugerindo “excedente” de N calculado no sistema, foram obtidos na grande maioria dos resultados referentes as 60 combinações (cinco EMN e doze ambientes) em 93,3% dos casos em BRS Guamirim, 81,7% em BRS Guaraim e 86,7% em BRS Marcante. Valores dentro da faixa esperada foram obtidos em 6,7% dos casos em BRS Guamirim, 18,3% em BRS Guaraim e 13,3% em BRS Marcante.

Levando em conta todas as EMN em cada ambiente de cultivo, nenhuma das cultivares obteve resultados dentro do intervalo esperado de $BPN_{(aplic+nat)}$ (entre 0,7 e 0,9) e, quando todas as EMN apresentaram valor abaixo de 0,6, BRS Guamirim alcançou o mais alto percentual (83,3%), seguida de BRS Guaraim e BRS Marcante (66,7%).

Comparação EA x $BPN_{(aplic + nat)}$

Muito embora essas duas formas de cálculo de IEUN levem em consideração a contribuição da testemunha ($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$), a EA mostra o quanto a produtividade pode ser incrementada pelo emprego da adubação nitrogenada (Fixen et al., 2015), pois aponta a contribuição que o ambiente pode proporcionar, por intermédio dos resultados obtidos pela testemunha. No $BPN_{(aplic+nat)}$, por se tratar de balanço do nutriente N, o cálculo é baseado no N aplicado (N_{aplic}) e no N recuperado nos grãos da testemunha ($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$) (N_{nat}), sendo que essa variável é a combinação de duas importantes informações: quanto de N foi efetivamente assimilado das diversas fontes nativas e convertido em proteína nos grãos, e este valor de N da testemunha resultou da real contribuição do N ambiente, nas condições meteorológicas do ano.

Nos dois IEUN predominaram resultados que indicam sobra de N no sistema em 87,2% das 180 combinações (genótipo x EUN x ambientes). No entanto, não necessariamente, os resultados tidos como dentro dos valores típicos desejados ocorreram nos mesmos genótipos, EUN ou ambientes. Dos 44 tratamentos nesta condição, em apenas seis os resultados dos dois IEUN coincidiram.

Nos dois tratamentos em que a EA ficou acima do valor típico desejado (EMN 1 e 2 em BRS Marcante e em Muitos Capões na safra de 2016), a interpretação do indicador sugeriu que havia carência de N. No entanto, comparativamente ao obtido na avaliação do $BPN_{(aplic+nat)}$, na primeira EMN, indicava valor dentro da faixa esperada e, na segunda,

apresentava valor abaixo do esperado (indicando excesso de N).

O cálculo do $BPN_{(aplic+nat)}$ é o melhor dos indicadores estudados, pois, ao ser analisada a estimativa da contribuição do N da matéria orgânica do solo (Tabela 7) na quantidade de N recuperado no tratamento testemunha ($N = 0 \text{ kg ha}^{-1}$), ou seja, N proveniente somente do N nativo do solo, verificou-se que, à exceção de Guarapuava (2017), Muitos Capões (2016) e Vacaria (2017), nas três cultivares, e em Coxilha (2017) em BRS Guaraim e BRS Marcante, em que a estimativa da quantidade de N oferecida pela matéria orgânica do solo foi superior à recuperada no tratamento testemunha, em todos os demais ambientes e cultivares o resultado foi negativo, indicando que outra(s) fonte(s) de N além da matéria orgânica do solo contribuíram para o rendimento de grãos de trigo e/ou que o solo estaria liberando mais N do que a estimativa usada no cálculo (1% de matéria orgânica do solo, equivalendo a 15 kg ha^{-1} de N, considerando a taxa de mineralização da matéria orgânica do solo de 1,5% por safra).

Esta constatação vem ao encontro do relato de Wiethölter (2011), no qual “a disponibilidade de N em quantidade adequada é o principal fator determinante do rendimento potencial de trigo e a capacidade do solo em suprir N às plantas depende diretamente do teor e da taxa de decomposição da matéria orgânica presente no solo e nos restos culturais”. Neste contexto, Congreves et al. (2021) relataram, ainda, a contribuição de N proveniente da fixação biológica e da deposição atmosférica, como componente do N nativo, mais difícil de ser quantificada. Outra possibilidade é que os resíduos das coberturas pré-cultivo do trigo possam estar contribuindo para uma rápida reciclagem de N sem, contudo, alterar o conteúdo de matéria orgânica do solo. Se considerarmos que a disponibilidade de N mineral também pode ser influenciada por menores taxas de lixiviação no período pré-semeadura do trigo, isto também poderia contribuir para a maior oferta de N pelo solo.

Saldo de nitrogênio no sistema

Os ‘saldos de N1’, apresentados na Tabela 8, calculados pela diferença entre o N_{nat} e o N recuperado em cada EMN (N_{ext}), mostraram qual a quantidade de N proveniente da adubação nitrogenada, além do fornecido pelo N_{nat} , foi necessário para completar o N_{ext} .

A necessidade de N suplementar ao fornecido pelo solo (N nativo) foi distinto para cada cultivar, local e ano de cultivo, além da época de aplicação

dos tratamentos (parcelamento dos 90 kg ha^{-1} de N). A maior necessidade de N adicional ao N nativo observada, por cultivar, foi a seguinte: BRS Guairim em Ponta Grossa (2016) na EMN2 ($60,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N); BRS Guaraim em Muitos Capões (2016) na EMN2 ($49,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N); e BRS Marcante em Muitos Capões (2016) na EMN5 ($51,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N).

Nas três cultivares, foi observado, em algumas EMN, saldo positivo de N_1 , sugerindo que o N extraído foi inferior ao disponibilizado pelo N nativo, e o aporte da adubação nitrogenada parece ter pouco impacto no rendimento de grãos. Isto ocorreu na cultivar BRS Guairim em Londrina (2016) na EMN2, com saldo de $3,7 \text{ kg ha}^{-1}$ N; na BRS Guaraim nas EMN2 ($6,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) e 4 ($16,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) em Londrina (2016); e em BRS Marcante em Três de Maio (2018) na EMN1 ($6,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N), e em Londrina (2017) também na EMN1 ($3,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de N).

Por outro lado, os “saldos do N2” foram positivos em todas as situações, indicando que o N não foi integralmente aproveitado pelas três cultivares de trigo, resultando “excedente de N calculado no sistema”. Este excedente foi variável para cada cultivar, local e ano de cultivo, além da época de aplicação das EMN. Na cultivar BRS Guairim, o excedente variou de $29,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na EMN2 em Ponta Grossa (2017) a $93,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na EMN2 em Londrina (2016), sendo este último valor superior à quantidade de N_{adic} . Na BRS Guaraim, o “excedente calculado de N” variou de $40,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na EMN2, em Muitos Capões (2016) a $106,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na EMN4 em Londrina (2016), valor 119% superior ao N_{adic} . Em BRS Marcante, o menor “excedente calculado de N” foi de $38,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na EMN5 em Muitos Capões (2016), e a maior com $96,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de N na EMN1 em Três de Maio (2018), também superando o valor de N_{adic} .

A sobra de nitrogênio no sistema implica em prejuízo para o agricultor que tem gastos financeiros com a compra e com a aplicação do fertilizante sem, com isto, observar retorno em produção de grão. Além deste fator, o excesso de N no meio ambiente pode levar à contaminação e a problemas relacionados à saúde, conforme relatório apresentado por especialistas em N da União Europeia (Oenema et al, 2015). Neste relatório, os autores citaram como efeitos deletérios do N reativo: “a redução da saúde humana devido à formação induzida de matéria particulada e fumaça pelo NH_3 e N_{Ox} ; os danos às plantas por meio de NH_3 e por N_{Ox} induzindo a formação de ozônio troposférico; a diminuição da diversidade de espécies em áreas naturais devido à deposição de NH_3 e N_{Ox} ; a acidificação dos solos

Tabela 7. Estimativa da participação do nitrogênio (N) proveniente da matéria orgânica do solo⁽¹⁾, no N recuperado no tratamento (N = 0 kg ha⁻¹). Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2025.

Local	N estimado na MO (kg ha ⁻¹)		N _{nat} ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)						Saldo da contribuição da MO no N _{nat} (kg ha ⁻¹)					
			Cultivar de trigo						Cultivar de trigo					
	Ano 1 ⁽³⁾	Ano 2 ⁽⁴⁾	BRS Guamirim		BRS Guaraim		BRS Marcante		BRS Guamirim		BRS Guaraim		BRS Marcante	
			Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
Guarapuava	88,5	85,5	72,9	119,2	65,3	108,4	80,4	113,1	15,6	-33,7	23,2	-22,9	8,1	-27,6
Coxilha e Passo Fundo ⁽⁵⁾	55,5	46,5	58,4	67,3	50,2	69,4	51,6	72,7	-2,9	-20,8	5,3	-22,9	3,9	-26,2
Ponta Grossa	42,0	43,5	51,8	86,3	65,4	89,6	81,0	85,0	-9,8	-42,8	-23,4	-46,1	-39,0	-41,5
Muitos Capões e Vacaria ⁽⁵⁾	78,0	73,5	40,4	31,3	39,4	41,2	39,1	37,6	37,6	42,2	38,6	32,3	38,9	35,9
Três de Maio	58,5	48,0	89,4	72,9	83,0	74,3	77,2	67,3	-30,9	-24,9	-24,5	-26,3	-18,7	-19,3
Londrina	34,5	34,5	65,4	61,4	87,6	66,7	78,5	69,6	-30,9	-26,9	-53,1	-32,2	-44,0	-35,1

⁽¹⁾ Cálculo baseado na proposição de Wiethölter (2011), que considerou a taxa de decomposição da matéria orgânica do solo e dos restos culturais de 1,5% por safra, e cada 1% de matéria orgânica presente no solo possibilitou a oferta de, em média, 15 kg ha⁻¹ de N.

⁽²⁾ N nativo, proveniente da testemunha (N = 0 kg ha⁻¹).

⁽³⁾ Ano 1: 2016 (Londrina, Ponta Grossa, Três de Maio e Muitos Capões); 2017 (Guarapuava e Coxilha).

⁽⁴⁾ Ano 2: 2017 (Londrina, Ponta Grossa, Vacaria); 2018: (Guarapuava, Passo Fundo e Três de Maio).

⁽⁵⁾ Municípios limítrofes pertencentes ao mesmo macroambiente: Coxilha e Passo Fundo (região "Planalto Médio") e Muitos Capões e Vacaria (região "Campos de Cima da Serra").

Tabela 8. Saldo de nitrogênio (N), em kg ha⁻¹, calculado a partir do N recuperado, N nativo e N adicionado em cobertura, nas cultivares de trigo BRS Guamirim, BRS Guaraim e BRS Marcante. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, 2025.

Local	EMN ⁽¹⁾	N _{ext} ⁽²⁾		N _{nat} ⁽³⁾ + N _{aplic} ⁽⁴⁾		Saldo de N1		Saldo de N2	
		Ano 1 ⁽⁵⁾	Ano 2 ⁽⁶⁾	Ano 1	Ano 2	N _{nat} - N _{ext}		[(N _{nat} + N _{aplic}) - N _{ext}]	
						Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
BRS Guamirim									
Guarapuava	1	97,0	135,5			-24,1	-16,3	65,9	73,7
	2	91,4	137,2			-18,5	-18,0	71,5	72,0
	3	98,7	138,1	162,9	209,2	-25,8	-18,9	64,2	71,1
	4	102,3	136,6			-29,4	-17,4	60,6	72,6
	5	87,8	132,2			-14,9	-13,0	75,1	77,0
	N _{nat}	72,9	119,2	-	-	-	-	-	-
Coxilha e Passo Fundo ⁽⁷⁾	1	62,1	71,9			-3,7	-4,6	86,3	85,4
	2	73,9	78,8			-15,5	-11,5	74,5	78,5
	3	76,4	81,4	148,4	157,3	-18,0	-14,1	72,0	75,9
	4	69,6	73,7			-11,2	-6,4	78,8	83,6
	5	73,9	79,8			-15,5	-12,5	74,5	77,5
	N _{nat}	58,4	67,3	-	-	-	-	-	-
Ponta Grossa	1	76,7	97,1			-24,9	-10,8	65,1	79,2
	2	112,3	99,2			-60,5	-12,9	29,5	77,1
	3	76,0	94,3	141,8	176,3	-24,2	-8,0	65,8	82,0
	4	74,5	93,4			-22,7	-7,1	67,3	82,9
	5	77,9	98,7			-26,1	-12,4	63,9	77,6
	N _{nat}	51,8	86,3	-	-	-	-	-	-
Muitos Capões e Vacaria ⁽⁷⁾	1	80,9	53,5			-40,5	-22,2	49,5	67,8
	2	83,8	47,1			-43,4	-15,8	46,6	74,2
	3	78,1	43,9	130,4	121,3	-37,7	-12,6	52,3	77,4
	4	78,5	47,7			-38,1	-16,4	51,9	73,6
	5	77,9	50,2			-37,5	-18,9	52,5	71,1
	N _{nat}	40,4	31,3	-	-	-	-	-	-
Três de Maio	1	100,8	76,2			-11,4	-3,3	78,6	86,7
	2	116,1	85,6			-26,7	-12,7	63,3	77,3
	3	111,2	80,7	179,4	162,9	-21,8	-7,8	68,2	82,2
	4	109,8	81,2			-20,4	-8,3	69,6	81,7
	5	113,0	87,2			-23,6	-14,3	66,4	75,7
	N _{nat}	89,4	72,9	-	-	-	-	-	-
Londrina	1	78,8	81,3			-13,4	-19,9	76,6	70,1
	2	61,7	85,8			3,7	-24,4	93,7	65,6
	3	73,1	86,0	155,4	151,4	-7,7	-24,6	82,3	65,4
	4	83,7	86,2			-18,3	-24,8	71,7	65,2
	5	93,4	76,9			-28,0	-15,5	62,0	74,5
	N _{nat}	65,4	61,4	-	-	-	-	-	-

Continua...

Tabela 8. Continuação.

Local	EMN ⁽¹⁾	N _{ext} ⁽²⁾		N _{nat} ⁽³⁾ + N _{aplic} ⁽⁴⁾		Saldo de N1		Saldo de N2	
		Ano 1 ⁽⁵⁾	Ano 2 ⁽⁶⁾	Ano 1	Ano 2	N _{nat} - N _{ext}		[(N _{nat} + N _{aplic}) - N _{ext}]	
						Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
BRS Guaraim									
Guarapuava	1	94,5	132,8			-29,2	-23,4	60,8	66,6
	2	87,6	136,3			-22,3	-27,9	67,7	62,1
	3	95,8	134,9	155,3	198,4	-30,5	-26,5	59,5	63,5
	4	78,0	127,3			-12,7	-18,9	77,3	71,1
	5	96,7	136,5			-31,4	-28,1	58,6	61,9
	N _{nat}	65,3	108,4	-	-	-	-	-	-
Coxilha e Passo Fundo	1	72,2	93,3			-22,0	-23,9	68,0	66,1
	2	70,3	100,2			-20,1	-30,8	69,9	59,2
	3	77,1	94,9	140,2	159,4	-26,9	-25,5	63,1	64,5
	4	75,1	94,8			-24,9	-25,4	65,1	64,6
	5	79,9	99,0			-29,7	-29,6	60,3	60,4
	N _{nat}	50,2	69,4	-	-	-	-	-	-
Ponta Grossa	1	93,5	103,9			-28,1	-14,3	61,9	75,7
	2	102,2	99,7			-36,8	-10,1	53,2	79,9
	3	95,5	104,6	155,4	179,6	-30,1	-15,0	59,9	75,0
	4	101,3	103,9			-35,9	-14,3	54,1	75,7
	5	93,8	100,2			-28,4	-10,6	61,6	79,4
	N _{nat}	65,4	89,6	-	-	-	-	-	-
Muitos Capões e Vacaria	1	70,5	69,4			-31,1	-28,2	58,9	61,8
	2	88,6	67,3			-49,2	-26,1	40,8	63,9
	3	83,5	63,4	129,4	131,2	-44,1	-22,2	45,9	67,8
	4	83,1	62,5			-43,7	-21,3	46,3	68,7
	5	85,3	63,0			-45,9	-21,8	44,1	68,2
	N _{nat}	39,4	41,2	-	-	-	-	-	-
Três de Maio	1	112,6	96,2			-29,6	-21,9	60,4	68,1
	2	115,2	100,8			-32,2	-26,5	57,8	63,5
	3	112,2	98,7	173,0	164,3	-29,2	-24,4	60,8	65,6
	4	116,8	97,0			-33,8	-22,7	56,2	67,3
	5	111,1	96,4			-28,1	-22,1	61,9	67,9
	N _{nat}	83,0	74,3	-	-	-	-	-	-
Londrina	1	90,8	92,6			-3,2	-25,9	86,8	64,1
	2	81,1	85,3			6,5	-18,6	96,5	71,4
	3	89,9	85,0	177,6	156,7	-2,3	-18,3	87,7	71,7
	4	70,9	78,2			16,7	-11,5	106,7	78,5
	5	95,7	94,9			-8,1	-28,2	81,9	61,8
	N _{nat}	87,6	66,7	-	-	-	-	-	-

Continua...

Tabela 8. Continuação.

Local	EMN ⁽¹⁾	N _{ext} ⁽²⁾		N _{nat} ⁽³⁾ + N _{aplic} ⁽⁴⁾		Saldo de N1		Saldo de N2	
		Ano 1 ⁽⁵⁾	Ano 2 ⁽⁶⁾	Ano 1	Ano 2	N _{nat} - N _{ext}		[(N _{nat} + N _{aplic}) - N _{ext}]	
						Ano 1	Ano 2	Ano 1	Ano 2
BRS Marcante									
Guarapuava	1	111,6	128,4			-31,2	-15,3	58,8	74,7
	2	99,4	121,7			-19,0	-8,6	71,0	81,4
	3	112,3	123,7	170,4	203,1	-31,9	-10,6	58,1	79,4
	4	108,7	131,5			-28,3	-18,4	61,7	71,6
	5	114,7	133,3			-34,3	-20,2	55,7	69,8
	N _{nat}	80,4	113,1	-	-	-	-	-	-
Coxilha e Passo Fundo	1	59,3	89,9			-7,7	-17,2	82,3	72,8
	2	67,3	87,9			-15,7	-15,2	74,3	74,8
	3	67,5	97,1	141,6	162,7	-15,9	-24,4	74,1	65,6
	4	68,9	94,5			-17,3	-21,8	72,7	68,2
	5	71,1	92,5			-19,5	-19,8	70,5	70,2
	N _{nat}	51,6	72,7	-	-	-	-	-	-
Ponta Grossa	1	93,9	95,9			-12,9	-10,9	77,1	79,1
	2	102,5	98,0			-21,5	-13,0	68,5	77,0
	3	102,9	99,3	171,0	175,0	-21,9	-14,3	68,1	75,7
	4	106,2	98,6			-25,2	-13,6	64,8	76,4
	5	96,7	100,1			-15,7	-15,1	74,3	74,9
	N _{nat}	81,0	85,0	-	-	-	-	-	-
Muitos Capões e Vacaria	1	83,1	72,3			-44,0	-34,7	46,0	55,3
	2	89,3	76,5			-50,2	-38,9	39,8	51,1
	3	82,2	73,7	129,1	127,6	-43,1	-36,1	46,9	53,9
	4	83,4	70,2			-44,3	-32,6	45,7	57,4
	5	90,8	77,8			-51,7	-40,2	38,3	49,8
	N _{nat}	39,1	37,6	-	-	-	-	-	-
Três de Maio	1	99,4	60,5			-22,2	6,8	67,8	96,8
	2	104,4	73,4			-27,2	-6,1	62,8	83,9
	3	101,4	70,5	167,2	157,3	-24,2	-3,2	65,8	86,8
	4	110,7	69,0			-33,5	-1,7	56,5	88,3
	5	110,0	74,4			-32,8	-7,1	57,2	82,9
	N _{nat}	77,2	67,3	-	-	-	-	-	-
Londrina	1	88,7	66,6			-10,2	3,0	79,8	93,0
	2	79,5	72,9			-1,0	-3,3	89,0	86,7
	3	87,4	73,4	168,5	159,6	-8,9	-3,8	81,1	86,2
	4	87,8	73,6			-9,3	-4,0	80,7	86,0
	5	103,6	79,8			-25,1	-10,2	64,9	79,8
	N _{nat}	78,5	69,6	-	-	-	-	-	-

⁽¹⁾EMN1 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no perfilhamento); EMN2 (1/3 N na fase vegetativa + 2/3 N no alongamento do colmo); EMN3 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no alongamento do colmo); EMN4 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no perfilhamento + 1/3 N no espigamento); EMN5 (1/3 N na fase vegetativa + 1/3 N no alongamento do colmo + 1/3 N no espigamento). ⁽²⁾N extraído na EMN. ⁽³⁾Matéria orgânica do solo. ⁽⁴⁾N extraído no tratamento N zero. ⁽⁵⁾N adicionado (90 kg N ha⁻¹). ⁽⁶⁾Ano 1: 2016 (Londrina, Ponta Grossa, Três de Maio e Muitos Capões); 2017 (Guarapuava e Coxilha). ⁽⁷⁾Ano 2: 2017 (Londrina, Ponta Grossa, Vacaria); 2018: (Guarapuava, Passo Fundo e Três de Maio). ⁽⁸⁾Municípios limítrofes pertencentes ao mesmo macroambiente: Coxilha e Passo Fundo (região "Planalto Médio") e Muitos Capões e Vacaria (região "Campos de Cima da Serra").

pela deposição de NH_3 e N_{ox} ; a poluição das águas subterrâneas e da água potável devida à lixiviação de NO_3^- ; a eutrofização das águas superficiais, levando à proliferação de algas e à diminuição da diversidade de espécies; o aquecimento global devido à emissão de N_2O ; e a destruição do ozônio estratosférico devido ao N_2O .”

Cabe realçar que este trabalho não objetivou verificar o destino do saldo de N obtido por cálculo, nos diferentes tratamentos. Desta forma, não foi conhecido se o “excedente calculado de nitrogênio” foi mantido indisponível na matéria orgânica do solo ou nos restos culturais, se conservado nas cargas e na solução do solo, se retirado do sistema por escoamento superficial, ou se foi perdido por meio de lixiviação de NO_3^- , volatilização de NH_3 e emissão de N_2 , N_2O e outros óxidos de N, conforme relatado por Anghinoni (1986), como sendo os possíveis destinos do N no ambiente.

Conclusões

- Entre os índices de eficiência de uso do nitrogênio que não consideram a contribuição do tratamento sem nitrogênio, o Fator de Produtividade Parcial apresentou maior percentual de valores no intervalo típico desejado. Porém, este índice tende a superestimar a contribuição do nitrogênio aplicado por não considerar aquele extraído do sistema (testemunha) no cálculo do balanço.
- O índice Balanço Parcial de Nitrogênio aplicado, somado ao nitrogênio nativo (testemunha), apresentou os menores percentuais de valores no intervalo típico desejado, comparativamente ao índice Balanço Parcial de Nitrogênio aplicado e ao índice Balanço Parcial de Nitrogênio aplicado, somado ao nitrogênio proveniente da matéria orgânica.
- O índice Balanço Parcial de Nitrogênio aplicado, somado ao nitrogênio nativo, apresentou altos percentuais de valores na faixa que sugerem “excedente” de nitrogênio calculado no sistema que não está sendo aproveitado pelas plantas.
- No índice Eficiência Agronômica, predominaram valores que sugerem “excedente” de nitrogênio calculado no sistema.
- O índice Balanço Parcial de Nitrogênio aplicado, somado ao nitrogênio nativo, mostrou ser o mais completo para avaliar a disponibilidade de nitrogênio, por contemplar a quantidade de N que estava, efetivamente, disponível e foi assimilada pelas plantas.
- Em todos os tratamentos, foi observado excedente calculado de nitrogênio total, sugerindo que o nitrogênio disponibilizado não foi integralmente utilizado pelas cultivares de trigo.

Referências

- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2023/24: oitavo levantamento, v. 11, n. 8, p. 121, Maio 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/gaos>. Acesso em: 16 jul. 2024.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. **Approved methods of analysis**. 11th ed. Saint Paul: Cereals & Grains Association, 2010. Disponível em: <http://methods.aaccnet.org/toc.aspx>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- ANGHINONI, I. Adubação nitrogenada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: SANTANA, M. B. M. **Adubação nitrogenada no Brasil**. Ilhéus: CEPLAC/SBCS, 1986. p. 1-18.
- COELHO, B. **Método comparativo**: crie comparações para entender o que as coisas são (e o que não são!). 30 dez. 2022. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/metodo-comparativo/>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- CONAB. **Série histórica - custos - trigo - 1998 a 2023**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/item/16267-serie-historica-custos-trigo-1998-a-2021>. Acesso em: 3 jul. 2024.
- CONGREVES, K. A.; OTCHERE, O.; FERLAND, D.; FARZADFAR, S.; WILLIAMS, S.; ARCAND, M. M. Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, v. 12, June 2021. Art. 637108. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2021.637108/full>. Acesso em: 6 jun. 2024.
- CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; GOUVEA, J. A. de. Bioclimatologia e zoneamento agrícola. In: DE MORI, C.; ANTUNES, J. M.; FAE, G. S.; ACOSTA, A. da S. (ed.). **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 31-57.

DE BONA, F. D.; DE MORI, C.; WIETHÖLTER, S. Manejo nutricional da cultura do trigo. **Informações Agrônomicas**, n. 154, p. 1-16, jun. 2016.

ESTADOS UNIDOS. Climate Prediction Center. **Cold & warm episodes by season**. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 22 abr. 2024.

FACHIN, O. Método comparativo. FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. 5. ed. rev. São Paulo: Saraiva, 2005. p. 40-41.

FERREIRA, L. A. R.; SILVA, S. R.; KÖLLN, O. T. Wheat yield and nitrogen utilization efficiency affected by urea coated with NBPT urease inhibitor and environmental conditions in Brazilian Rhodic Oxisols. **International Journal of Plant Production**, v. 16, n. 2, p. 313-328, June 2022.

FERREIRA, L. A. R.; SILVA, S. R.; LOLLATO, R. P.; FERREIRA, E. B.; KÖLLN, O. T. Wheat nitrogen utilization efficiency and yield as affected by nitrogen management and environmental conditions. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 33, n. 11, p. 944-957, Nov. 2021.

FIXEN, P.; BRENTROP, F.; BRUULSEMA, T.; GARCIA, F.; NORTON, R.; ZINGORE, S. Nutrient/fertilizer use efficiency: measurement, current situation and trends. In: DRECHSEL, P.; HEFFER, P.; MAGEN, H.; MIKKELSEN, R.; WICHELS, D. (ed.). **Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification**. Paris: International Fertilizer Industry Association: International Water Management Institute: International Plant Nutrition Institute: International Potash Institute, 2015. p. 8-38. Disponível em: https://www.iwmi.cgiar.org/Publications/Books/PDF/managing_water_and_fertilizer_for_sustainable_agricultural_intensification.pdf. Acesso em: 3 jun. 2024.

FOLONI, J. S. S.; BASSOI, M. C.; SILVA, S. R. **Indicações fitotécnicas para cultivares de trigo da Embrapa no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 24 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 117).

GUARIENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. de; CUNHA, G. R. da; NICOLAU, M.; TIBOLA, C. S.; TEIXEIRA, D. D. **Qualidade tecnológica de trigo colhido e armazenado no Brasil - safras 2015, 2016 e 2017**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2019. 93 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 184). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1115403>. Acesso em: 3 jun. 2024.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. **Levantamento sistemático da produção agrícola: tabela 7878 - série histórica da estimativa anual da área plantada, área colhida, produção e rendimento médio dos produtos das lavouras (prognóstico da safra)**.

Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/7878>. Acesso em: 15 maio 2024.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 6 jun. 2024.

LOLLATO, R. P.; JAENISCH, B. R.; SILVA, S. R. Genotype-specific nitrogen uptake dynamics and fertilizer management explain contrasting wheat protein concentration. **Crop Science**, v. 61, n. 3, p. 2048-2066, May 2021.

MĂLINAȘ, A.; VIDICAN, R.; ROTAR, I.; MĂLINAȘ, C.; MOLDOVAN, C. M.; PROOROCU, M. Current status and future prospective for nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plants**, v. 11, n. 2, Jan. 2022. Art. 217. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants11020217>. Acesso em: 3 jun. 2024.

MANUAL de calagem e adubação para o estado do Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.

MANUAL de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016. 376 p.

MARINHO, J. L.; SILVA, S. R.; FONSECA, I. C. B.; ZUCARELI, C. Nitrogen use efficiency and yield of wheat genotypes affected by nitrogen fertilizing and environmental conditions in southern Brazil. **International Journal of Plant Production**, v. 16, n. 3, p. 495-510, Sept. 2022.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. London: Elsevier, 2012. 651 p.

OENEMA, O.; BRENTROP, F.; LAMMEL, J.; BASCOU, P.; BILLEN, G.; DOBERMANN, A.; ERISMAN, J. W.; GARNETT, T.; HAMMEL, M.; HANIOTIS, T.; HILLIER, J.; HOXHA, A.; JENSEN, L. S.; OLESZEK, W.; PALLIÈRE, C.; POWLSON, D.; QUEMADA, M.; SCHULMAN, M.; SUTTON, M. A.; VAN GRINSVEN, H. J. M.; WINIWARTER, W. **Nitrogen use efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems**. Wageningen: Wageningen University, 2015. 47 p. Prepared by the EU Nitrogen Expert Panel.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. **Dados meteorológicos históricos e atuais**. Curitiba: IDR: Iapar: Emater, 2022. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Dados-Meteorologicos-Historicos-e-Atuais>. Acesso em: 7 jun. 2024.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 7.1 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 26 maio 2024.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 9., 2015, Passo Fundo.

Informações técnicas para trigo e triticale - safra 2016. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2016. 228 p.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 15., 2022, Brasília, DF.

Informações técnicas para trigo e triticale: safra 2023. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 143 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book.

WIETHÖLTER, S. Fertilidade do solo e a cultura do trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 135-184.

WILLIAMS, P.; EL-HARAMEIN, F. J.; NAKKUL, H.; RIHAWI, S. **Crop quality evaluating methods and guidelines.** 2. ed. Aleppo: Icarda, 1988. 145 p.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. (ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 336 p.