

A aplicação precoce de nitrogênio em cobertura não aumenta o rendimento de grãos do trigo cultivado na presença do alumínio

Early nitrogen side - dress application does not increase wheat grain yield at the aluminum presence

Luís Sangoi^{I*} Milton Luiz de Almeida^I Ana Lúcia Ramos Pucci^{II} Marciane Strieder^{III}
Claitson Gustavo Zanin^{III} Leonardo Cury da Silva^{III} Rogério Junior Vieira^{III}

RESUMO

A época de realização da adubação nitrogenada de cobertura pode interferir sobre a participação dos afilhos no rendimento de grãos do trigo em solos ácidos. Este trabalho objetivou avaliar a interação entre o efeito inibidor do alumínio e a época de aplicação do nitrogênio sobre o desempenho agrônomo do trigo. Foram conduzidos três experimentos, em telado, a campo e em câmara de crescimento, nos anos de 2000, 2002 e 2003. A campo e em telado, foram testados três níveis de correção do solo (sem correção, ¼ da dose e dose integral de calcário para elevar o pH até 6,0) e quatro épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura (emergência, estádios 1,5, 3,1 e 4,1 da escala Haun). Em câmara de crescimento, testaram-se três doses de alumínio (0, 8 e 32mg L⁻¹) e quatro épocas de aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. Avaliaram-se o rendimento de grãos, o acúmulo de matéria seca e o teor de N no colmo principal e afilhos. Não houve efeito da interação entre os níveis de correção do solo e a época de aplicação do nitrogênio sobre o rendimento de grãos. Independentemente da presença do alumínio, a aplicação precoce de N (emergência ou 1,5 folhas) não incrementou o rendimento de grãos do trigo, em relação às coberturas mais tardias. Assim, a antecipação da cobertura nitrogenada não foi capaz de mitigar os efeitos inibitórios do alumínio, nem de aumentar o acúmulo de matéria seca nos afilhos e a sua participação no rendimento de grãos.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, produtividade, afilhos, solos ácidos.

ABSTRACT

The anticipation of nitrogen side-dress fertilization may increase tiller participation on wheat grain yield in acid soils. This research was carried out to evaluate the interaction between the aluminum inhibitory effect and timing of N side-dressing on wheat agronomic performance. Three experiments

were carried out in a protected area, in the field and inside a growth chamber during the years of 2000, 2002 and 2003. Three levels of soil acidity correction (no correction, ¼ of the rate and full liming rate to lift soil pH to 6,0) and four timing of nitrogen side-dress (emergence, 1.5, 3.1 and 4.1 stages of the Haun's Scale) were tested in square boxes and in the field. Three aluminum rates (0, 8 and 32mg L⁻¹) and four times of increasing N concentration in a nutritive solution were evaluated in a growth chamber. Grain yield, main stem and tiller dry mass accumulation were assessed. There was no effect of the interaction between soil acidity correction level and timing of N fertilization on wheat grain yield. Regardless of the aluminum presence, early nitrogen side-dressing (emergence or 1.5 leaves) did not enhance wheat grain yield in comparison to later N applications. Therefore, the anticipation of N side-dressing was not capable of mitigating aluminum inhibitory effects on plant growth, neither to enlarge tiller dry mass accumulation and participation on wheat grain yield.

Key words: *Triticum aestivum*, productivity, tiller, acid soils.

INTRODUÇÃO

A toxidez causada pelo alumínio limita o crescimento e o rendimento da maioria das culturas em solos ácidos. Nesses solos, ocorre a diminuição na disponibilidade de alguns nutrientes, como o fósforo, e aumento da disponibilidade do manganês e alumínio, os quais, dependendo do manejo do solo e da adubação utilizada, podem atingir níveis tóxicos às plantas (BRASIL, 1998).

Os programas de melhoramento de trigo buscam a obtenção de cultivares com tolerância ao

^IDepartamento de Fitotecnia, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), CP 281, 88520-000, Lages, SC, Brasil. E-mail: a2ls@cav.udesc.br. *Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Química, Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC), CP, 525, 88509-900, Lages, SC, Brasil.

^{III}Curso de Agronomia, UDESC, Lages, SC, Brasil.

alumínio (FREITAS et al., 2000). Apesar deste esforço, ainda são baixos os rendimentos de grãos obtidos em lavouras implantadas em solos ácidos. Isso ocorre porque o alumínio determina pequeno crescimento de raízes, menor volume de solo explorado e prejuízos na absorção de água e nutrientes, o que promove redução no tamanho de folhas e na matéria seca acumulada na parte aérea (BEUTLER et al., 2001).

A dose de calcário adequada ao trigo é definida objetivando atingir pH em H₂O de 6,0 e índice de saturação por bases de 65% (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DE SOLO-RS/SC, 2004). Nas regiões com altitudes superiores a 500m, predominam solos de textura argilosa, com altos teores de matéria orgânica e elevado tamponamento (ERNANI & ALMEIDA, 1986). Nesses solos, são necessárias grandes quantidades de calcário, aumentando o custo para correção total da camada arável (ERNANI et al., 1998). A correção parcial pode ser uma opção para solos onde a quantidade de calcário necessária é elevada, principalmente se os valores de fósforo e potássio forem altos (ERNANI et al., 2002).

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importantes na definição do potencial produtivo das culturas, participando de uma série de rotas metabólicas chave na bioquímica da planta. A deficiência de nitrogênio pode limitar a emissão de afilhos, reduzir o número de colmos e espigas por área e diminuir a produção de trigo (LONGNECKER, 1993; DEMOTES-MAINARD et al., 1999; CAVIGLIA & SADRAS, 2001).

A época mais adequada de aplicação do nitrogênio em cobertura em trigo é uma estratégia importante para otimizar o aproveitamento deste nutriente à produção de grãos (LALOUX et al., 1980). O momento recomendado para aplicação do nitrogênio em cobertura está compreendido entre o início do afilhamento e o começo do alongamento do colmo (COMISSÃO SULBRASILEIRA DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2004). Essa recomendação não considera a extensão do período crítico à formação de afilhos, nem os reflexos que a variação da época de aplicação tem sobre a intensidade do afilhamento. O afilhamento ocorre num período bastante longo dentro da ontogenia da cultura. Mesmo antes de iniciar a emissão externa dos afilhos, a falta de nitrogênio pode afetar esse processo, pois a definição da emissão de afilhos pelo trigo ocorre quando a planta tem de uma a três folhas, antes do início do afilhamento (ALMEIDA et al., 2000).

A maior parte dos trabalhos reportados na literatura sobre o efeito de épocas de aplicação de nitrogênio no desempenho agrônômico do trigo foi conduzida na ausência de alumínio. Por outro lado,

muitas lavouras deste cereal são implantadas na presença de Al⁺³ trocável devido aos altos custos de elevar o pH a 6,0 em solos altamente tamponados. A antecipação da fertilização nitrogenada pode fomentar o afilhamento de cultivares de trigo, minimizando os efeitos inibitórios da presença de alumínio e aumentando a participação dos afilhos no rendimento de grãos.

A avaliação da resposta do trigo à época de aplicação do nitrogênio em presença de alumínio é fundamental para o aproveitamento da grande área de solos ácidos do Brasil. Este trabalho visou a avaliar a interação entre o efeito inibidor do alumínio e o efeito estimulador do nitrogênio na produção de grãos e alocação de matéria seca no colmo principal e afilhos.

MATERIAL E MÉTODOS

Três experimentos foram conduzidos a campo, em telado e em câmara de crescimento, nos anos de 2000, 2002 e 2003. Os experimentos foram implantados no município de Lages, localizado no Planalto Sul de Santa Catarina.

O ensaio de campo foi instalado num Nitossolo Vermelho distrófico típico (EMBRAPA, 1999) que ainda não havia sido cultivado com culturas anuais nem recebido calcário. A análise do solo apresentou os seguintes resultados: 590g kg⁻¹ de argila; pH em água 4,5 e pH SMP 4,7; 2,2mg L⁻¹ de P; 70mg L⁻¹ de K; 50g kg⁻¹ de MO; 3,0cmol_c kg⁻¹ de Al; 1,0cmol_c kg⁻¹ de Ca; e 0,9cmol_c kg⁻¹ de Mg.

O delineamento experimental foi o de blocos completamente casualizados, dispostos em parcelas subdivididas, com quatro repetições por tratamento. Na parcela principal, foram alocados três níveis de correção do solo (sem correção, ¼ da dose e dose integral de calcário dolomítico para elevar o pH em água até 6,0), de acordo com a análise do solo e as recomendações da COMISSÃO SULBRASILEIRA DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (2004). O calcário foi incorporado ao solo três meses antes da semeadura do ensaio. Na subparcela, foram alocados quatro momentos de aplicação do nitrogênio em cobertura: na emergência das plantas; com uma folha e meia, estágio Haun 1,5; com duas folhas e meia, estágio Haun 2,5; e com quatro folhas totalmente expandidas e 10% da quinta folha, estágio 4,1 - época atualmente recomendada pela pesquisa. A dose de nitrogênio aplicada em todos os tratamentos foi de 65kg ha⁻¹ de N⁻¹, na forma de uréia.

A semeadura foi realizada no dia 17 de julho de 2002, como uma semeadora/adubadora de parcelas. A densidade foi de 300 sementes aptas por metro

quadrado e a cultivar utilizada foi a "EMBRAPA 16" (também empregada nos demais experimentos). O espaçamento entre linhas foi de 0,20m. Cada subparcela foi constituída por cinco linhas de 5m de comprimento. As três linhas centrais perfizeram a área útil de 2,4m², na qual os rendimentos de grãos e de seus componentes foram determinados. O experimento foi conduzido sob condições naturais de precipitação.

A adubação constou da aplicação de 150kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 150 kg ha⁻¹ de K₂O, aplicados na forma de superfosfato triplo e cloreto de potássio, antes da semeadura. As demais práticas culturais foram adotadas para a obtenção de elevado rendimento de grãos e seguiram as recomendações para a cultura.

O ensaio em telado foi conduzido no ano de 2000, em caixas quadradas com 1,2m de lado e 0,30m de profundidade. Estas foram preenchidas com um Cambissolo Húmico aluminico (EMBRAPA, 1999), que apresentava as seguintes características: 400g kg⁻¹ de argila; pH em água 4,7 e pH SMP 4,9; 2,3mg L⁻¹ de P; 24mg L⁻¹ de K; 26g kg⁻¹ de MO; 3,3cmol_c kg⁻¹ de Al; 0,9cmol_c kg⁻¹ de Ca; e 0,7cmol_c kg⁻¹ de Mg. A adubação realizada no momento da semeadura foi com 150kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 150kg ha⁻¹ de K₂O, sendo utilizados como fontes o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente. A aplicação do calcário foi feita três meses antes da condução do experimento.

O delineamento experimental foi o de blocos completamente casualizados, dispostos em esquema fatorial (3 x 4), com três repetições. Os tratamentos testados foram os mesmos do experimento de campo, assim como a dose de N aplicada a todos os tratamentos.

A semeadura do segundo ensaio foi realizada no dia 06 de julho de 2000, em sulcos de 3cm de profundidade. A densidade empregada foi de 300 sementes aptas por metro quadrado. O espaçamento entre linhas foi de 0,20m. Cada parcela foi constituída por seis linhas de 1,1m de comprimento. As quatro linhas centrais foram consideradas como área útil da parcela. O experimento foi irrigado sempre que necessário para manter a umidade próxima da capacidade de campo.

O terceiro experimento foi conduzido em câmara de crescimento e solução nutritiva. As condições ambientais na câmara de crescimento foram: 70% de umidade relativa do ar, 20°C de temperatura diurna e 10°C de temperatura noturna; 12 horas de luz por dia, obtida por meio de 20 lâmpadas fluorescentes e 4 lâmpadas incandescentes e radiação fotossinteticamente ativa ao nível da planta de 408mmol m⁻² s⁻¹.

O delineamento experimental foi completamente casualizado em esquema fatorial (3 x 4),

com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído de três concentrações de alumínio (0, 8 e 32mg L⁻¹); o segundo fator foi constituído de quatro épocas de aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva: na emergência; no estádio 1,5; estádio 2,5; e estádio 4,1, da escala proposta por HAUN (1973). As concentrações de nitrogênio foram 15mg L⁻¹ (inicial, antes do tratamento de N) e 150mg L⁻¹ (final – após o tratamento de N). As concentrações de alumínio e de nitrogênio foram definidas em testes preliminares com plantas, observando-se o efeito na emissão de afilhos. O alumínio e o nitrogênio foram aplicados na forma de AlCl₃ e N-NO₃:N-NH₄⁺, numa razão constante de 4:1 (JONES JR, 1983). As concentrações de cálcio e magnésio na solução foram de 160 e 48,6mg L⁻¹. Os demais nutrientes estavam presentes em concentrações de acordo com solução nutritiva de Hoagland, modificada por JONES JR (1983).

As sementes de trigo foram pré-germinadas em papel umedecido com água destilada. Após 96 horas de pré-germinação, foram escolhidas cinco plantas que apresentavam coleóptile em torno de 1 a 2cm, uma raiz principal e duas secundárias, com aproximadamente 3cm de comprimento. As plântulas escolhidas foram fixadas na altura do colo, em furos de 1cm de diâmetro, feitos em placa de isopor, distanciados cerca de 3cm entre si, e as raízes mergulhadas em solução nutritiva. Cada vaso recebeu 2 litros de solução nutritiva, que foram aplicados e renovados semanalmente. O pH foi ajustado diariamente, mantendo os valores iniciais de 4,0, 5,2 e 6,2 ± 0,2 com NaOH 0,1M ou HCl 0,1M, respectivamente, para as concentrações de 32, 8 e 0mg L⁻¹ de alumínio. A solução nutritiva foi aerada continuamente com ar comprimido, por meio de um compressor, com uma pressão de 30 lb pol⁻².

A denominação das folhas e afilhos foi adaptada do padrão utilizado por MASLE (1985). Os afilhos foram denominados pela letra A, seguido do número da folha de cujo nó são originados. Dessa forma: A0 – afilho originado do nó do coleóptile; A1 afilho originado do nó da primeira folha do colmo principal; A1.1 – afilho originado do nó da primeira folha do A1; AN – afilho originado do nó da enésima folha do colmo principal.

A campo, as parcelas foram colhidas no dia 11 de dezembro de 2002, quando foi atingida a maturação de colheita. Em telado, as plantas foram colhidas em 29 de novembro de 2000, quando os grãos estavam com 30% de umidade. No experimento em câmara de crescimento, as plantas foram colhidas 39 dias após o transplante. Nos experimentos de campo e de telado, foram determinados o rendimento de grãos e os componentes do rendimento. Os grãos do colmo

principal (CP) e dos afilhos foram secados separadamente em estufa, a 65°C, até massa constante. Os valores foram corrigidos para 13% de umidade e extrapolados para um metro quadrado. O número de espigas foi determinado através de contagem direta e extrapolado para um metro quadrado, enquanto que a massa de grãos foi determinada em 400 grãos amostrados aleatoriamente das plantas colhidas e extrapolada para 1.000 grãos.

Nos três experimentos, determinou-se a MS (matéria seca) do CP e dos afilhos. A campo e em telado, a matéria seca do colmo principal e dos afilhos foi determinada em 20 plantas retiradas do total de plantas colhidas, enquanto que, em câmara de crescimento, isso foi feito nas cinco plantas que constituíam cada tratamento. As plantas foram separadas em colmo principal e afilhos. Após a separação, o colmo principal e os afilhos foram colocados separadamente em sacos de papel para secagem em estufa de fluxo de ar contínuo, a aproximadamente 65°C, até massa constante.

Em telado, foi realizada uma coleta de plantas 59 dias após a emergência para determinação do teor N no CP e nos afilhos. O mesmo foi feito com as plantas colhidas 39 dias após o transplante no experimento em câmara de crescimento. As amostras, separadas em CP, A1 e A2, foram secadas por 72 horas em estufa com circulação forçada de ar quente a 65°C e moídas em moinho de facas. Após, o material foi submetido à digestão por H₂O₂ e H₂SO₄ em bloco digestor, a uma temperatura de 350-370°C, por um período de duas horas. O nitrogênio foi determinado pelo método semimicro Kjeldahl em microdestilador, conforme metodologia proposta por TEDESCO et al. (1995).

Os dados foram analisados estatisticamente através da Análise de Variância, utilizando-se o teste F. As médias foram comparadas pelo teste de Duncan ao nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito da interação entre os níveis de correção do solo (campo e telado) ou concentração de alumínio na solução (câmara de crescimento) e a época de aplicação do nitrogênio sobre o rendimento de grãos (RG), massa de mil grãos (MMG), número de espigas por metro quadrado (NE), matéria seca (MS) do colmo principal (CP) e de afilhos (AF), nos três ambientes em que se conduziu o trabalho (Tabelas 1 e 2).

Tanto a campo, como em telado, o maior rendimento de grãos foi obtido nos tratamentos com correção total do solo e o menor quando não foi

aplicado calcário (Tabela 1). A correção parcial do solo propiciou rendimento de grãos inferior a campo, e semelhante em telado, ao tratamento com correção total, na média das épocas de aplicação do N em cobertura (Tabela 1). Em telado, a presença do alumínio foi provavelmente o único fator limitante ao crescimento das plantas no tratamento com ¼ da dose. Neste ambiente, os valores de rendimento foram elevados com a correção parcial e semelhantes à dose integral (Tabela 1). Já a campo, onde outros fatores restritivos possivelmente se associaram ao alumínio, a correção parcial da camada arável não foi suficiente para manter tetos de produtividade semelhantes aos registrados com a correção total.

A campo, não houve efeito da época de aplicação do nitrogênio sobre o rendimento de grãos. Já em telado, verificou-se menor rendimento de grãos com a aplicação de N no estádio de 1,5 folhas do que com 2,5 e 4,1 folhas (Tabela 1). A falta de interação entre época de aplicação do nitrogênio e nível de correção da acidez no solo demonstra que a aplicação precoce de N em cobertura (emergência ou 1,5 folhas) não foi eficaz para minimizar os efeitos inibitórios do alumínio e propiciar maior rendimento de grãos, em relação à época recomendada (4,1 folhas). Analisando-se os componentes do rendimento, percebe-se que o número de espigas por área não foi afetado pela época de aplicação de nitrogênio nos dois ambientes. Isto corrobora a atual recomendação de adubação nitrogenada feita pela COMISSÃO SULBRASILEIRA DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (2004), a qual sugere a aplicação do N a partir do início do perfilhamento, demonstrando que a antecipação da fertilização nitrogenada não estimulou uma maior participação dos afilhos na formação do rendimento de grãos.

Os componentes do rendimento também variaram entre os experimentos. A calagem integral propiciou a obtenção de grãos mais pesados no experimento de campo e não interferiu sobre a massa de 1.000 grãos em telado (Tabela 1). A ausência de calagem reduziu o número de espigas por metro quadrado no telado e não interferiu sobre esta variável a campo. O número médio de espigas por metro quadrado obtido a campo (220) foi semelhante aos valores normalmente encontrados em lavouras comerciais, que variam entre 200 e 300 (GALLI, 1996). Já em telado, obteve-se uma média de 638 espigas por metro quadrado, valor compatível com o que se obtém em lavouras de países com alta produtividade de trigo, como os Estados Unidos (GOOS et al. 1999). Como nos dois ensaios foram utilizadas 300 sementes aptas por metro quadrado, percebe-se que houve maior

Tabela 1 - Rendimento de grãos, massa de mil grãos e número de espigas de trigo por área, em quatro épocas de aplicação de nitrogênio, três níveis de correção do solo e dois ambientes.

Correção	Época de aplicação do nitrogênio				Média
	Emerg ^{1/}	1,5 Haun ^{2/}	2,5 Haun ^{3/}	4,1 Haun ^{4/}	
-----Rendimento a campo (13% umidade, g m ⁻²)-----					
S/ calcário	166,6 ns	167,3	166,9	163,9	165,7 b*
¼ Da dose	209,2	180,7	167,6	168,9	181,6 b
Dose integral	199,1	227,0	234,5	208,0	217,4 a
Média	191,0 ns	227,0	189,7	180,5	
-----Rendimento em telado (13% umidade, g m ⁻²)-----					
S/ calcário	522,1 ns	416,8	485,30	517,5	485,4 b
¼ Da dose	530,4	547,5	612,7	595,0	571,4 a
Dose integral	537,4	543,1	607,9	604,1	573,1 a
Média	AB 530,0	B 502,5	A 568,6	A 572,2	
-----Massa de 1000 grãos a campo (g)-----					
S/ calcário	28,3 ns	28,0	27,7	26,5	27,6 b
¼ Da dose	29,1	27,2	28,9	27,5	28,2 b
Dose integral	31,0	30,9	30,0	27,4	29,8 a
Média	A 29,5	A 28,7	A 28,9	B 27,1	
-----Massa de 1000 grãos em telado (g)-----					
S/ calcário	40,3 ns	39,6	38,6	39,7	39,6 ns
1/4 da dose	39,7	39,8	39,7	39,9	39,8
Dose integral	38,3	39,1	39,6	39,4	39,1
Média	39,4 ns	39,5	39,3	39,7	
-----Espigas por área a campo (n° m ⁻²)-----					
S/ calcário	177ns	234	236	219	217ns
1/4 da dose	244	192	190	219	211
Dose integral	211	254	240	228	233
Média	211ns	227	222	222	
-----Espigas por área em telado (n° m ⁻²)-----					
S/ calcário	564 ns	504	546	666	570 b
1/4 da dose	681	654	621	651	651 a
Dose integral	645	720	711	699	693 a
Média	630 ns	627	624	672	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e antecedidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%.

^{1/} na emergência das plantas; ^{2/} com uma folha e meia; ^{3/} com duas folhas e meia; ^{4/} com quatro folhas totalmente expandidas e 10% da quinta folha.

afilhamento efetivo no telado do que a campo. As grandes diferenças entre campo e telado quanto à produção de espigas por área da cultivar “EMBRAPA 16” sugerem que a maior limitação à participação de afilhos no rendimento é do ambiente e não do genótipo.

A época de aplicação do fertilizante nitrogenado não afetou a MS acumulada no CP, tanto no experimento realizado a campo quanto no conduzido em telado (Tabela 2). Para os afilhos, a campo foi detectado efeito da época de aplicação, enquanto que em telado não (Tabela 2). A elevação precoce da concentração de N na solução nutritiva determinou maior acúmulo de MS no CP e nos afilhos. Nos três ambientes, com exceção da MS no CP em telado e da

MS dos afilhos a campo, houve efeito supressivo da presença de altas concentrações de alumínio na solução sobre o acúmulo de fitomassa no colmo principal e nos afilhos. Com base nos resultados de acúmulo de MS, pode-se inferir que, em ambientes onde diversos fatores interferem no processo de aphilamento, tais como a campo e em telado, não houve vantagem em antecipar a aplicação do N em cobertura. Por outro lado, a aplicação precoce de N estimulou o aphilamento quando se controlou mais intensamente todos os fatores de produção na câmara de crescimento. Assim, mesmo considerando-se que a definição da emissão dos afilhos ocorre precocemente (ALMEIDA et al., 2000), a antecipação da adubação de cobertura não se mostrou

Tabela 2 – Matéria seca acumulada no colmo principal e nos afilhos de trigo, em três níveis de correção do solo (a campo e em telado) ou três concentrações de alumínio na solução (câmara de crescimento), em quatro épocas de aplicação de nitrogênio.

Tratamentos	Época de aplicação do nitrogênio				
	Emerg ^{1/}	1,5 Haun ^{2/}	2,5 Haun ^{3/}	4,1 Haun ^{4/}	Média
-----Matéria seca do colmo principal a campo (g m ⁻²)-----					
Correção					
S/ calcário	70,4 ns	82,3	97,6	96,8	86,7 b
1/4 da dose	108,1	92,1	88,0	90,1	94,6 ab
Dose integral	79,7	125,7	119,9	104,6	107,5 a
Média	86,0 ns	100,0	101,8	97,6	
-----Matéria seca do colmo principal em telado (g m ⁻²)-----					
Correção					
S/ calcário	28,31 ns	30,27	27,68	27,79	28,51 ns
1/4 da dose	29,20	28,51	29,98	28,57	29,06
Dose integral	38,29	27,81	28,98	29,44	31,13
Média	31,94 ns	28,86	28,88	28,60	
-----Matéria seca do colmo principal em câmara de crescimento (g cinco plantas ⁻¹)-----					
Alumínio					
32 mgL ⁻¹	1,13	1,04	1,00	0,88	1,01 b
8 mgL ⁻¹	1,75	1,69	1,70	1,44	1,65 a
0 mgL ⁻¹	1,83 ns	1,70	1,69	1,52	1,68 a
Média	A 1,57	A 1,47	A 1,46	B 1,28	
-----Matéria seca dos afilhos a campo (g m ⁻²)-----					
Correção					
S/ calcário	30,0 ns	21,7	10,7	24,1	21,6 ns
1/4 da dose	23,1	37,4	20,0	28,5	27,2
Dose integral	31,1	23,8	20,1	28,4	25,9
Média	A 28,1	A 27,6	B 16,9	A 27,9	
-----Matéria seca dos afilhos em telado (g m ⁻²)-----					
Correção					
S/ calcário	16,02 ns	12,37	19,28	25,16	18,21 b*
1/4 da dose	26,41	28,55	23,42	26,74	26,28 a
Dose integral	26,82	30,03	31,35	33,28	30,37 a
Média	23,08 ns	23,65	24,69	28,39	
-----Matéria seca dos afilhos em câmara de crescimento (g cinco plantas ⁻¹)-----					
Alumínio					
32 mgL ⁻¹	1,86 ns	1,61	1,25	1,21	1,49 c
8 mgL ⁻¹	4,68	4,35	4,51	3,90	4,36 a
0 mgL ⁻¹	4,52	4,33	3,59	3,35	3,95 b
Média	A 3,69	AB 3,43	BC 3,12	C 2,82	

* Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e antecedidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%.

^{1/} na emergência das plantas; ^{2/} com uma folha e meia; ^{3/} com duas folhas e meia; ^{4/} com quatro folhas totalmente expandidas e 10% da quinta folha.

eficiente em aumentar o acúmulo de matéria seca dos afilhos e, conseqüentemente, as suas chances de serem produtivos, independentemente do nível de correção do solo. Segundo MUNDSTOCK & BREDEMEIER (2001), a aplicação tardia de N é interessante para algumas cultivares, pois o nitrogênio é mais importante para a sobrevivência dos afilhos.

Não houve efeito significativo da época de aplicação de nitrogênio sobre o teor de N do CP tanto em telado quanto em câmara de crescimento (Tabela 3). O CP apresenta dominância sobre os afilhos, o que determina priorização de alocação de nutrientes (MARTIN, 1987). Isso pode ter minimizado o efeito da época de aplicação do nitrogênio sobre o teor de N no tecido.

Os afilhos do nó da primeira folha (A1) e do nó da segunda folha (A2) são os mais importantes para a formação do rendimento de grãos, pois são os com maiores chances de serem produtivos (MERROTO JR, 1995; ALMEIDA et al., 2000; ALMEIDA & MUNDSTOCK, 2001). Em telado, observou-se interação entre o momento de aplicação do N e os níveis de correção do solo (Tabela 3). Esta interação provavelmente ocorreu pela ausência do afilho A1 no tratamento onde o N foi aplicado no estágio Haun 1,5 e não recebeu calcário. Entre os demais tratamentos, não houve diferença na porcentagem de N acumulado no tecido. Em câmara de crescimento observou-se menor teor de N no A1 do tratamento que apresentava 8mg L⁻¹ de alumínio na solução.

Tabela 3 – Teor de nitrogênio no colmo principal, nos afilhos A1 e A2 de trigo, em três níveis de correção do solo (telado) ou três concentrações de alumínio na solução (câmara de crescimento), em quatro épocas de aplicação de nitrogênio.

Tratamentos	Época de aplicação do nitrogênio				
	Emerg ^{1/}	1,5 Haun ^{2/}	2,5 Haun ^{3/}	4,1 Haun ^{4/}	Média
-----Teor de N no colmo principal em telado (%)-----					
S/ calcário	3,36 ns	3,14	3,86	3,82	3,55 ns
1/4 da dose	2,58	2,54	3,27	3,31	3,16
Dose integral	3,04	3,36	3,48	2,75	2,93
Média	3,00 ns	3,02	3,54	3,29	
-----Teor de N no colmo principal em câmara de crescimento (%)-----					
Alumínio					
32 mg L ⁻¹	4,96 ns	4,56	5,01	5,11	4,91 a*
8 mg L ⁻¹	4,63	4,44	4,54	4,45	4,51 b
0 mg L ⁻¹	4,44	4,45	4,45	4,73	4,52 b
Média	4,68 ns	4,49	4,67	4,76	
-----Teor de N no afilho A1 em telado (%)**-----					
S/ calcário	A3,43 a	B 0,00 b***	A 1,66 a	A 2,08 a	1,63
1/4 da dose	A3,08 a	A 3,10 a	A 3,41 a	A 2,06 a	2,90
Dose integral	A3,28 a	A 3,53 a	A 3,48 a	A 3,47 a	3,44
Média	3,27	1,95	2,79	2,51	
-----Teor de N no afilho A1 em câmara de crescimento (%)**-----					
Alumínio					
32 mg L ⁻¹	5,70 ns	5,74	5,97	5,90	5,83 a
8 mg L ⁻¹	5,10	5,09	5,51	5,37	5,27 c
0 mg L ⁻¹	5,62	5,60	5,79	5,10	5,53 b
Média	5,47 ns	5,48	5,76	5,46	
-----Teor de N no afilho A2 em telado (%)**-----					
S/ calcário	2,73 ns	2,90	3,57	2,29	2,87 ns
1/4 da dose	1,96	2,46	3,05	2,87	2,59
Dose integral	2,85	3,22	3,15	3,36	3,14
Média	2,51 ns	2,86	3,26	2,84	
-----Teor de N no afilho A2 em câmara de crescimento (%)**-----					
Alumínio					
32 mg L ⁻¹	A 5,78 a	A 6,13 a	A 6,14 a	A 6,15 a	6,05
8 mg L ⁻¹	A 5,51 a	A 5,39 b	A 5,57 b	A 5,50 b	5,45
0 mg L ⁻¹	B 4,53 b	A 5,26 b	A 5,44 b	A 5,34 b	5,19
Média	5,27	5,59	5,72	5,66	

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal e minúscula na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan, ao nível de significância de 5%. ** Dados transformados (raiz quadrada de x + 1). *** O afilho A1 não foi emitido nesse tratamento.

^{1/} na emergência das plantas; ^{2/} com uma folha e meia; ^{3/} com duas folhas e meia; ^{4/} com quatro folhas totalmente expandidas e 10% da quinta folha.

O teor de N do A2 não foi afetado significativamente pelos tratamentos em telado (Tabela 3). Na câmara de crescimento, os maiores teores de N no tecido foram verificados nos tratamentos com presença de alumínio, independentemente da época de alteração do conteúdo de N da solução. Por outro lado, na ausência de alumínio, verificou-se menor teor de N no A2 quando a concentração de nitrogênio da solução nutritiva foi elevada antecipadamente no estágio 1,5Haun.

As avaliações de concentração de N no tecido do CP e dos afilhos tinham por objetivo verificar se havia correlação entre o efeito inibitório do alumínio

e a percentagem de N no tecido dessas estruturas. Através dos resultados expressos na tabela 3, pode-se verificar que ocorreu maior teor de N no tecido na presença de alumínio. Este mesmo comportamento foi registrado por ALVES et al. (1988), analisando os efeitos do alumínio sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo. Segundo os autores, o alumínio pode aumentar a absorção de nitrato mediante estímulo da atividade e/ou síntese da nitrato-redutase. Também é possível que ele estimule a absorção de amônio mediante efeito modulador positivo sobre a síntese da L-glutamina das células radiculares. Diferentemente disso, GOMES et al. (1985) e CAMBRAIA et al. (1989)

verificaram que, em elevada concentração de alumínio, há interferência na aquisição e no metabolismo nitrogenado, havendo diminuição na absorção, translocação e redução do nitrato em raízes. Esses resultados podem estar indicando que o menor afilhamento obtido em solos com alumínio possivelmente seja por outro fator, mas não pela restrição de N. Em diversos experimentos, tem sido verificada omissão mais intensa do A1 do que do A2, e uma das hipóteses era a de que esse afilho (A1) seria discriminado no recebimento de nutrientes, especialmente de nitrogênio. Observando-se os valores obtidos para percentagem de N nos afilhos A1 e A2, pode-se dizer que isso não ocorreu, tanto no experimento em telado como em câmara de crescimento. Assim, a análise conjunta dos dados dos três experimentos indica que a prática de variação do momento de aplicação do N em cobertura não foi eficiente na diminuição do efeito inibitório do alumínio, na emissão e sobrevivência dos afilhos.

CONCLUSÕES

A aplicação de nitrogênio antes do início do afilhamento não se mostrou eficiente para minimizar os efeitos tóxicos do alumínio sobre os afilhos e aumentar suas chances de serem produtivos. Independentemente do ambiente avaliado, a aplicação precoce de N não aumentou o rendimento de grãos de trigo, tanto em presença quanto na ausência de alumínio. Os resultados deste trabalho corroboram as atuais recomendações feitas pela COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO referentes à época de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.L. de; MUNDSTOCK, C.M. A qualidade da luz afeta o afilhamento em plantas de trigo quando cultivadas sob competição. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.4, p.401-408, 2001.
- ALMEIDA, M.L. de et al. Determinação do momento da emissão de afilhos de trigo usando suplementação com luz vermelha e luz vermelha extrema. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v.6, n.1, p.89-97, 2000.
- ALVES, V.M.C. et al. Efeito do alumínio sobre a absorção e translocação de fósforo e sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.23, p.563-567, 1988.
- BEUTLER, A.N. et al. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p.923-928, 2001.
- BRASIL. **Recomendações Técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil**. Londrina: Ministério da Agricultura, 1998. 44p.
- CAMBRAIA, J. et al. Aluminum effects on nitrate uptake and reduction in sorgum. **Journal Plant Nutrition**, New York, v.12, p.1435-1445, 1989.
- CAVIGLIA, O.P.; SADRAS, V.O. Effect of nitrogen supply on crop conductance water-and radiation-use efficiency of wheat. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.69, p.259-266, 2001.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- DEMOTES-MAINARD, S. et al. Spike dry matter and nitrogen accumulation before anthesis in wheat as affected by nitrogen fertilizer: relationship to kernels per spike. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.64, p.249-259, 1999.
- EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.143-150, 1986.
- ERNANI, P.R. et al. Increase of grain and green matter of corn by liming. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.2, p.275-280, 1998.
- ERNANI, P.R. et al. Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v.94, p.305-309, 2002.
- FREITAS, J.G. DE. et al. Resposta ao calcário e ao fósforo de genótipos de trigo com diferentes tolerâncias ao alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.557-566, 2000.
- GALLI, A.P. **Competição intraespecífica e o crescimento de trigo e aveia em duas épocas de cultivo**. 1996. 78f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- GOMES, M.M.S. et al. Aluminum effects on uptake and translocation of nitrogen in sorgum (*Sorghum bicolor* L Moench). **Journal Plant Nutrition**, New York, v.8, p.457-465, 1985.
- GOOS, R.J. et al. Response of spring wheat to nitrogen fertilizers of different nitrification rates. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, p.287-293, 1999.
- HAUN, J.R. Visual quantification of wheat development. **Agronomy Journal**, Madison, v.65, n.1, p.116-119, 1973.
- JONES JUNIOR, J.B. **A guide for the hidroponic & soilles culture grower**. Portland: Timber, 1983. 124p.
- LALOUX, R. et al. Nutrition and fertilization of wheat. In: HAFLINGER, E. **Wheat**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.19-24.

LONGNECKER, N. et al. A. Leaf emergence tiller growth and apical development of nitrogen-deficient spring wheat. **Crop Science**, Madison, v.33, n.1, p.154-160, 1993.

MARTIN, G.C. Apical dominance. **Hort Science**, St. Joseph, v.22, n.5, p.824-833, 1987.

MASLE, J. Competition among tillers in winter wheat: consequences for growth and development of the crops. In: DAY, W; ATKIN, R.K. **Wheat growth and modelling**. New York: Plenum, 1985. p.33-54.

MUNDSTOCK, C.M.; BREDEMEIER, C. Disponibilidade de nitrogênio e sua relação com o afilhamento e o rendimento de grãos de aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, p.205-211, 2001.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).