

MARCELO CURITIBA ESPINDULA

**INIBIDOR DE UREASE (NBPT) E A EFICIÊNCIA DA URÉIA NA
FERTILIZAÇÃO DO TRIGO IRRIGADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

E77i
2010

Espindula, Marcelo Curitiba, 1981-
Inibidor de urease (NBPT) e a eficiência da uréia na
fertilização do trigo irrigado / Marcelo Curitiba Espindula.
– Viçosa, MG, 2010.
x, 70f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Valterley Soares Rocha.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Trigo - Adubos e fertilizantes. 2. Fertilizantes
nitrogenados. 3. Urease. 4. Uréia. 5. Trigo - Rendimento.
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

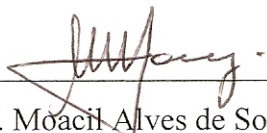
CDD 22.ed. 633.11894

MARCELO CURITIBA ESPINDULA

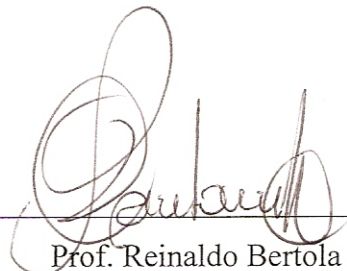
**INIBIDOR DE UREASE (NBPT) E A EFICIÊNCIA DA URÉIA NA
FERTILIZAÇÃO DO TRIGO IRRIGADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

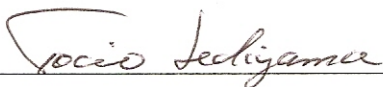
APROVADA: 22 de junho de 2010.



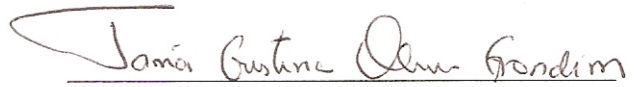
Prof. Moacil Alves de Souza
(Coorientador)



Prof. Reinaldo Bertola Cantarutti
(Coorientador)



Prof. Tocio Sedyama



Dra. Tânia Cristina de Oliveira Gondim



Prof. Valterley Soares Rocha
(Orientador)

**“Que o mel é doce
É coisa que eu
Me nego afirmar
Mas que parece doce
Isso eu afirmo plenamente”**

(Raul Seixas)

À minha mãe, meu pai e meus irmãos,
e à Marcela Campanharo por terem acreditado incentivado e esperado. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo!

Aos meus pais **Clério Simões Espíndula** e **Anilda Curitiba Espíndula**, aos meus irmãos **Cleyson Curitiba Espíndula** e **Enielton Curitiba Espíndula**.

À minha amada, **Marcela Campanharo**, por ter participado ativamente da realização deste sonho; por estar ao meu lado em todos os momentos e por me entender, sempre que possível.

Ao professor Valterley Soares Rocha pela orientação, ensinamentos e amizade durante estes cinco anos de convivência.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realizar o curso de Doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e taxa de bancada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro concedido.

À Agrotain International LLC (Agrotain[®]) nas pessoas dos senhores Douglas Zonta e Luiz Lourenço Jr. pela disponibilização de material e pelo apoio prestado.

À Dra. Cynthia Grant da “Agriculture and Agri-Food Canada” pelo apoio concedido.

Aos meus sogros, Paulino e Lourdes, cunhados, Eduardo e Alex e, a minha concunhada Patricia pela compreensão e apoio.

Aos colegas de república Gilberto, Patrik, Wagner e agregados Juliano Molino e Alexandre Faria.

Aos amigos da pós-graduação: Leandro Torres, João Batista, João Henrique, Heder Braun, Flávio, Adérico, Juarez, Josiane, Guilherme (Chê), Fernando Soares, Marcelo Reis, Marcos, Nelson, Milton, Carlos Eduardo, Welisson, Jean, Lendro Pin, André Quintão, Danilo, Gustavo Dias, Gustavo Fialho, Flávia Mariani, Flávia Zonta, Márcio Dias, Gabriel, Maristela, Elaine Heberle, Patricia, Luis Francisco e Frederico.

Aos professores da UFV: Moacil Alves de Souza, Reinaldo Bertola Cantarutti e Paulo Roberto Cecon, pelas orientações na coleta, análises dos dados e confecção da tese.

Aos estagiários Luiz Fernando e Guilherme de Sousa, pela amizade e por toda ajuda prestada durante a coleta de dados de todos os experimentos.

Aos colegas Raul, Alexandra, Rauzinho, Kelly Bada, Tânia, Fernando Almeida e Luciana pelo convívio amigável.

BIOGRAFIA

MARCELO CURITIBA ESPINDULA, filho de Anilda Curitiba Espíndula e Clério Simões Espíndula, nasceu na cidade de Colatina, Espírito Santo, Brasil, no dia 08 de outubro de 1981.

Em 1995 concluiu a 8ª série do 1º grau na “Escola de Primeiro e Segundo graus São Domingos” em São Domingos do Norte – ES.

Em 1998 concluiu o 2º grau na “Escola Agrotécnica Federal de Colatina”, Colatina – ES, onde também obteve o título de Técnico em Agropecuária.

Em setembro de 1999 ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo, graduando-se em Engenharia Agrônômica em maio de 2004.

Em março de 2005, iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, vindo a defender dissertação em março de 2007.

Em março de 2007, iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, vindo a defender tese em junho de 2010.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| RESUMO..... | vii |
| ABSTRACT..... | ix |
| INTRODUÇÃO GERAL..... | 1 |
| OBJETIVO GERAL..... | 3 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 3 |
| Experimento 1..... | 3 |
| Experimento 2..... | 3 |
| Experimento 3..... | 3 |
| Experimento 4..... | 3 |
| REFERÊNCIAS..... | 3 |
| | |
| INIBIDOR DE UREASE (NBPT) E A EFICIÊNCIA DA URÉIA APLICADA EM DOSE ÚNICA OU PARCELADA NA CULTURA DO TRIGO..... | 6 |
| RESUMO..... | 7 |
| ABSTRACT..... | 7 |
| INTRODUÇÃO..... | 8 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 9 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 11 |
| CONCLUSÕES..... | 15 |
| AGRADECIMENTOS..... | 16 |
| REFERÊNCIAS..... | 16 |
| | |
| DOSES DE URÉIA COM INIBIDOR DE UREASE (NBPT) APLICADO EM COBERTURA NA CULTURA DO TRIGO..... | 19 |
| RESUMO..... | 20 |
| ABSTRACT..... | 20 |
| INTRODUÇÃO..... | 21 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 22 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 25 |
| CONCLUSÕES..... | 31 |
| AGRADECIMENTOS..... | 31 |
| REFERÊNCIAS..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| INIBIDOR DE UREASE PARA MAXIMIZAÇÃO DO USO DA URÉIA EM CONDIÇÕES DE AUSÊNCIA DE IRIGAÇÃO..... | 35 |
| RESUMO..... | 36 |
| ABSTRACT..... | 36 |
| INTRODUÇÃO..... | 37 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 38 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 40 |
| CONCLUSÕES..... | 45 |
| AGRADECIMENTOS..... | 45 |
| REFERÊNCIAS..... | 45 |
| | |
| VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DA URÉIA COM INIBIDOR DE UREASE (NBPT) EM CONDIÇÕES DE AUSÊNCIA DE IRIGAÇÃO..... | 48 |
| RESUMO..... | 49 |
| ABSTRACT..... | 49 |
| INTRODUÇÃO..... | 50 |
| MATERIAL E MÉTODOS..... | 51 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 53 |
| CONCLUSÕES..... | 58 |
| AGRADECIMENTOS..... | 58 |
| REFERÊNCIAS..... | 58 |
| | |
| CONCLUSÕES GERAIS..... | 61 |
| APÊNDICE..... | 62 |

RESUMO

ESPINDULA, Marcelo Curitiba, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2010.

Inibidor de urease (NBPT) e a eficiência da uréia na fertilização do trigo irrigado.

Orientador: Valterley Soares Rocha. Coorientadores: Moacil Alves de Souza e Reinaldo Bertola Cantarutti.

O NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) é uma substância inibidora da urease que vem se apresentando como uma das mais promissoras para a maximização do uso do nitrogênio da uréia em sistemas agrícolas. Objetivou-se com esse estudo avaliar a eficiência da uréia com o inibidor de urease NBPT [N-(n-butil) tiofosfórico triamida] (Agrotain[®]) na fertilização do trigo (*Triticum aestivum* L.) irrigado. O estudo foi conduzido na Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello da Universidade Federal de Viçosa em Viçosa-MG (20°45' S e 42°51' W e altitude de 650 metros), nos anos de 2006, 2007 e 2008. Foram realizados quatro experimentos no delineamento em blocos casualizados. No primeiro, plantas de trigo 'Pioneiro' foram submetidas a dois tratamentos (uréia ou uréia+NBPT) aplicadas de duas formas: dose total na semeadura (60 kg ha⁻¹) ou parcelada (20 kg ha⁻¹ na semeadura + 40 kg ha⁻¹ em cobertura no perfilhamento), constituindo um fatorial 2×2 com dez repetições. Concluiu-se que o parcelamento da fertilização nitrogenada não traz benefícios à cultura do trigo sob as condições de cultivo propostas; o uso do inibidor de urease (NBPT) é benéfico à cultura do trigo somente quando a uréia é aplicada em cobertura. O segundo experimento, conduzido com trigo 'BRS 254', foi instalado em esquema fatorial 5×2+1 com quatro repetições. Os tratamentos constituíram da aplicação de cinco doses de N em cobertura, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ na forma de uréia ou uréia+NBPT, mais uma testemunha que não recebeu aplicação de N em cobertura. Concluiu-se que a adição do inibidor de urease (NBPT) junto à uréia promove maior aproveitamento de N pelas plantas de trigo; a dose de N, em cobertura, que proporciona melhor recuperação aparente do N pelas plantas de trigo é a de 100 kg ha⁻¹ e a que proporciona melhor eficiência de uso de N é a de 90 kg ha⁻¹. O terceiro experimento, conduzido com trigo 'BRS 254', foi instalado em esquema fatorial 2×6+1 com quatro repetições. Os tratamentos foram uréia ou uréia+NBPT combinadas com seis períodos de ausência de irrigação, 0, 48, 96, 144, 192 e 240 horas após a aplicação do fertilizante em cobertura, mais uma testemunha sem aplicação de N em cobertura. Concluiu-se que o NBPT não proporciona vantagens agronômicas à cultura do trigo, sob as condições estudadas; a ausência de irrigação após a aplicação de uréia em cobertura proporciona menor aproveitamento de N pelas plantas de trigo. O quarto experimento consistiu na avaliação da volatilização de amônia (NH₃) nos tratamentos do terceiro experimento. As avaliações foram

realizadas às 48, 96, 144, 192, 240 e 600 horas após a fertilização de cobertura. Concluiu-se que a uréia+NBPT proporciona menor volatilização de NH_3 que a uréia; a ausência de irrigação aumenta a volatilização de NH_3 da uréia, mas não afeta a volatilização de NH_3 da uréia+NBPT.

ABSTRACT

ESPINDULA, Marcelo Curitiba, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2010. **Urease inhibitor (NBPT) and urea efficiency in the fertilization of irrigated wheat.** Adviser: Valterley Soares Rocha. Co-advisers: Moacil Alves de Souza and Reinaldo Bertola Cantarutti.

NBPT (N-(n-butyl) thiophosphoric triamide), a urease inhibitor, has been reported as one of the most promising compounds to maximize urea nitrogen use in agricultural systems. The objective of this study was to evaluate urea use efficiency with the urease inhibitor NBPT [N-(n-butyl) thiophosphoric triamide] (Agrotain[®]) in fertilization of irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.). The study was conducted at Prof. Diogo Alves de Mello Experimental Farm, Federal University of Viçosa Viçosa-MG (20°45'S and 42°51' W and 650 m altitude) in the years 2006, 2007 and 2008. Four experiments were carried out in a randomized blocks design. In the first experiment, wheat plants cv. Pioneiro were subjected to two treatments (urea or urea + NBPT) using two modes of application: total dose at sowing (60 kg ha⁻¹) or split (20 kg ha⁻¹ at sowing + 40 kg ha⁻¹ as topdressing at tillering), in a 2×2 factorial design with ten replications. Results showed that nitrogen splitting brought no benefit to the wheat crop under the cultivation conditions proposed, the use of urease inhibitor (NBPT) is beneficial to the wheat crop only when urea is topdressed. The second experiment was carried out using cv. BRS 254 in a 5×2+1 factorial design with four replications. The treatments consisted of five N doses (30, 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹) as urea or urea + NBPT and a control without nitrogen. Addition of NBPT to urea resulted in a better utilization of N by wheat plants; the nitrogen dose as topdressing that provided the best apparent recovery of N by wheat plants was 100 kg ha⁻¹, whereas 90 kg ha⁻¹ provided the best N use efficiency. The third experiment, using cultivar BRS 254, was arranged in a 2×6+1 factorial design with four replications. The treatments urea or urea + NBPT were combined with six periods of irrigation shortage (0, 48, 96, 144, 192 and 240 h) after fertilizer application as topdressing, plus a control without nitrogen. NBPT showed no agronomic advantages for wheat under the studied conditions. The lack of irrigation after topdressing with urea resulted in a lower utilization of N by wheat plants. The fourth experiment consisted of determining ammonia volatilization using the treatments of the third experiment. Evaluations were performed at 48, 96, 144, 192, 240 and 600 hours after topdressing. The use of urea + NBPT resulted in lower NH₃ volatilization

compared to urea-only treatments. The lack of irrigation increased NH_3 volatilization from urea, but had no effect on NH_3 volatilization from urea + NBPT.

INTRODUÇÃO GERAL

O nitrogênio é o nutriente mais limitante para a produção das culturas agrícolas e é também o nutriente aplicado em maior quantidade na agricultura. Quando utilizado em quantidades excessivas ou em condições desfavoráveis o N pode ser perdido e, ao ser transferido para outro local ou ecossistema, converte-se em poluente de águas superficiais ou subterrâneas e da atmosfera (Cantarella, 2007).

A uréia é considerada um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados, devido ao seu baixo custo relativo, alta solubilidade em água e pela boa absorção dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Porém, esta fonte tem apresentado problemas com a aplicação na superfície do solo devido às perdas de N por volatilização de amônia (NH₃) (Barth et al., 2006).

A uréia, quando aplicada ao solo, está sujeita a ação da urease (Malhi et al., 2001). A urease é uma enzima sintetizada por numerosos organismos, inclusive plantas, e que ocorre nos solos (Krajewska, 2009) catalisando a hidrólise da uréia em amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂) na reação $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2$ (Fatibello-Filho, 2002; Mérigout et al., 2008). Essa reação é de especial importância para a agricultura porque a amônia produzida a partir da uréia, aplicada aos solos como fertilizante, pode ser convertida a NH₄⁺ e ser absorvido pelas plantas ou seguir a rota de nitrificação para ser absorvido como NO₃⁻, mas também está sujeita a perda para atmosfera pelo processo de volatilização.

A volatilização de amônia varia em função das características químicas e físicas do solo, sendo maior em solos com textura arenosa e, ou de baixa CTC (Sangoi et al., 2003), baixa acidez (Longo e Mello, 2005b), alta umidade (Costa et al., 2003) e com presença de cobertura vegetal (Longo e Mello, 2005a).

A volatilização de NH₃ também é influenciada por condições climáticas. Fatores que incrementam a evaporação do solo, tais como, altas temperaturas do ar e do solo, baixa umidade relativa do ar e ventos fortes, favorecem a volatilização. Assim, a combinação de elevada umidade do solo, ausência de chuvas durante o primeiro dia após a fertilização e temperatura elevada determina elevadas perdas de amônia por volatilização (Martha Jr. et al., 2004). Por outro lado, aplicando-se fertilizante a base de uréia sob condições de temperaturas amenas e ventos leves e com boa probabilidade de ocorrer chuvas após a aplicação de N, a volatilização de NH₃ tende a ser reduzida (Malhi et al., 2001).

A aplicação de uréia em solos secos, com a ausência de chuvas, resulta em pouca dissolução e hidrólise de uréia. À medida que a umidade aumenta a hidrólise também tende a aumentar e, com isso, a volatilização também aumenta (Prasertsak et al., 2001). No entanto,

se ocorrerem chuvas que permitam a incorporação da uréia junto ao solo, a volatilização tende a ser reduzida (Prasertsak et al., 2001; Cantarella et al., 2008) porque a amônia no interior do solo encontra barreiras químicas e físicas para chegar até a superfície e ser perdida.

Como meio de reduzir a volatilização de NH_3 , tem-se a possibilidade de incorporar a uréia ao solo de forma mecânica. Entretanto, essa alternativa é inviável para culturas anuais, quando já implantadas ou em áreas com espessa camada de palha. Pode-se também proceder a aplicação do fertilizante quando são esperadas chuvas ou quando se dispõe de sistema de irrigação para proceder a incorporação do mesmo. Mas, nem sempre é possível contar com chuva ou se dispõe de sistema de irrigação, imediatamente após a fertilização. Surge então a possibilidade do uso de fontes nitrogenadas que apresentem menor volatilização de NH_3 durante o tempo compreendido entre a fertilização e a incorporação da uréia pela chuva ou irrigação. Neste contexto, um inibidor da ação da urease, associado à uréia, pode ser efetivo para reduzir a volatilização de NH_3 .

Os inibidores de urease são substâncias que reduzem a velocidade de conversão de uréia – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, para NH_3 , o que permite maior percolação da uréia reduzindo a concentração de NH_3 na superfície do solo e, conseqüentemente, as perdas por volatilização (Malhi et al., 2001).

Várias substâncias têm sido estudadas com o objetivo de inibir a atividade da enzima urease e reduzir a volatilização de amônia (Krajewska, 2009). Dentre estes inibidores, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) vem se apresentando como uma das substâncias mais promissoras para reduzir a volatilização de NH_3 (Gioacchini et al., 2002; Cantarella et al., 2008; Chien et al., 2009; Giovannini et al., 2009; Juan et al., 2009).

Uma formulação que contém de 20 a 25% de NBPT está disponível no mercado desde 1996, para ser misturada com fertilizantes nitrogenados em concentrações que variam de 500 a 1000 mg kg^{-1} de NBPT na uréia. No Brasil a dose que vem sendo usada é a de cerca de 530 mg kg^{-1} (Cantarella, 2007).

A grande ação do NBPT para redução da volatilização de amônia ocorre na primeira semana (Rawluk et al., 2001). Testes realizados no Brasil indicam que, para a maioria das situações, o período de intensa inibição varia de três a sete dias, após o qual o NBPT perde gradativamente o efeito (Cantarella, 2007). No entanto, como a eficiência deste produto é variável em função das condições edafoclimáticas, estudos envolvendo o NBPT, em diferentes situações, podem contribuir para formação de um banco de informações necessárias para a correta recomendação de utilização deste inibidor.

OBJETIVO GERAL

Objetivou-se com esse estudo avaliar a eficiência da uréia com o inibidor de urease (NBPT) na fertilização do trigo irrigado

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram executados quatro trabalhos experimentais buscando atingir o objetivo geral neste estudo.

Experimento 1

O objetivo neste estudo foi avaliar o desempenho produtivo do trigo ‘Pioneiro’ submetido à fertilização com uréia ou uréia+NBPT aplicadas em dose única ou parcelada.

Experimento 2

Objetivou-se com este estudo avaliar a recuperação de nitrogênio e o desempenho produtivo do trigo ‘BRS 254’ submetido a doses de uréia ou uréia+NBPT aplicadas em cobertura na cultura do trigo.

Experimento 3

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o desempenho produtivo e a recuperação de N por plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à ausência de irrigação após aplicação de uréia ou uréia+NBPT em cobertura.

Experimento 4

Objetivou-se com este estudo avaliar a volatilização de amônia em um solo submetido à ausência de irrigação após aplicação de uréia ou uréia+NBPT em cobertura na cultura do trigo ‘BRS 254’.

REFERÊNCIAS

BARTH, G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H.; VITTI, A.C. Volatilização de N-NH₃ quanto as fontes e doses de nitrogênio aplicadas sobre a palhada de cana-de-açúcar. In: XXVII Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas – FERTIBIO. **Anais...**, Bonito – MS. 2006.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, p.397-401, 2008.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v.102, p.267-322, 2009.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.27, p.631-637, 2003.

FATIBELLO-FILHO, O. Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. **Química Nova**, v.25, p.455-464, 2002.

GIOACCHINI, P.; NASTRI A.; MARZADORI C.; GIOVANNINI C.; ANTISARI L.V.; GESSA C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.129-135, 2002.

GIOVANNINI, C.; GARCIA-MINA, J.M.; CIAVATTA, C.; MARZADORI, C. Ureic nitrogen transformation in multi-layer soil columns treated with urease and nitrification inhibitors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, p.4883-4887, 2009.

JUAN, Y.H.; CHEN, L.J.; WU, Z.J.; WANG, R. Kinetics of soil urease affected by urease inhibitors at contrasting moisture regimes. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutricion Vegetal**, v.9, p.125-133, 2009.

KRAJEWSKA, B. Ureasas I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v.59, p.9-21, 2009.

LONGO, R.M. & MELO, W.J. Atividade da urease em latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.645-651, 2005a.

LONGO, R.M. & MELO, W.J. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.651-657, 2005b.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v.60, p.101-122, 2001.

MÉRIGOUT, P.; LELANDAIS, M.; BITTON, F.; RENOU, J.P.; BRIAND, X.; MEYER, C.; DANIEL-VEDELE, F. Physiological and transcriptomic aspects of urea uptake and assimilation in *Arabidopsis* plants. **Plant Physiology**, v.147, p.1225-1238, 2008.

MARTHA JR, G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T.L.F.; TEIXEIRA, G.M.; MANZONI, C. S.; BARIONI, L.G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.2240-2247, 2004.

PRASERTSAK, P.; FRENEY, J.R.; SAFFIGNA, P.G.; DENMEAD, O.T.; PROVE, B.G. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.59, p.65-73, 2001.

RAWLUK, C.D.L.; GRANT, C.A.; RACZ, G.J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Soil Science**, v.81, p.239-246, 2001.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.687-692, 2003.

CAPÍTULO I

INIBIDOR DE UREASE (NBPT) E A EFICIÊNCIA DA URÉIA APLICADA EM DOSE ÚNICA OU PARCELADA NA CULTURA DO TRIGO

INIBIDOR DE UREASE (NBPT) E A EFICIÊNCIA DA URÉIA APLICADA EM DOSE ÚNICA OU PARCELADA NA CULTURA DO TRIGO

RESUMO – O NBPT (N-(n-butyl) tiofosfórico triamida) é uma substância inibidora da urease que vem se apresentando como uma das mais promissoras para a maximização do uso do nitrogênio da uréia em sistemas agrícolas. O objetivo neste estudo foi avaliar o desempenho produtivo do trigo ‘Pioneiro’ submetido à fertilização com uréia ou uréia+NBPT aplicadas em dose única ou parcelada. O experimento foi conduzido de junho a outubro de 2006 em Viçosa-MG. Seguiu-se o esquema fatorial 2×2 , em que uréia ou uréia+NBPT foram combinadas com duas formas de aplicação: dose total na semeadura (60 kg ha^{-1}) ou parcelada (20 kg ha^{-1} na semeadura + 40 kg ha^{-1} em cobertura no perfilhamento). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com dez repetições. Conclui-se que o parcelamento da fertilização nitrogenada não traz benefícios à cultura do trigo sob as condições de cultivo propostas; o uso do inibidor de urease (NBPT) é benéfico à cultura do trigo somente quando a uréia é aplicada em cobertura.

Termos para indexação: *Triticum aestivum*, nitrogênio, volatilização de amônia.

UREASE INHIBITOR (NBPT) AND EFFICIENCY OF SINGLE OR SPLIT APPLICATION OF UREA IN WHEAT

ABSTRACT – NBPT (N-(n-butyl) thiophosphoric triamide), a urease inhibitor, has been reported as one of the most promising compounds to maximize urea nitrogen use in agricultural systems. The objective of this study was to evaluate the performance of wheat cv. Pioneiro fertilized with urea or urea + NBPT as single or split application. The experiment was conducted from June to October 2006 in Viçosa, MG. The experimental design followed a 2×2 factorial scheme, in which urea or urea + NBPT were combined with two modes of application: full dose at sowing (60 kg ha^{-1}) or split (20 kg ha^{-1} at sowing + 40 kg ha^{-1} as topdressing at tillering), in randomized blocks with ten replications. Nitrogen splitting brought no benefit to the wheat crop under the cultivation conditions proposed, the use of urease inhibitor (NBPT) is beneficial to the wheat crop only when urea is topdressed.

Key words: *Triticum aestivum*, nitrogen, ammonia volatilization.

INTRODUÇÃO

Os fertilizantes nitrogenados aplicados no solo passam por uma série de transformações químicas e microbianas que podem resultar em perdas. Nesse contexto, considerando o custo dos fertilizantes nitrogenados, é fundamental o desenvolvimento de manejos adequados da fertilização nitrogenada, que visem ao melhor aproveitamento de N pela cultura (Vitti et al., 2007).

Vários estudos têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar a época correta de fertilização nitrogenada nas culturas (Lara Cabezas et al., 2005; Soratto et al., 2007; Wamser & Mundstock, 2007). Esses estudos levam em consideração a aplicação do fertilizante nitrogenado em semeadura e em cobertura. Na aplicação em semeadura, o fertilizante é incorporado ao solo e a volatilização de amônia (NH_3) é reduzida (Da Ros et al., 2005). No entanto, na maioria das vezes, a quantidade de N necessária à cultura não pode ser aplicada toda em semeadura sendo necessária a fertilização complementar em cobertura. A fertilização em cobertura, por sua vez, fornece N no momento de maior necessidade da cultura (Soratto et al., 2007), mas, como comumente o fertilizante não é incorporado, o N fica sujeito a perdas por volatilização (Costa et al., 2003).

A uréia é o fertilizante nitrogenado que mais tem apresentado problemas com a aplicação em cobertura no solo, devido às perdas de N por volatilização de NH_3 (Sangoi et al., 2003; Martha Jr. et al., 2004; Duarte et al., 2007). Apesar disso, esta fonte é considerada uma das mais importantes devido ao seu baixo custo relativo, à alta solubilidade em água e pela boa absorção dos produtos de sua hidrólise pelas plantas.

Diversos pesquisadores têm trabalhado com o intuito de minimizar a volatilização de NH_3 oriundos da fertilização com uréia (Gioacchini et al., 2002; Costa et al., 2003; Cantarella et al., 2008; Chien et al., 2009). As alternativas incluem adequação da época de aplicação do N (Da Ros et al., 2005), manejo da umidade do solo (Duarte et al., 2007), mistura da uréia com outros fertilizantes de características ácidas, com o objetivo de manejar as características químicas do solo (Vitti et al., 2007), e o uso de uréia revestida com inibidores de urease (Chien et al., 2009).

Os inibidores de urease são substâncias que reduzem a velocidade de hidrólise da uréia – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, o que permite maior percolação da uréia no perfil do solo, reduzindo a concentração de NH_3 na superfície do solo o que, conseqüentemente, reduz a volatilização de NH_3 (Malhi et al., 2001). Dentre os inibidores de urease que vem sendo pesquisado, o N-(n-butil) tiofosfórico triamida (NBPT) vem se destacando como um dos mais promissores (Krajewska, 2009).

O NBPT pode ser uma alternativa viável para minimizar a volatilização de NH_3 (Malhi et al., 2001), mas a sua eficiência ainda não foi comprovada para a maioria das culturas e condições brasileiras. Por isso, o objetivo neste estudo foi avaliar o desempenho produtivo do trigo ‘Pioneiro’ submetido à fertilização com uréia ou uréia+NBPT aplicadas em dose única ou parcelada.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa-MG (20°45' S e 42°51' W e altitude de 650 metros), no período de junho a outubro de 2006. Dados diários de temperatura máxima, média e mínima; umidade relativa do ar; velocidade do vento e precipitação pluvial, durante o período do experimento, foram obtidos junto à estação climatológica principal do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (Figura 1).

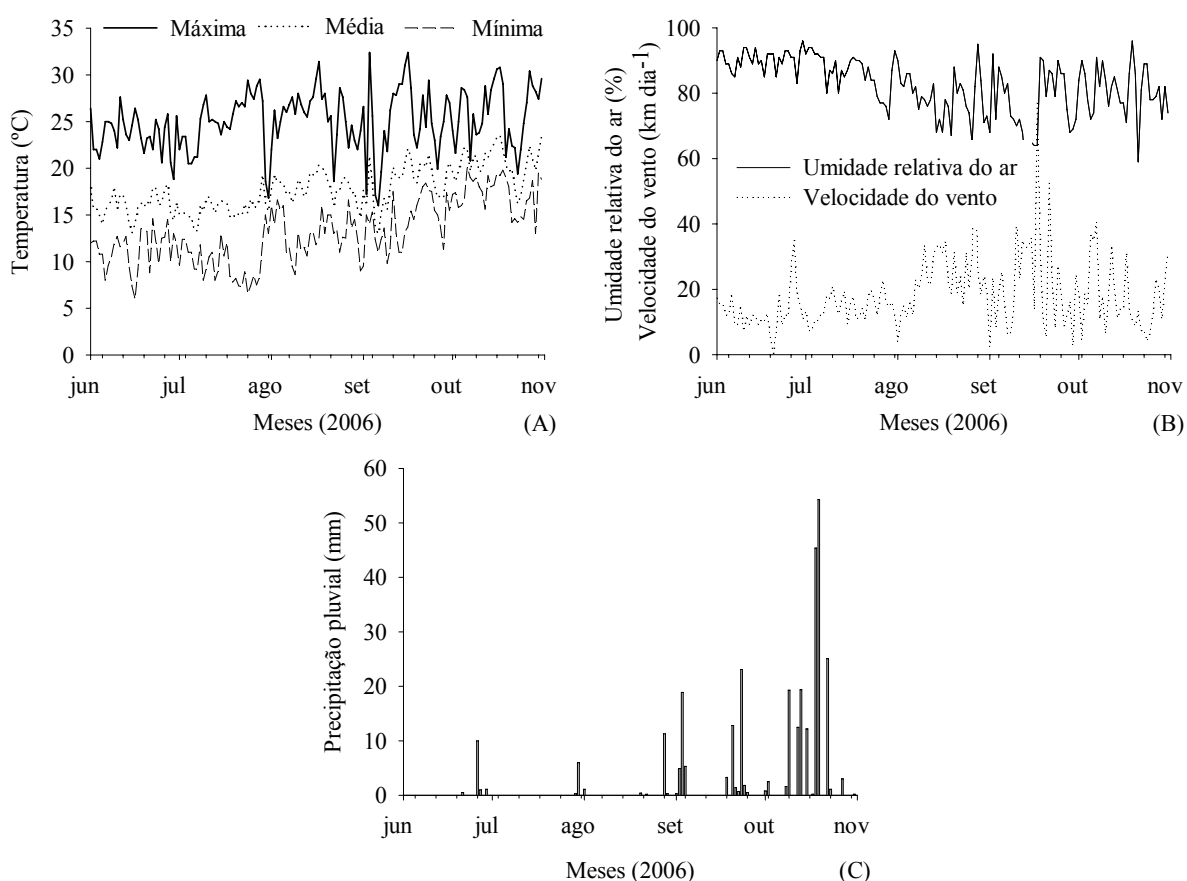


Figura 1. Temperaturas: máxima, média e mínima (A); umidade relativa do ar e velocidade do vento (B) e precipitação pluvial (C), de junho a outubro de 2006. Viçosa, MG.

O solo da área utilizada para implantação do experimento é um Argissolo Vermelho Amarelo que tem sido cultivado com soja (verão) e trigo (inverno) nos últimos anos. As características químicas deste solo foram determinadas na camada de zero a 20 cm (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas do Argissolo Vermelho Amarelo da Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello

| pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) | V | MO |
|------------------|---------------------|-----|--|------------------|------------------|------|------|--------|--------|-----|--------------------|
| H ₂ O | mg dm ⁻³ | | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | (%) | g kg ⁻¹ |
| 5,6 | 22,9 | 105 | 2,3 | 0,5 | 0,0 | 3,47 | 3,07 | 3,07 | 6,54 | 47 | 17,3 |

pH (H₂O - 1:2,5); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; P e K: extrator Mehlich-1; H+Al: extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0.

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e duas gradagens e a fertilização de semeadura foi realizada com 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de superfosfato simples, e 40 kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de KCl. Sementes de trigo ‘Pioneiro’ foram semeadas, na densidade de 350 sementes úteis por m², com semeadora própria para parcelas experimentais.

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 2×2, em que uréia ou uréia+NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (Agrotain[®]) foram combinadas com duas formas de aplicação: 1) Forma única: dose total, 60 kg ha⁻¹, por ocasião da semeadura ou 2) Forma parcelada: 20 kg ha⁻¹ na semeadura e 40 kg ha⁻¹ em cobertura. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados com dez repetições. Cada parcela foi constituída por sete linhas com cinco metros de comprimento espaçadas entre si em 0,20 m. A área útil da parcela, 2,4 m², foi constituída pelas três linhas centrais, sendo eliminado 0,5 m em ambas as extremidades das linhas.

A fertilização de cobertura, para os tratamentos que receberam a fertilização parcelada, foi realizada aos 25 dias após a emergência das plântulas, quando as plantas se encontravam na fase de perfilhamento. O experimento foi irrigado sete dias após a fertilização de cobertura, utilizando-se o sistema de aspersão convencional, aplicando-se 20 mm de lâmina de água.

Foram determinados os teores de N na parte aérea das plantas na antese, na folha bandeira das plantas na antese e nos grãos colhidos. O teor de N na antese foi determinado na parte aérea de 10 plantas colhidas ao acaso na parcela útil. O N na folha bandeira foi determinado em 15 folhas bandeiras colhidas ao acaso na parcela útil. O teor de N nos grãos foi determinado em amostra, obtida por separador de sementes, retirada do montante de grãos colhidos na parcela útil. O teor de N foi obtido por meio do método Kjeldahl.

Foram avaliadas também as características agronômicas altura de plantas, massa de mil grãos, massa por hectolitro, número de grãos por espigas, número de espigas por metro quadrado, massa da parte aérea seca, rendimento de grãos e índice de colheita.

A altura de plantas foi obtida pela avaliação de quinze plantas ao acaso por parcela, medindo-se do coleto até o ápice da espiga e excluindo-se as aristas. A massa de mil grãos foi determinada pela média da contagem de oito repetições com 100 grãos cada. A massa por hectolitro foi determinada utilizando balança específica, a partir dos grãos colhidos das plantas da parcela útil. O número de grãos por espiga, a massa da parte aérea seca e o índice de colheita (razão entre o rendimento de grãos com zero % de umidade e a massa da parte aérea seca), foram determinados em 100 colmos colhidos em sequência na fileira central da parcela. O número de espigas por metro quadrado foi determinado pela contagem direta, em três segmentos de um metro de fileira, tomados ao acaso na parcela útil. O rendimento de grãos, com 13% de umidade, foi determinado a partir dos grãos colhidos das plantas da parcela útil e transformação para kg ha^{-1} .

Os dados foram submetidos à análise de variância e a comparações entre médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). Admitiram-se a interação do fatorial como significativa para todas as características avaliadas. Por isso, houve o desdobramento do fatorial para aplicação do teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos estudados não influenciaram o teor de N da planta inteira na antese (Figura 2A). O resultado pode estar relacionado ao efeito de diluição do N, conforme será discutido posteriormente.

O teor de N na folha bandeira das plantas fertilizadas com uréia na forma parcelada foi menor que daquelas que receberam uréia em dose única ou que daquelas que receberam uréia+NBPT parcelada (Figura 2B). O resultado sugere que a recuperação do N foi menor quando este fertilizante foi aplicado em cobertura, fato que está relacionado com as perdas de amônia provenientes da uréia. Esse resultado difere dos relatados para dois anos de observação na cultura do trigo, em que não houve diferenças entre as formas de aplicação ou a aplicação parcelada proporcionou maior teor de N na folha bandeira (Megda et al., 2009). No entanto, estes autores procederam a incorporação por irrigação logo após a fertilização de cobertura.

As plantas que receberam uréia+NBPT, na forma parcelada, apresentaram maior concentração de N nos grãos que aquelas que receberam uréia (Figura 2C). Os resultados sugerem que a uréia+NBPT, quando aplicada em cobertura proporcionou maior recuperação

de N pelas plantas de trigo o que refletiu em maior teor do nutriente nos grãos. O NBPT reduz a volatilização de NH_3 por meio do retardamento da hidrólise da uréia (Cantarella et al., 2008) e, assim, acredita-se que este retardo foi suficiente para reduzir as perdas até a incorporação por meio da irrigação, aos sete dias após a fertilização de cobertura.

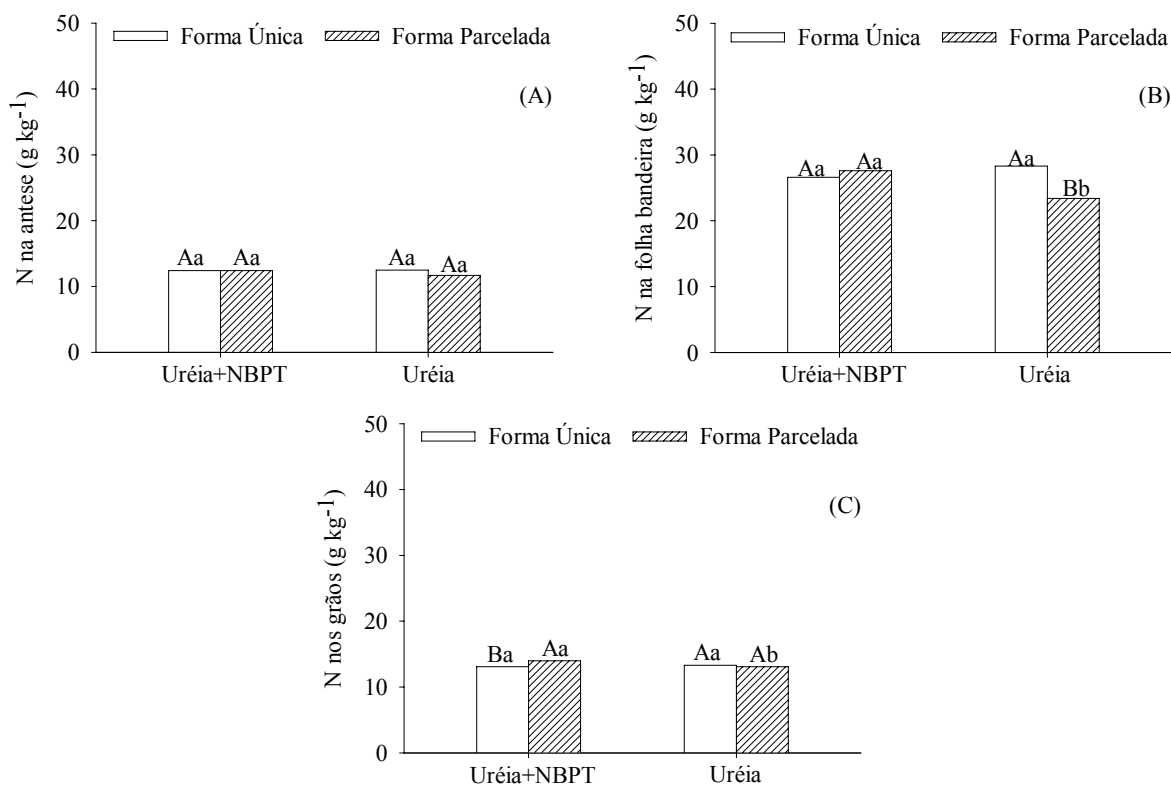


Figura 2. Teor de N nos tecidos de plantas de trigo ‘Pioneiro’ na antese (planta inteira) (A); folha bandeira de plantas na antese (B) e nos grãos colhidos (C), submetidas à uréia ou uréia+NBPT aplicadas em dose única ou parcelada. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, dentro do tratamento uréia ou uréia+NBPT, e mesma letra minúscula, dentro da mesma forma de aplicação, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A aplicação parcelada de uréia+NBPT também proporcionou maior teor de N nos grãos que a aplicação em forma única. Não houve diferença entre as formas de aplicação, para esta característica, quando se aplicou uréia (Figura 2C). A semelhança entre as formas de aplicação pode ser atribuída ao efeito de diluição, uma vez que, a produção de grãos foi maior quando o N foi aplicado em forma única. Por outro lado, para o tratamento uréia+NBPT, apesar de não terem sido observadas diferenças no teor de N da folha bandeira e da planta toda, acredita-se que a maior concentração de N nos grãos esteja relacionada ao menor número de grãos por espiga e de espigas por metro quadrado, bem como, ao maior índice de colheita das plantas que receberam N em cobertura (Figura 3). Ou seja, ocorreu efeito

compensatório, onde as plantas que receberam N no início do perfilhamento produziram menos massa vegetativa, em relação à produção de grãos, e menos grãos por espiga e por área e, por isso, conseguiram concentrar mais proteínas (N) em seus grãos. Esse efeito é semelhante aos relatados para trigo na região do mediterrâneo onde a maior quantidade de grãos produzidos esteve relacionada a menor concentração de nitrogênio nos grãos (Acreche & Slafer, 2009). Reforçando tal indicativo, plantas de trigo que receberam dose total de N na semeadura apresentaram menor índice de colheita e teor de N nos grãos que as plantas que receberam a dose de N parcelada (López-Bellido et al., 2005).

A altura das plantas que receberam todo o N na semeadura foi maior que a altura daquelas que receberam N parcelado em ambos os tratamentos, uréia ou uréia+NBPT. Não houve diferença entre os tratamentos que receberam uréia e uréia+NBPT para esta característica (Figura 3A). A menor altura das plantas que receberam N parcelado assemelha-se aos resultados encontrados com painço (*Panicum miliaceum* L.) (Soratto et al., 2007). Tal comportamento ocorre porque a disponibilidade de N nos estádios iniciais promove maior desenvolvimento vegetativo, por serem estas fases, as de maior divisão e expansão celular (Schröder et al., 2000). O N em estádios avançados do desenvolvimento das plantas contribui para a formação e enchimento dos grãos.

As características massa de mil grãos (MMG) e massa por hectolitro (MH) apresentaram diferenças significativas somente quando o N foi parcelado. Nesta forma de aplicação, as plantas que receberam uréia+NBPT apresentaram maiores MMG e MH que aquelas que receberam uréia (Figuras 3B e 3C). Estes resultados ocorreram devido à menor capacidade de enchimento de grãos das plantas que receberam uréia em cobertura, fato evidenciado pela menor concentração de N na folha bandeira na antese (Figura 2B).

O número de grãos por espiga das plantas tratadas tanto com uréia quanto com uréia+NBPT foi maior quando o N foi aplicado todo na semeadura. Para esta característica não houve diferença significativa entre a uréia e a uréia+NBPT (Figura 3D). As diferenças corroboram os resultados relatados para esta mesma cultivar de trigo e em condições edafoclimáticas semelhantes (resultados não publicados). Isso acontece porque as plantas que receberam dose total de N na semeadura tiveram maior disponibilidade de N no momento da diferenciação floral e desenvolvimento inicial da espiga.

Em ambas as formas de aplicação do N, a uréia+NBPT proporcionou maior número de espigas por m² que a uréia. Para esta característica não houve diferença significativa entre formas de aplicação do mesmo fertilizante (Figura 3E). O maior número de espigas por m² obtidos com uréia+NBPT está relacionado à menor volatilização de NH₃ promovida por esse tratamento (Gioacchini et al., 2002, Cantarella et al., 2008), pois, havendo menores perdas por

volatilização, houve maior disponibilidade de N no solo e, conseqüentemente, menor abortamento de perfilhos.

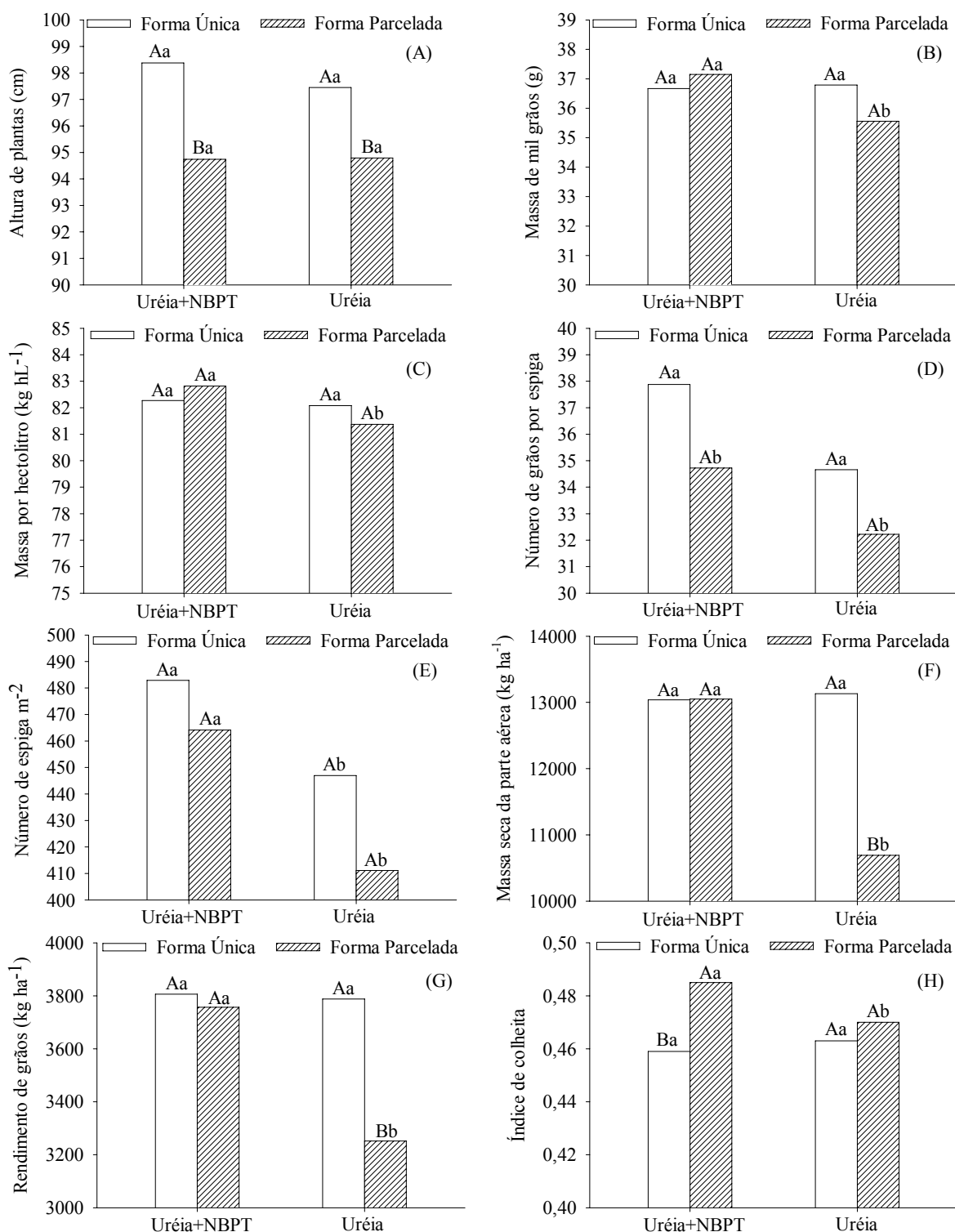


Figura 3. Características agrônômicas de trigo ‘Pioneiro’ submetido à uréia ou uréia+NBPT aplicadas em dose única ou parcelada. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, dentro do tratamento uréia ou uréia+NBPT, e mesma letra minúscula, dentro da mesma forma de aplicação, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

A uréia em cobertura proporcionou menores valores de massa da parte aérea seca (MPAS) e rendimento de grãos que a uréia em dose única ou que uréia+NBPT em cobertura. Essas características apresentaram valores semelhantes entre a uréia e uréia+NBPT, em dose única, e entre as formas de aplicação da uréia+NBPT (Figuras 3F e 3G). As semelhanças entre formas de aplicação corroboram as relatadas na literatura (Lopez-Bellido et al., 2005) e estão relacionadas ao curto período de tempo compreendido entre a semeadura e a fertilização de cobertura. As semelhanças entre a uréia e uréia+NBPT, na aplicação em forma única, sugerem que, para essas condições, a utilização de NBPT não traz benefícios.

Os menores valores de MPAS e rendimento de grãos das plantas que receberam uréia aplicada em cobertura sugerem que, sob essas condições, o aproveitamento do N é comprometido. Os resultados são opostos aos relatados para arroz (Cornélio et al., 2007) e cevada (Wamser & Mundstock, 2007), onde o parcelamento promoveu maior desempenho agrônomico das plantas. No entanto, no presente estudo a uréia permaneceu sem incorporação durante sete dias, sob condições que possibilitam a volatilização. Assim, acredita-se que o menor desempenho deste tratamento seja devido as maiores perdas de N por volatilização de NH_3 .

O índice de colheita das plantas que receberam uréia+NBPT parcelada foi maior que aquelas que receberam esse mesmo tratamento em dose total na semeadura (Figura 3H). Esse comportamento ocorre porque o N aplicado em cobertura em estádios avançados do ciclo da cultura contribui mais com estruturas reprodutivas, enquanto o N aplicado na semeadura contribui primeiramente com estruturas vegetativas.

As formas de aplicação não influenciaram os índices de colheita das plantas que receberam uréia. No entanto, a uréia parcelada proporcionou menor índice de colheita que a uréia+NBPT parcelada (Figura 3H). Para ambas as comparações os resultados novamente sugerem menor recuperação do N da uréia aplicada de forma parcelada.

CONCLUSÕES

O parcelamento da fertilização nitrogenada não traz benefícios à cultura do trigo sob as condições de cultivo propostas.

O uso de inibidor de urease melhora o desempenho da cultura do trigo quando a uréia é aplicada em cobertura, mas, seu uso não é justificável quando a uréia é aplicada no sulco durante a semeadura.

AGRADECIMENTOS

Ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq) e à “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais” (FAPEMIG), pelas bolsas de estudos e auxílios concedidos. À Fertipar Sudeste Adubos e Corretivos Agrícolas Ltda e à Agrotain International LLC, pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

ACRECHE, M.M. & SLAFER, G.A. Variation of grain nitrogen content in relation with grain yield in old and modern Spanish wheats grown under a wide range of agronomic conditions in a Mediterranean region. **Journal of Agricultural Science**, v.147, p.657-667, 2009.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, p.397-401, 2008.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v.102, p.267-322, 2009.

CORNÉLIO, V.M.O.; REIS, M.S.; SOARES, A.A.; SOARES, P.C.; OLIVEIRA, J.A. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na incidência de doenças, produção e qualidade sanitária das sementes de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.47-52, 2007.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.631-637, 2003.

DA ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de uréia na superfície do solo, no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, p.799-805, 2005.

DUARTE, F.M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L.S.; GRAUPE, F.A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, v.37, p.705-711, 2007.

GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C.; GIOVANNINI, C.; ANTISARI, L.V.; GESSA, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.129-135, 2002.

KRAJEWSKA, B. Ureasas I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**. v.59, p.9-21, 2009.

LARA CABEZAS, W.A.R.; ARRUDA, M.R.; CANTARELLA, H.; PAULETTI, V.; TRIVELIN, P.C.O.; BENDASSOLLI, J.A. Imobilização de nitrogênio da uréia e do sulfato de amônio aplicado em pré-semeadura ou cobertura na cultura de milho, no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.215-226, 2005.

LOPEZ-BELLIDO, L.; LOPEZ-BELLIDO, R.J.; REDONDO, R. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. **Field Crops Research**, v.94, p.86-97, 2005.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v.60, p.101-122, 2001.

MARTHA JR., G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T.L.F.; TEIXEIRA, G.M.; MANZONI, C.S.; BARIONI, L.G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.2240-2247, 2004.

MEGDA, M.M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.M.C.; VIEIRA, M.X. Resposta de cultivares de trigo ao nitrogênio em relação às fontes e épocas de aplicação sob plantio direto e irrigação por aspersão. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1055-1060, 2009.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.687-692, 2003.

SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production?: Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, v.66, p.151-164, 2000.

SORATTO, R.P.; CARDOSO, S.M.; SILVA, Â.H.; COSTA, T.A.M.; PEREIRA, M.; CARVALHO, L.A. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do painço (*Panicum miliaceum* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1661-1667, 2007.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.31, p.491-498, 2007.

WAMSER, A.F. & MUNDSTOCK, C.M. Adubação nitrogenada em estádios fenológicos em cevada, cultivar “MN 698”. **Ciência Rural**, v.37, p.942-948, 2007.

CAPÍTULO II

DOSES DE URÉIA COM INIBIDOR DE UREASE (NBPT) APLICADO EM COBERTURA NA CULTURA DO TRIGO

DOSES DE URÉIA COM INIBIDOR DE UREASE (NBPT) APLICADO EM COBERTURA NA CULTURA DO TRIGO

RESUMO – Inibidores da atividade da urease são opções de manejo para aumentar a eficiência da uréia aplicada em cobertura, pela redução da volatilização de NH_3 . Objetivou-se com este estudo avaliar a recuperação de nitrogênio e o desempenho produtivo do trigo ‘BRS 254’ submetido a doses de uréia ou uréia+NBPT aplicadas em cobertura na cultura do trigo. O experimento foi conduzido de maio a setembro de 2007 em Viçosa-MG. Os tratamentos seguiram um esquema fatorial $5 \times 2 + 1$, constituído pela aplicação de cinco doses do fertilizante nitrogenado em cobertura, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha^{-1} na forma de uréia ou uréia+NBPT ((N-(n-butil) tiofosfórico triamida)) (Agrotain[®]) mais uma testemunha que não recebeu aplicação de N em cobertura. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições. A adição do inibidor de urease NBPT junto à uréia promove maior aproveitamento de N pelas plantas de trigo; a dose de 100 kg ha^{-1} de N, em cobertura, proporciona melhor recuperação aparente de N pelas plantas de trigo e a 90 kg ha^{-1} proporciona melhor eficiência de uso de N.

Termos para indexação: *Triticum aestivum*, fertilização nitrogenada, volatilização de NH_3 .

RATES OF UREA WITH UREASE INHIBITOR (NBPT) AS TOPDRESSING IN WHEAT

ABSTRACT - Urease inhibitors are management alternatives to increase the efficiency of urea applied as topdressing, since these compounds reduce NH_3 volatilization. The objective of this study was to evaluate nitrogen recovery and yield performance of wheat cv. BRS 254 fertilized with different doses of urea or urea + NBPT as topdressing. The experiment was conducted from May to September 2007 in Viçosa, MG. The experimental design followed a $5 \times 2 + 1$ factorial scheme, consisting of five doses of nitrogen fertilizer (30, 60, 90, 120 and 150 kg ha^{-1}) as urea or urea + NBPT ((N-(n-butyl) thiophosphoric triamide)) (Agrotain[®]) applied as topdressing and a control without nitrogen. The experiment was arranged in a randomized complete block design with four replications. Addition of NBPT to urea resulted in a better utilization of N by wheat plants. The nitrogen dose as topdressing that provided the best apparent recovery of N by wheat plants was 100 kg ha^{-1} , whereas 90 kg ha^{-1} provided the best N use efficiency.

Key words: *Triticum aestivum*, nitrogen fertilization, NH_3 volatilization.

INTRODUÇÃO

A uréia é a principal forma de fertilizante nitrogenado utilizado na agricultura devido a maior concentração de N (45%), o que permite baixo custo no transporte e aplicação, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes.

A uréia aplicada ao solo está sujeita a ação da enzima urease (Malhi et al., 2001), que é encontrada em plantas, bactérias, fungos, algas e invertebrados e que, embora existam diferentes estruturas de proteína, exerce uma única função catalítica que é a hidrólise de uréia, produzindo amônia e ácido carbônico (Krajewska, 2009). A amônia produzida na reação pode ser perdida para a atmosfera, principalmente quando a mesma está próxima à superfície do solo (Malhi et al., 2001). Assim, a uréia aplicada ao solo está sujeita à perda de N por volatilização de NH_3 (Gioacchini et al., 2002; Costa et al., 2003; Martha Jr. et al., 2004; Vitti et al., 2007).

As perdas por volatilização aumentam com os fatores que incrementam a evaporação, como altas temperaturas do ar e do solo e ventos fortes. Aplicando-se fertilizante a base de uréia sob condições de temperaturas amenas, ventos leves e com boa probabilidade de ocorrer chuvas, a volatilização de NH_3 tende a ser reduzida (Malhi et al., 2001).

O uso de inibidores da atividade da urease pode ser uma opção de manejo para aumentar a eficiência da uréia aplicada em superfície, pela redução da volatilização (Grant & Bailey, 1999). Dentre estes inibidores, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) vem sendo relatado como promissor para reduzir a volatilização de NH_3 em cana-de-açúcar sem despalha a fogo (Cantarella et al., 2008), trigo (Gioacchini et al., 2002), cevada (*Hordeum vulgare* L.) e trigo duro (*Triticum durum* L.) (Malhi et al., 2001) entre outras culturas.

Doses de nitrogênio podem influenciar de maneira variável as características agronômicas e os componentes de rendimento de plantas de trigo. Lopes-Bellido et al. (2004) relatam aumento exponencial para o rendimento de grãos de trigo submetido a variação de zero a 300 kg ha^{-1} de N. Espindula et al. (2009) encontraram respostas quadráticas do rendimento de grãos em função das doses que variaram de 30 a 150 kg ha^{-1} . Penckowski et al. (2009), por sua vez, não encontraram diferenças significativas no rendimento e componentes de produção de trigo submetido as doses de 90, 135, 180 e 225 kg ha^{-1} .

O estudo sobre doses de N utilizando uréia com inibidor de urease assume importância ainda maior porque, além dos efeitos isolados, pode haver interação de efeitos. O inibidor pode reduzir a volatilização de NH_3 , devido sua ação sobre a urease (Manunza et al., 1999), enquanto a alta concentração de uréia pode saturar os sítios de ação da urease (Longo & Melo, 2005), retardando a hidrólise da uréia e reduzindo as perdas por volatilização. Mas, as doses

também podem aumentar excessivamente o pH da superfície e favorecer a volatilização (Rodrigues & Kiehl, 1992). Os efeitos isolados ou combinação de efeitos podem, em última análise, promover respostas variadas nos componentes de produção e rendimento de grãos das plantas de trigo.

Objetivou-se com este estudo avaliar a recuperação de nitrogênio e o desempenho produtivo do trigo ‘BRS 254’ submetido a doses de uréia ou uréia+NBPT aplicadas em cobertura na cultura do trigo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa-MG (20°45’ S e 42°51’ W e altitude de 650 metros), no período de maio a setembro de 2007. Dados diários de temperatura máxima, média, mínima; umidade relativa do ar; velocidade do vento e precipitação pluvial, durante o período do experimento, foram obtidos junto à estação climatológica principal do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (Figura 1).

O solo da área utilizada para implantação do experimento é um Argissolo Vermelho Amarelo que tem sido cultivado com soja (verão) e trigo (inverno) nos últimos anos. As características químicas deste solo foram determinadas na camada de zero a 20 cm (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas do Argissolo Vermelho Amarelo da Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello

| pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) | V | MO |
|------------------|---------------------|-----|---|------------------|------------------|------|------|--------|--------|-----|--------------------|
| H ₂ O | mg dm ⁻³ | | -----cmol _c dm ⁻³ ----- | | | | | | | (%) | g kg ⁻¹ |
| 5,4 | 25,2 | 120 | 2,9 | 0,5 | 0,0 | 4,29 | 3,71 | 3,71 | 8,00 | 46 | 14 |

pH (H₂O - 1:2,5); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; P e K: extrator Mehlich-1; H+Al: extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0.

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e duas gradagens e a fertilização de semeadura foi realizada com 250 kg ha⁻¹ do formulado comercial 08-28-16. Sementes de trigo ‘BRS 254’ foram semeadas, na densidade de 350 sementes úteis por m², com semeadora própria para parcelas experimentais. A fertilização de cobertura (discriminação dos tratamentos) foi realizada aos 10 dias após a emergência das plântulas, quando as plantas estavam no início do estágio de perfilhamento. O experimento foi irrigado sete dias após a fertilização de cobertura, utilizando-se sistema de aspersão fixa convencional e aplicando-se 20 mm de lâmina de água.

O experimento foi conduzido no esquema fatorial $5 \times 2 + 1$, constituído pela aplicação de cinco doses de nitrogênio em cobertura, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha⁻¹ na forma de uréia ou uréia+NBPT ((N-(n-butil) tiofosfórico triamida)) (Agrotain®) mais uma testemunha que não recebeu aplicação de N em cobertura. O delineamento experimental foi o em blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela foi constituída por oito linhas com 5 m de comprimento espaçadas entre si em 0,20 m. A área útil da parcela, 3,2 m², foi constituída pelas quatro linhas centrais, sendo eliminado 0,5 m em ambas as extremidades das linhas.

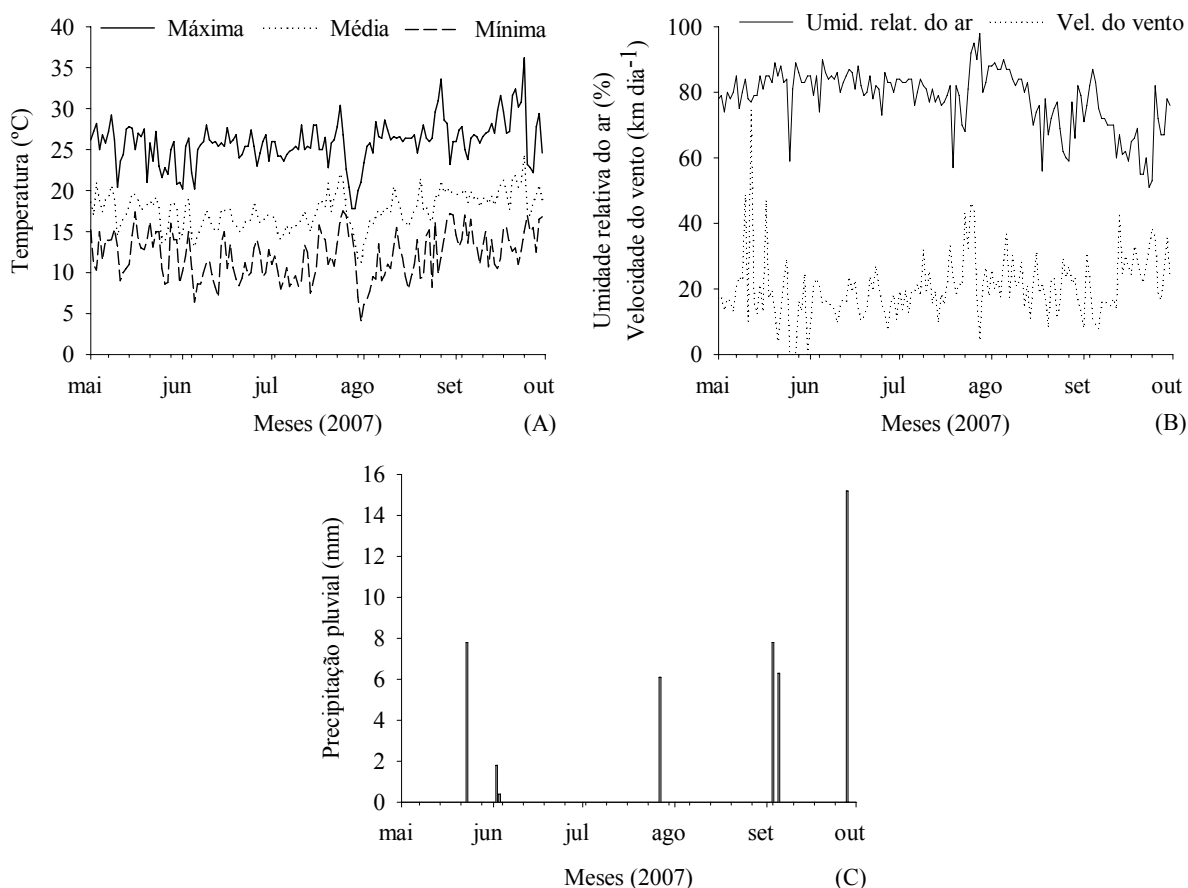


Figura 1. Temperaturas: máxima, média e mínima (A); umidade relativa do ar e velocidade do vento (B) e precipitação pluvial (C), no período de maio a setembro de 2007. Viçosa, MG.

Foram determinados os teores de N na parte aérea vegetativa e nos grãos no momento da colheita. Para tal foram ceifados, rente ao solo, 100 colmos em seqüência na fileira central da parcela útil. Os grãos foram separados da parte vegetativa das plantas por meio de debulha manual das espigas. Em seguida os grãos e as partes vegetativas foram secos em estufa de circulação forçada de ar até massa constante e tiveram suas massas secas determinadas. O teor de N foi obtido pelo método de Kjeldahl. De posse dos teores de N foram determinados os conteúdos de N na parte aérea total e vegetativa e nos grãos, por meio pela multiplicação dos teores de cada órgão pelas suas respectivas massas secas.

Foram avaliadas também a recuperação aparente de nitrogênio (RAN) e eficiência de uso do nitrogênio (EUN). A RAN foi obtida por método indireto, considerando que a quantidade de N na testemunha representou o N proveniente do solo (natural) e o aplicado com a fertilização de semeadura. A diferença da quantidade de N na testemunha em relação aos tratamentos representa o N proveniente do fertilizante em cobertura, conforme a seguinte expressão:

$$\text{RAN(\%)} = \frac{(\text{Conteúdo de N na parte aérea total} - \text{Conteúdo de N na testemunha}) \times 100}{\text{Quantidade de nitrogênio aplicada}}$$

A EUN foi determinada pela razão entre a quantidade de grãos produzidos (13% de umidade) e a quantidade de N aplicado, conforme a expressão:

$$\text{EUN(kg de grãos kg}^{-1} \text{ de N)} = \frac{(\text{Rendimento de grãos} - \text{Rendimento de grãos da testemunha}) \times 100}{\text{Quantidade de nitrogênio aplicada (kg ha}^{-1}\text{)}}$$

Além das características anteriores avaliaram-se também as características agronômicas: altura de plantas, número de grãos por espigas, massa da parte aérea seca, índice de colheita, massa de mil grãos, massa por hectolitro, número de espigas por metro quadrado e rendimento de grãos.

A altura de plantas foi obtida pela avaliação de quinze plantas ao acaso por parcela, medindo-se do coleto até o ápice da espiga e excluindo-se as aristas. O número de grãos por espiga, a massa da parte aérea seca e o índice de colheita, foram determinados em 100 colmos colhidos em sequência na fileira central da parcela. A massa de mil grãos foi determinada pela média da contagem de oito repetições com 100 grãos cada. A massa por hectolitro foi determinada utilizando balança específica, a partir dos grãos colhidos das plantas da parcela útil. O número de espigas por metro quadrado foi determinado pela contagem direta, em três segmentos de um metro de fileira, tomados ao acaso na parcela útil. O rendimento de grãos, com 13% de umidade, foi determinado a partir dos grãos colhidos das plantas da parcela útil e convertido em kg ha⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). As médias dos tratamentos com uréia ou uréia+NBPT foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e os efeitos de doses foram estudados por análises de regressão, sendo os modelos matemáticos escolhidos segundo as equações com melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2) e pela significância dos coeficientes de regressão e do teste F da regressão ($p \leq 0,10$). As significâncias dos coeficientes estão apresentadas nas equações por * ($p \leq 0,10$) e ** ($p \leq 0,05$).

RESULTADO E DISCUSSÃO

As características avaliadas não foram influenciadas pela interação de fatores, com exceção do rendimento de grãos e conteúdo de N nos grãos. Por isso, apenas estas duas características tiveram desdobramento da análise estatística. Para as demais características foram apresentados apenas os efeitos simples dos fatores.

A uréia e a uréia+NBPT promoveram semelhantes alturas de plantas, números de espigas por metro quadrado, massas de mil grãos e índices de colheita. O número de grãos por espiga, massa por hectolitro e massa da parte aérea seca das plantas que receberam uréia+NBPT foram maiores que aquelas fertilizadas com uréia (Tabela 2). Embora não tenha ocorrido diferença para algumas características, os resultados sugerem maior recuperação de N pelas plantas que receberam uréia+NBPT.

Tabela 2. Características agronômicas de plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à aplicação de uréia ou uréia+NBPT

| Tratamentos | Características avaliadas ¹ | | | | | | |
|-------------|--|----------|---------|---------------------|---------|---------------------|---------|
| | ALT | NEM | NGE | MH | MMG | MPAS | IC |
| | cm | ----- | ----- | kg hL ⁻¹ | g | kg ha ⁻¹ | ----- |
| Uréia | 95,12A | 345,90 A | 43,06 B | 77,51 B | 35,08 A | 12935 B | 0,3970A |
| Uréia+NBPT | 96,15A | 362,22 A | 47,95 A | 78,34 A | 34,48 A | 14439 A | 0,3906A |
| Testemunha | 86,89 | 330,28 | 34,56 | 79,97 | 35,66 | 10804 | 0,38 |
| CV (%) | 1,79 | 10,31 | 4,33 | 0,94 | 1,91 | 10,63 | 11,12 |

¹ALT – Altura de plantas; NEM – Número de espigas por metro quadrado; NGE – Número de grãos por espiga; MH – Massa por hectolitro; MMG – Massa de mil grãos; MPAS – Massa da parte aérea seca e IC – Índice de colheita. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O conteúdo de N na parte aérea total [Cont(NPAT)], a recuperação aparente de nitrogênio (RAN) e a eficiência do uso de nitrogênio (EUN) das plantas fertilizadas com uréia+NBPT foram maiores que aquelas que receberam uréia. Os tratamentos uréia e uréia+NBPT promoveram semelhantes teores de N na parte aérea vegetativa (NPAV), teores de N nos grãos (NG) e conteúdos de N na parte aérea vegetativa [Cont(NPAV)] (Tabela 3). Os resultados indicam que houve maior recuperação de N pelas plantas de trigo que receberam uréia+NBPT. Isso acontece porque o NBPT minimiza a volatilização de NH₃

(Gioacchini et al., 2002) e, conseqüentemente, promove maior disponibilidade de N no solo para a absorção das plantas.

Tabela 3. Recuperação de N por plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à aplicação de uréia ou uréia+NBPT

| Tratamentos | Características avaliadas ¹ | | | | | |
|-------------|--|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------|----------------------------|
| | NPAV g kg ⁻¹ | NG g kg ⁻¹ | Cont(NPAV) kg ha ⁻¹ | Cont(NPAT) kg ha ⁻¹ | RAN % | EUN kg kg ⁻¹ |
| Uréia | 4,51A | 19,86 A | 42,05A | 106,43B | 35,02B | 11,17B |
| Uréia+NBPT | 4,63A | 19,93 A | 49,30A | 119,38A | 51,57A | 16,52A |
| Testemunha | 3,60 | 18,45 | 29,75 | 71,96 | 0,00 | 0,00 |
| CV (%) | 11,90 | 4,33 | 21,58 | 10,08 | 45,69 | 43,87 |

¹NPAV – Teor de N na parte aérea vegetativa; NG – Teor de N nos grãos; Cont(NPAV) – Conteúdo de N na parte aérea vegetativa; Cont(NPAT) – Conteúdo de N na parte aérea total; RAN – Recuperação aparente de nitrogênio, EUN – Eficiência do uso de nitrogênio. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

O rendimento de grãos das plantas fertilizadas com uréia+NBPT foi maior que daquelas que receberam uréia, nas doses de 90 e 120 kg ha⁻¹ de N (Tabela 4). Esse resultado é reflexo do maior número de grãos por espiga e massa por hectolitro observado no tratamento uréia+NBPT (Tabela 2) e indica que, nestas doses, esse tratamento promoveu maior disponibilidade de N às plantas. Incremento de rendimento de grãos, em função do uso de NBPT junto à uréia, também foi observado para milho (*Zea mays* L.) (Chien et al., 2009). O incremento relatado por esses autores foi de apenas 351 kg ha⁻¹, o que indica que os ganhos promovidos por inibidores de urease podem ser pequenos.

Tabela 4. Rendimento de grãos e conteúdo de N nos grãos de plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à aplicação de uréia ou uréia+NBPT

| Tratamentos | Dose (kg ha ⁻¹) | | | | | | | |
|--|--|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹) | | | | | Média | Test. | CV(%) |
| 30 | 60 | 90 | 120 | 150 | | | | |
| Uréia | 2727 A | 3614 A | 3788 B | 4106 B | 4249A | 3697 | 2626 | 7,42 |
| Uréia+NBPT | 3090 A | 3913 A | 4301 A | 4737 A | 4060 A | 4020 | | |
| Conteúdo de N nos grãos (kg ha ⁻¹) | | | | | | | | |
| Uréia | 43,98A | 57,66B | 66,15B | 73,66B | 80,42A | 64,37 | 42,20 | 7,75 |
| Uréia+NBPT | 48,71A | 65,21A | 74,25A | 85,85A | 76,39A | 70,08 | | |

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Semelhante ao que ocorreu com o rendimento de grãos, o conteúdo de N nos grãos, nas doses de 60, 90 e 120 kg ha⁻¹, foi maior quando as plantas receberam uréia+NBPT (Tabela 4). Este comportamento é reflexo do maior rendimento de grãos, já que o teor de N nos grãos não variou significativamente em função dos fertilizantes estudados (Tabela 3).

As doses de N promoveram acréscimo linear na altura de plantas e massa da parte aérea seca (Figuras 2A e 2E), resposta quadrática no número de grãos por espiga (Figura 2B) e decréscimo linear na massa de mil grãos e na massa por hectolitro (Figura 2C e 2D).

Os acréscimos na altura são semelhantes aos relatados para esta mesma cultura (Zagonel & Fernandes, 2007) e painço (*Panicum miliaceum* L.) (Soratto et al., 2007). O aumento na massa da parte aérea, por sua vez, também corrobora os resultados relatados na literatura para esta cultura (Sepaskhah & Hosseini 2008; Marino et al., 2009). Estes comportamentos ocorrem porque o nitrogênio contribui para o crescimento vegetativo das plantas, atuando nas taxas de iniciação e expansão foliar, no tamanho final das folhas e alongamento do caule em cereais (Schröder et al., 2000). Incrementos nas características vegetativas são benéficos, porque representam reservas que serão utilizadas durante o enchimento de grãos.

O aumento no número de grãos por espiga é similar ao relatado para trigo na mesma localidade (resultados não publicados) e para arroz (*Oryza sativa* L.) (Buzetti et al., 2006). Isso acontece porque, maiores doses de N promovem maior vigor vegetativo na fase de diferenciação do meristema reprodutivo, o que resulta em maior quantidade de flores diferenciadas. A resposta quadrática está associada ao alcance do máximo potencial genético da cultivar.

A redução na massa de mil grãos e massa por hectolitro é semelhante aos resultados relatados para trigo (Marino et al., 2009). Esse comportamento ocorre, principalmente, devido ao efeito compensatório existente entre número de grãos e massa de grãos, ou seja, com o aumento do número de grãos por espiga (Figura 2B) há redução da massa de grãos e da massa por hectolitro.

O rendimento de grãos aumentou linearmente em função das doses de uréia e respondeu de forma quadrática em função das doses de uréia+NBPT (Figura 2F). O ponto de máximo rendimento para o tratamento uréia+NBPT, foi de 4400 kg ha⁻¹, obtido com a dose de 118 kg ha⁻¹ de N. O aumento linear promovido pela uréia assemelha-se aos encontrados para arroz (Buzetti et al., 2006; Cornélio et al., 2007), aveia branca (*Avena sativa* L.) (Kolchinski & Schuch et al., 2003) e trigo (*Triticum dicoccum* Schübler) (Marino et al., 2009) enquanto a resposta quadrática corrobora os relatados para painço (Soratto et al., 2007), arroz (Buzetti et al., 2006) e trigo (Espindula et al., 2009).

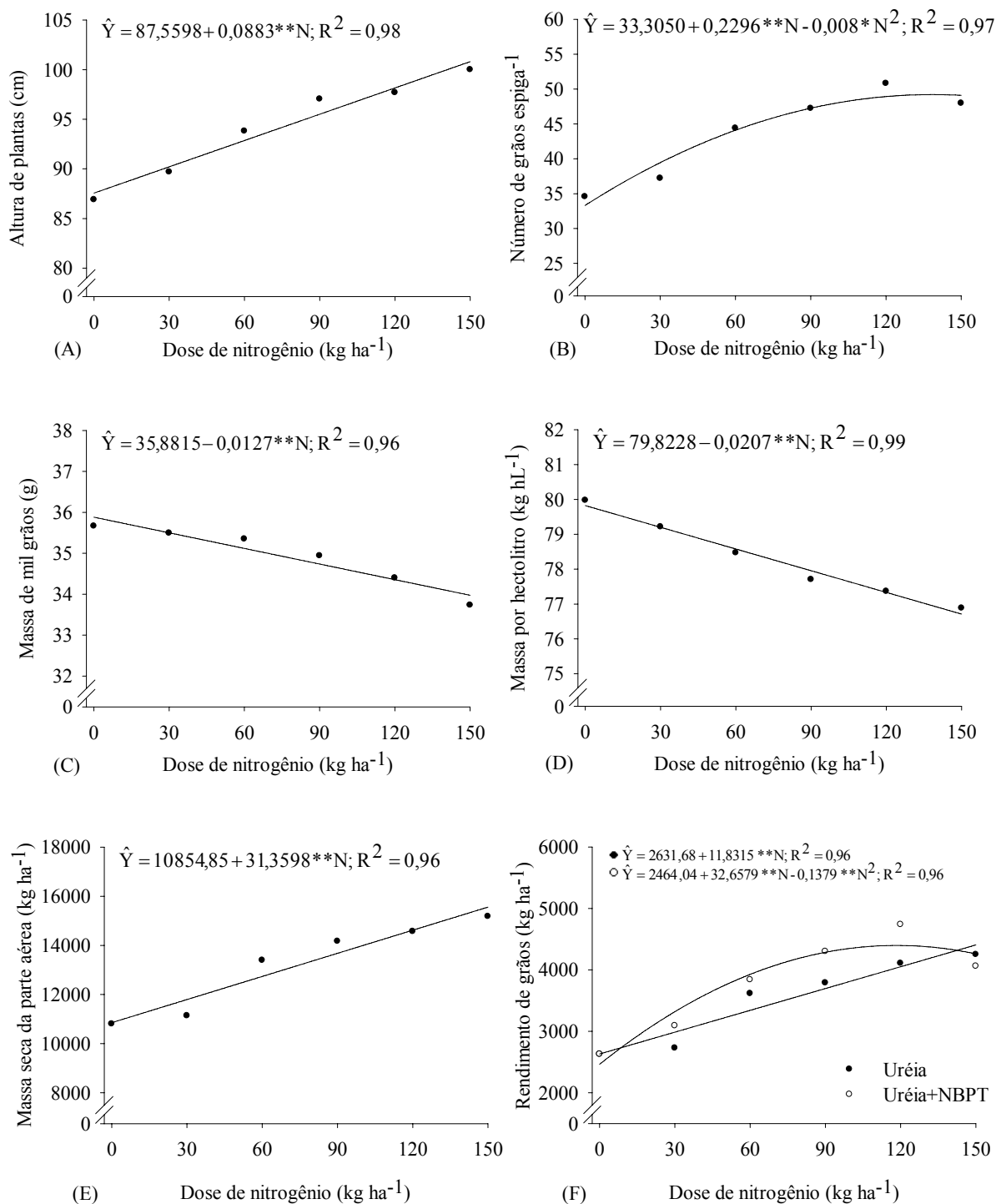


Figura 2. Características agronômicas de plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à aplicação de doses de nitrogênio na forma de uréia e, ou uréia+NBPT.

Os aumentos nos rendimentos de grãos estão associados à maior absorção de N (Figura 3) e, conseqüentemente, aos maiores valores de crescimento vegetativo (Figuras 2A e 2E) e do número de grãos por espiga (Figura 2B). A diferença de comportamento entre a uréia e a uréia+NBPT deve-se a disponibilidade de N. Para o tratamento uréia+NBPT, as doses promoveram incremento até o máximo rendimento (conseguido com 118 kg ha⁻¹ de N), a

partir do qual houve decréscimo devido a limitações genéticas e ao excesso de crescimento vegetativo (Espindula et al., 2009). Por outro lado, as plantas que receberam uréia, por mostrarem aumento linear no rendimento de grãos, não apresentaram ponto de máximo rendimento até a dose de 150 kg ha⁻¹ de N. Essa diferença está relacionada às perdas de N por volatilização de NH₃.

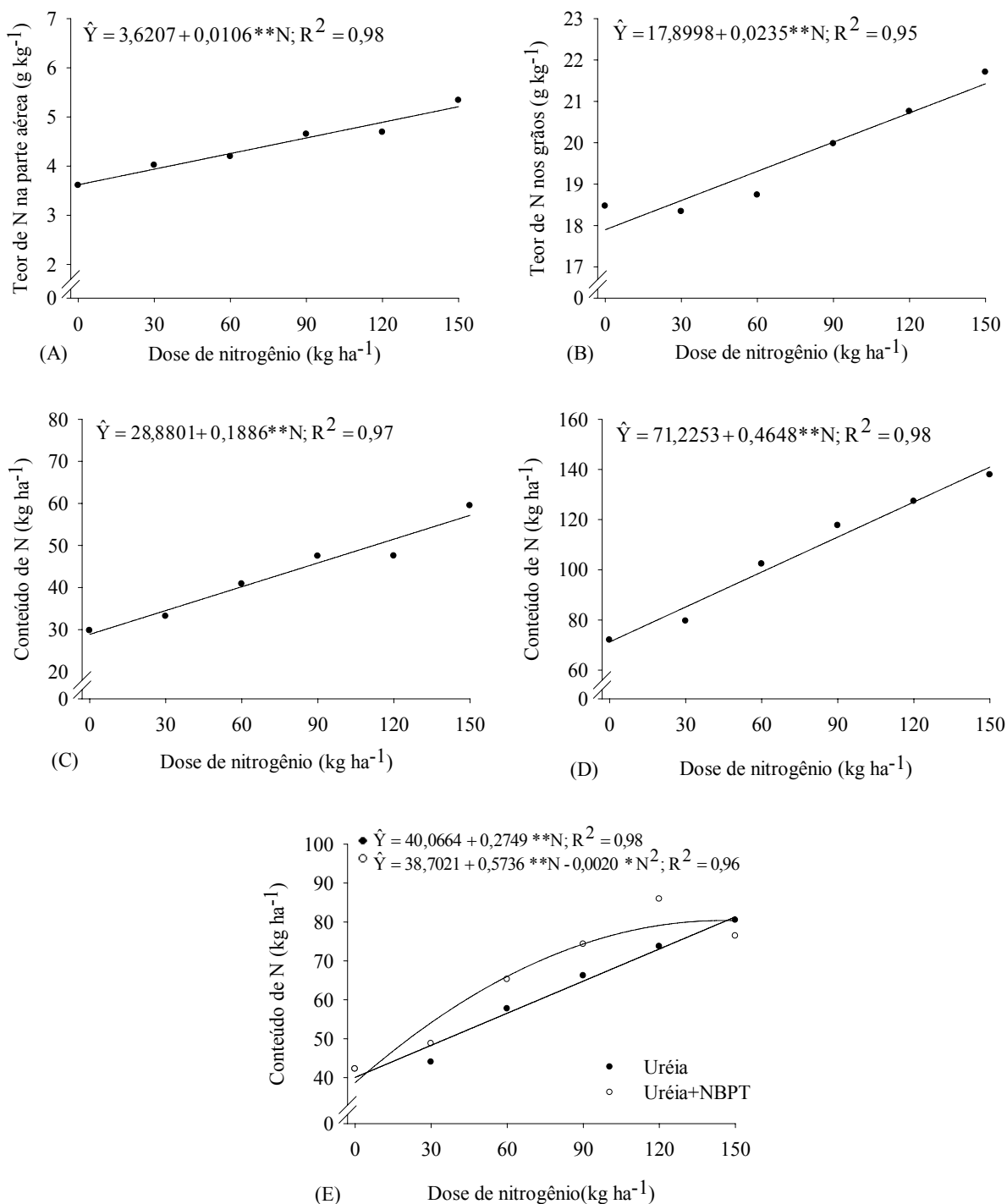


Figura 3. Teor de N na parte aérea (A) e nos grãos (B) e, conteúdo de N na parte aérea vegetativa (C), na parte aérea total (D) e nos grãos (E) de plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à aplicação de doses de nitrogênio na forma de uréia e, ou uréia+NBPT.

Os teores de N na parte aérea e nos grãos, bem como, os conteúdos de N na parte aérea vegetativa e parte aérea total aumentaram linearmente com o incremento das doses de N. O conteúdo de N nos grãos aumentou linearmente em função das doses de N, para uréia, e variou de forma quadrática para uréia+NBPT (Figura 3).

O incremento nos teores de N são devido ao aumento na disponibilidade deste nutriente no solo e os resultados seguem os relatados na literatura (Kolchinski & Schuch, 2003; Lopez-Bellido et al., 2004; Sepaskhah & Hosseini, 2008; Marino et al., 2009). Já o aumento dos conteúdos de N na massa da parte aérea vegetativa e total ocorreram devido tanto ao aumento dos teores quanto aos incrementos da massa da parte aérea e do rendimento de grãos. De maneira análoga, os resultados para os conteúdos de N nos grãos refletem o comportamento do rendimento dos grãos e sugerem aumento da exportação deste nutriente pelos grãos quando se elevam as doses de N aplicadas.

A RAN variou de forma quadrática com aumento das doses de N, com ponto de máximo, 58%, obtido com a aplicação de 101 kg ha⁻¹ de N (Figura 4A). A RAN mede a eficiência da planta em recuperar o nutriente aplicado ao solo (Good et al., 2004) e os resultados indicam que até a dose de ≈ 100 kg ha⁻¹ a planta absorve satisfatoriamente o N fornecido pela fertilização e, a partir desse ponto, o nutriente não é aproveitado adequadamente, não sendo recomendado a utilização de doses superiores a esta. Reduções na RAN também foram encontradas quando se utilizaram as doses 90 e 180 kg ha⁻¹ em plantas de trigo (Sepaskhah & Hosseini, 2008).

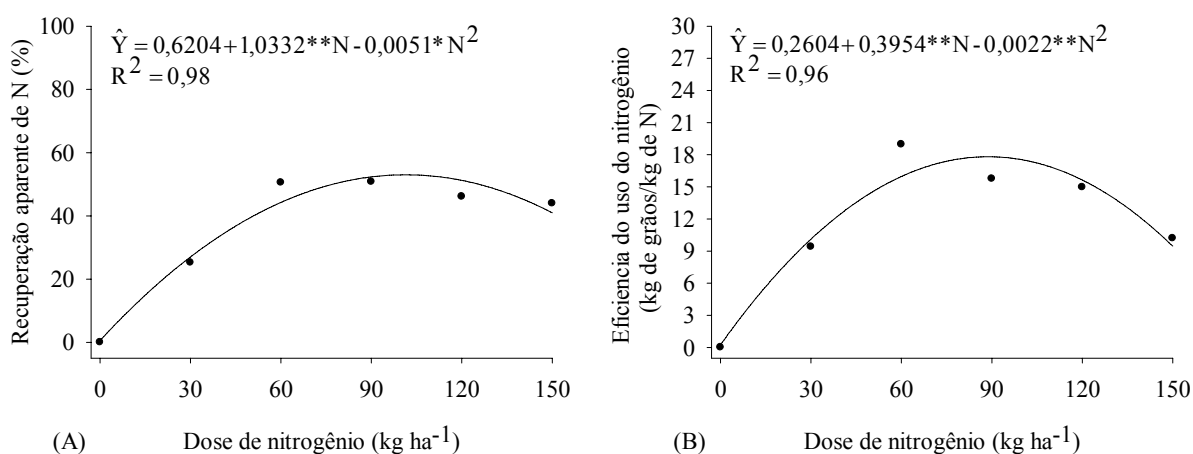


Figura 4. Recuperação aparente de N (RAN) (A) e eficiência de uso do N (EUN) (B) de plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à aplicação de doses de nitrogênio na forma de uréia e uréia+NBPT.

A EUN variou de forma quadrática ao aumento das doses de N com ponto de máximo, 18 kg de grãos por kg de N suprido, obtido com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N (Figura 4B). Decréscimo na eficiência de uso do N, medidos pela eficiência de absorção, remobilização e de fertilização, também foi obtido para aveia branca submetida a doses de N (Kolchinski & Schuch, 2003). A EUN reflete a quantidade de grãos produzidos por unidade de N suprido (Good et al., 2004), assim, os resultados encontrados neste estudo sugerem que sob elevadas doses de N a planta não utiliza eficientemente este nutriente. Isso acontece porque, acima de determinado nível de fornecimento de N, a planta investe excessivamente em estruturas vegetativas e não remobiliza eficientemente este nutriente para os grãos no momento do enchimento.

CONCLUSÕES

A adição do inibidor de urease NBPT junto à uréia permite maior aproveitamento de N pelas plantas de trigo ‘BRS 254’, bem como, maior rendimento de grãos das mesmas.

A dose de 100 kg ha⁻¹ de N proporciona a melhor recuperação aparente de N e a dose de 90 kg ha⁻¹ proporciona a melhor eficiência de uso de N pelas plantas de trigo ‘BRS 254’.

AGRADECIMENTOS

Ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq) e à “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais” (FAPEMIG), pelas bolsas de estudos e auxílios concedidos. À Fertipar Sudeste Adubos e Corretivos Agrícolas Ltda e à Agrotain International LLC, pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

BUZETTI, S.; BAZANINI, G.C.; FREITAS, J.G.; ANDREOTTI, M.; ARF, O; SÁ, E.; MEIRA, F.A. Resposta de cultivares de arroz a doses de nitrogênio e do regulador de crescimento cloreto de cloromequat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1731-1737, 2006.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, p.397-401, 2008.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v.102, p.267-322, 2009.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.631-637, 2003.

CORNÉLIO, V.M.O.; REIS, M.S.; SOARES, A.A.; SOARES, P.C.; OLIVEIRA, J.A. Efeito de doses e épocas de aplicação de nitrogênio na incidência de doenças, produção e qualidade sanitária das sementes de arroz. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.47-52, 2007.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; FONTES, P.C.R.; SILVA, R.C.C.; SOUZA, L.T. Effect of nitrogen and trinexapac-ethyl rates on the spad index of wheat leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v.32, p.1956-1964, 2009.

GIOACCHINI, P.; NASTRI A.; MARZADORI C.; GIOVANNINI C.; ANTISARI L.V.; GESSA C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.129-135, 2002.

GOOD, A.G.; SHRAWAT, A.K.; MUENCH, D.G. Can less yield more? Is reducing nutrient input into the environment compatible with maintaining crop production? **Trends in Plant Science**, v.9, p.597-605, 2004.

GRANT, C.A. & BAILEY, L.D. Effect of seed-placed urea fertilizer and n-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) on emergence and grain yield of barley. **Canadian Journal of Plant Science**, v.79, p.491-496, 1999.

KOLCHINSKI, E.M. & SCHUCH, L.O.B. Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia branca de acordo com a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.1033-1038, 2003.

KRAJEWSKA, B. Ureasas I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v.59, p.9-21, 2009.

LONGO, R.M. & MELO, W.J. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.651-657, 2005.

LOPEZ-BELLIDO, R.J.; SHEPHERD, C.E.; BARRACLOUGH, P.B. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. **European Journal of Agronomy**, v.20, p.313-320, 2004.

MANUNZA, B.; DEIANA, S.; PINTORE, M.; GESSA, C. The binding mechanism of urea, hydroxamic acid and N-(N-butyl)-phosphoric triamide to the urease active site. A comparative molecular dynamics study. **Soil Biology and Biochemistry**, v.31, p.789-796, 1999.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v.60, p.101-122, 2001.

MARINO, S.; TOGNETTI, R.; ALVINO, A. Crop yield and grain quality of emmer populations grown in central Italy, as affected by nitrogen fertilization. **European Journal of Agronomy**, v.31, p.233-240, 2009.

MARTHA JR., G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T.L.F.; TEIXEIRA, G.M.; MANZONI, C.S.; BARIONI, L.G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.2240-2247, 2004.

PENCKOWSKI, L.H.; ZAGONEL, J.; FERNANDES, E.C. Nitrogênio e redutor de crescimento em trigo de alta produtividade. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.31, p.473-479, 2009.

RODRIGUES, M.B. & KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p.403-408, 1992.

SEPASKHAH, A.R. & HOSSEINI, S.N. Effects of alternate furrow irrigation and nitrogen application rates on yield and water- and nitrogen-use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Plant Production Science**, v.11, p. 250-259, 2008.

SCHRÖDER, J.J.; NEETESON, J.J.; OENEMA, O.; STRUIK, P.C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production?: Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, v.66, p.151-164, 2000.

SORATTO, R.P.; CARDOSO, S.M.; SILVA, Â.H.; COSTA, T.A.M.; PEREIRA, M.; CARVALHO, L.A. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do painço (*Panicum miliaceum* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.1661-1667, 2007.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira Ciencia do Solo**, v.31, p.491-498, 2007.

ZAGONEL, J. & FERNANDES, E.C. Doses e épocas de aplicação do regulador de crescimento afetando cultivares de trigo em duas doses de nitrogênio. **Planta Daninha**, v.25, p.331-339, 2007.

CAPÍTULO III

INIBIDOR DE UREASE PARA MAXIMIZAÇÃO DO USO DA URÉIA EM CONDIÇÕES DE AUSÊNCIA DE IRIGAÇÃO

INIBIDOR DE UREASE PARA MAXIMIZAÇÃO DO USO DA URÉIA EM CONDIÇÕES DE AUSÊNCIA DE IRIGAÇÃO

RESUMO – O uso de inibidores de urease ou de irrigação são opções de manejo para aumentar a eficiência da uréia aplicada em cobertura, pela redução da volatilização de NH_3 . Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o desempenho produtivo e a recuperação de N por plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à ausência de irrigação após aplicação de uréia ou uréia+NBPT em cobertura. O experimento foi conduzido em Viçosa-MG, de maio a setembro de 2008. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial $2 \times 6 + 1$ onde uréia ou uréia+NBPT foram combinadas com seis períodos de ausência de irrigação, 0, 48, 96, 144, 192 e 240 h após a aplicação do fertilizante em cobertura, mais uma testemunha sem aplicação de N. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Concluiu-se que o NBPT não proporciona vantagens agrônomicas à cultura do trigo, sob as condições estudadas; a ausência de irrigação após a aplicação de uréia em cobertura proporciona menor aproveitamento de N pelas plantas de trigo.

Termos para indexação: *Triticum aestivum*, fertilização nitrogenada, recuperação de nitrogênio, volatilização de NH_3 .

UREASE INHIBITOR TO MAXIMIZE UREA-N USE EFFICIENCY IN CONDITIONS OF IRRIGATION SHORTAGE

ABSTRACT – Urease inhibitors or irrigation are management alternatives to increase N-use efficiency of topdressed urea through reduction of NH_3 volatilization. The objective of this study was to evaluate the productive performance and N recovery by wheat plants cv. BRS 254 under conditions of irrigation shortage after application of urea or urea + NBPT as topdressing. The experiment was conducted in Viçosa-MG, from May to September 2008. The treatments were arranged in a $2 \times 6 + 1$ factorial, in which urea or urea + NBPT were combined with six periods of irrigation shortage (0, 48, 96, 144, 192 and 240 h) after fertilizer application as topdressing and a control without N application. The experimental design was a randomized complete block with four replications. NBPT showed no agronomic advantages for wheat under the studied conditions. The lack of irrigation after topdressing with urea resulted in a lower utilization of N by wheat plants.

Key words: *Triticum aestivum*, nitrogen fertilization, nitrogen recovery, NH_3 volatilization.

INTRODUÇÃO

A uréia [CO(NH₂)₂] é a principal forma de fertilizante nitrogenado utilizado na agricultura. As plantas podem absorver o N, na forma de uréia, por meio das raízes, mas, absorvem, preferencialmente, o amônio (NH₄⁺) produzido a partir da uréia pela ação da enzima urease (Krajewska, 2009) ou o nitrato (NO₃⁻) (Bredemeier & Mundstock, 2000) produzido a partir da oxidação do NH₄⁺.

Ureases são enzimas que ocorrem amplamente na natureza. São sintetizadas por numerosos organismos, inclusive plantas, bactérias, algas, fungos e invertebrados, e também ocorrem como uma enzima de solo. Devido a sua ocorrência, ureases exercem importante papel no metabolismo global do nitrogênio na natureza (Krajewska, 2009).

A uréia é o substrato prontamente disponível para a reação catalisada pela urease. A reação produz amônia (NH₃) e este gás está sujeito à volatilização (Malhi et al., 2001; Mérigout et al., 2008).

A volatilização de NH₃ nos solos aumenta com os fatores que aumentam a evaporação, como alta temperatura do ar e do solo e ventos velozes (Malhi et al., 2001). A aplicação de uréia em solos secos, com a ausência de chuvas, resulta em menor dissolução e hidrólise de uréia. Mas, à medida que a umidade eleva-se a hidrólise aumenta e, com isso, a volatilização também aumenta (Prasertsak et al., 2001). No entanto, se ocorrerem chuvas ou irrigação que permitam a incorporação da uréia ao solo, a volatilização será reduzida (Prasertsak et al., 2001; Cantarella et al., 2008).

As maiores volatilizações de NH₃ ocorrem dentro do intervalo de três dias após a aplicação da uréia. Por isso, a entrada da água de irrigação logo em seguida à fertilização é uma estratégia para incorporar a uréia ao solo, diminuindo as perdas e aumentando a eficiência da fertilização, desde que o N permaneça acessível às plantas (Duarte et al., 2007). No entanto, nem sempre se dispõe de irrigação ou pode-se contar com chuvas imediatamente após a fertilização. Surge então, como alternativa, o uso de inibidores da ação da urease.

O uso de inibidores da atividade da urease é uma opção de manejo para aumentar a eficiência da uréia aplicada em superfície, pela redução da volatilização (Krajewska, 2009). Dentre estes inibidores, o NBPT (N-(n-butil) tiosfórico triamida) tem se destacado como promissor na redução da volatilização de NH₃ (Malhi et al., 2001; Gioacchini et al., 2002; Cantarella et al., 2008; Giovannini et al., 2009).

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar o desempenho produtivo e a recuperação de N por plantas de trigo 'BRS 254' submetidas à ausência de irrigação após aplicação de uréia ou uréia+NBPT em cobertura.

MATERIAL E METODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa-MG (20°45' S e 42°51' W e altitude de 650 metros), no período de maio a setembro de 2008. Dados diários de temperatura máxima, média e mínima; umidade relativa do ar; velocidade do vento e precipitação pluvial, durante o período do experimento, foram obtidos junto à estação climatológica principal do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (Figura 1).

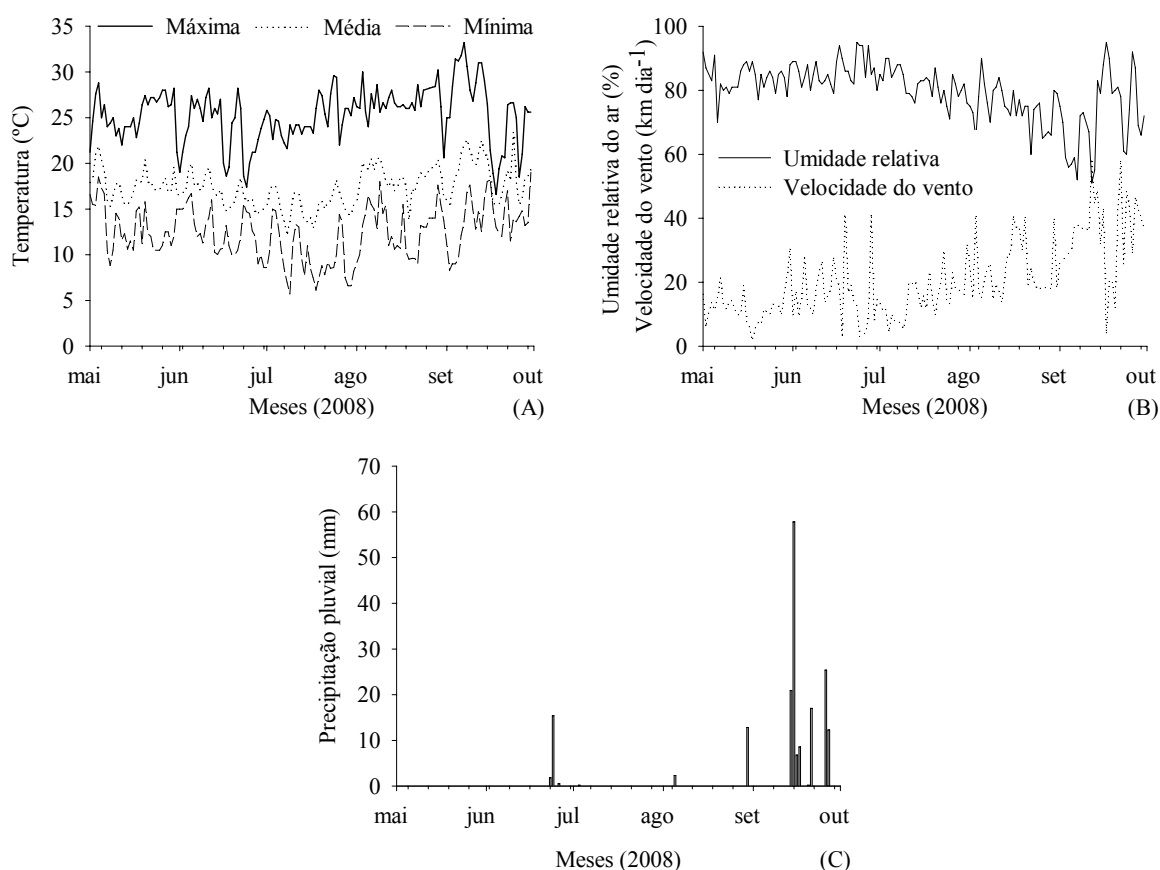


Figura 1. Temperaturas: máxima, média e mínima (A); umidade relativa e velocidade do vento (B) e precipitação pluvial (C), no período de maio a setembro de 2008. Viçosa, MG.

O solo da área utilizada para implantação do experimento é um Argissolo Vermelho Amarelo que tem sido cultivado com soja (verão) e trigo (inverno) nos últimos anos. As características químicas e físicas deste solo foram determinadas na camada de zero a 20 cm (Tabela 1).

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e duas gradagens e a fertilização de semeadura foi realizada com 300 kg ha⁻¹ do formulado comercial 08-28-16 (24

kg ha⁻¹ de N). Sementes de trigo ‘BRS 254’ foram semeadas, na densidade de 350 sementes úteis por m², com semeadora própria para parcelas experimentais.

Tabela 1. Características químicas e físicas do Argissolo Vermelho e Amarelo da Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello

| Características químicas | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|------------------|--|---------------------------------|--|--------|-----|--------------------|
| pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) | V | MO |
| H ₂ O | mg dm ⁻³ | | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | ----- cmol _c dm ⁻³ ----- | | (%) | g kg ⁻¹ |
| 5,5 | 24,1 | 140 | 2,9 | 0,6 | 0,0 | 3,80 | 3,86 | 3,86 | 7,66 | 50 | 17 |
| Características físicas | | | | | | | | | | | |
| Areia | Silte | Argila | Classe textural | | | Densidade | CC | PM | | | |
| ----- g kg ⁻¹ ----- | | ----- g kg ⁻¹ ----- | | ----- g kg ⁻¹ ----- | | ----- kg dm ⁻³ ----- | ----- kg kg ⁻¹ ----- | | | | |
| 300 | 170 | 530 | Argila | | | 1,05 | 0,372 | 0,221 | | | |

pH (H₂O - 1:2,5); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; P e K: extrator Mehlich-1; H+Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0. CC – Capacidade de campo; PM – Ponto de murcha.

O experimento foi arranjado em esquema fatorial 2×6+1 onde uréia ou uréia+NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (Agrotain®) foram combinadas com seis períodos de ausência de irrigação: 0, 48, 96, 144, 192, 240 horas após a aplicação do fertilizante em cobertura, mais uma testemunha sem aplicação de N e com irrigação no primeiro tempo (hora zero). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída por nove linhas com 5 m de comprimento, espaçadas 0,20 m entre si. A área útil da parcela, 2,4 m², foi constituída pelas três linhas centrais, sendo eliminadas 0,5 m em ambas as extremidades.

A fertilização de cobertura foi realizada aos 16 dias após a emergência das plântulas, quando as plantas estavam no início do estágio de perfilhamento, utilizando a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, dose esta, pré-estabelecida em experimento realizado no ano anterior. No momento da fertilização de cobertura o solo encontrava-se com umidade de 25% da capacidade de campo. A irrigação (aplicação dos tratamentos) foi realizada com o fornecimento de 20 mm de lâmina de água, aplicada pausadamente com regador manual, evitando o escoamento superficial para fora da parcela experimental.

Foram avaliadas as características agronômicas número de grãos por espiga, massa da parte aérea seca, índice de colheita, massa de mil grãos, massa por hectolitro e rendimento de grãos.

O número de grãos por espiga, a massa da parte aérea seca e o índice de colheita (razão entre o rendimento de grãos e a massa da parte aérea seca) foram determinados em 100 colmos colhidos em sequência na fileira central da parcela. A massa de mil grãos foi determinada pela média da contagem de oito repetições de 100 grãos seguindo de extrapolação para 1000 grãos. A massa por hectolitro foi determinada utilizando balança específica, a partir dos grãos colhidos das plantas da parcela útil. O rendimento de grãos, com 13% de umidade, foi determinado a partir dos grãos colhidos das plantas da parcela útil e convertidos para kg ha^{-1} .

Foi determinada também, a recuperação de N pelas plantas de trigo por meio da avaliação do teor de N e conteúdo de N na parte aérea das plantas no perfilhamento (antes da fertilização de cobertura), no florescimento e na maturação, bem como, nos grãos. As avaliações no perfilhamento foram feitas em 20 plantas tomadas ao acaso na parcela útil; as avaliações no florescimento foram feitas em 10 plantas tomadas ao acaso na parcela útil e as avaliações na maturação foram feitas a partir de amostras retiradas das 100 colmos colhidos para determinação das características agronômicas descritas anteriormente. O teor de N foi obtido por meio do método Kjeldahl. O conteúdo de N na parte aérea, bem como, nos grãos, foram obtidos pela multiplicação do teor de N nestes compartimentos pelo conteúdo de massa seca dos mesmos.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). As médias dos tratamentos com uréia ou uréia+NBPT foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e, os efeitos de períodos sem irrigação foram analisados por regressão, sendo os modelos matemáticos escolhidos segundo as equações com melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2) e pela significância dos coeficientes de regressão e do teste F da regressão ($p \leq 0,05$). As significâncias dos coeficientes estão apresentadas nas equações por * ($p \leq 0,05$) e ** ($p \leq 0,01$). Para comparações entre as médias dos tratamentos e a testemunha foram aplicados teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

RESULTADO E DISCUSSÃO

Todas as parcelas do experimento apresentaram 100% de acamamento provocado pelas precipitações pluviais que ocorreram no final do enchimento de grãos, final de agosto e início de setembro (Figura 1). As características avaliadas não foram significativamente influenciadas pela interação de fatores. Por isso, não houve desdobramento da análise estatística sendo apresentados, portanto, apenas os efeitos simples dos fatores.

Os tratamentos uréia e uréia+NBPT não influenciaram significativamente nenhuma das características avaliadas (Tabela 2, 3 e 4). Resultados semelhantes foram encontrados para

o rendimento de grãos em cevada (*Hordeum vulgare* L.) (Grant and Bailey, 1999) e rendimento de grãos, produção de massa seca, conteúdo de N na massa seca e nos grãos das plantas trigo submetidas à uréia ou uréia+NBPT em dois tipos de solo (Gioacchini et al., 2002).

A semelhança entre os tratamentos pode sugerir que o uso da uréia+NBPT não se justifica do ponto de vista agrônomo. No entanto, na literatura são relatados ganhos com o uso do NBPT, como o resultado encontrado em milho (*Zea mays* L.), onde a uréia+NBPT promoveu maior rendimento de grãos que a uréia (Chien et al., 2009). Assim, acredita-se que as ausências de efeitos significativos podem estar relacionadas às condições de cultivo.

Tabela 2. Componentes de rendimento de grãos de plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à uréia ou uréia+NBPT e seis períodos de ausência de irrigação

| Tempo | Características avaliadas ¹ | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--|--------------------|---------------------|------------|-------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|-------|------------|
| | NGE ³ | | MH | | MMG | | REND | | MPAS | | IC | |
| | ----- | ----- | kg hL ⁻¹ | | g | | kg ha ⁻¹ | | kg ha ⁻¹ | | ----- | |
| (h) | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT |
| 0 | 43,8* | 43,6* | 75,5 | 75,4 | 35,5 | 34,5 | 3805 | 3480 | 13890 | 13380 | 0,388 | 0,379 |
| 48 | 40,5* | 40,8* | 76,0 | 75,4 | 36,0 | 34,9 | 3257 | 3861 | 13275 | 12854 | 0,361 | 0,390 |
| 96 | 39,0 ^{ns} | 40,1* | 75,9 | 75,8 | 35,5 | 34,7 | 3302 | 3810 | 12603 | 12921 | 0,356 | 0,355 |
| 144 | 39,8 ^{ns} | 39,6 ^{ns} | 75,8 | 75,3 | 36,0 | 35,1 | 3935 | 3418 | 13652 | 13485 | 0,367 | 0,367 |
| 192 | 39,3 ^{ns} | 37,3 ^{ns} | 75,6 | 75,5 | 36,1 | 36,3 | 3508 | 3968 | 13208 | 13089 | 0,372 | 0,379 |
| 240 | 37,2 ^{ns} | 36,3 ^{ns} | 75,1 | 75,6 | 36,8 | 36,4 | 3450 | 3541 | 13822 | 12685 | 0,371 | 0,353 |
| Test. ² | 34,30 | | 75,38 | | 36,99 | | 3349 | | 12670 | | 0,362 | |
| CV(%) | 6,92 | | 1,32 | | 4,28 | | 14,32 | | 8,92 | | 6,29 | |

¹NGE – Número de grãos por espiga; MH – Massa por hectolitro; MMG – Massa de mil grãos; REND – Rendimento de grãos; MPAS – Massa da parte aérea seca; IC – Índice de colheita. Não houve diferença significativa entre os fertilizantes pelo teste de Tukey (p≤0,05).

²Testemunha. ³Apenas para NGE houve efeito significativo da interação testemunha vs. fatorial. *Difere da testemunha e ^{ns} não difere da testemunha pelo teste de Dunnett (p≤0,05).

Tabela 3. Teor e conteúdo de nitrogênio na parte aérea de plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à uréia ou uréia+NBPT e seis períodos de ausência de irrigação

| Tempo (h) | Características avaliadas ¹ | | | | | | | |
|--------------------|--|------------|--------------------------------|------------|----------------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------|
| | Teor de N no Perfilhamento | | Conteúdo de N no perfilhamento | | Teor de N no florescimento | | Conteúdo de N no florescimento | |
| | g kg ⁻¹ | | mg planta ⁻¹ | | g kg ⁻¹ | | mg planta ⁻¹ | |
| | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT |
| 0 | 62,13 | 61,44 | 3,63 | 3,31 | 19,18* | 17,89 ^{ns} | 51,85* | 47,79* |
| 48 | 60,05 | 60,57 | 3,09 | 3,28 | 18,49* | 19,58* | 49,58* | 51,78* |
| 96 | 62,30 | 61,78 | 3,30 | 3,19 | 17,28 ^{ns} | 18,15* | 45,51 ^{ns} | 47,23* |
| 144 | 60,38 | 60,05 | 3,29 | 3,47 | 17,02 ^{ns} | 18,41* | 43,43 ^{ns} | 47,52* |
| 192 | 62,13 | 63,16 | 3,39 | 3,62 | 16,71 ^{ns} | 17,69 ^{ns} | 40,13 ^{ns} | 45,30 ^{ns} |
| 240 | 62,82 | 59,02 | 3,42 | 3,27 | 16,22 ^{ns} | 17,27 ^{ns} | 38,52 ^{ns} | 43,38 ^{ns} |
| Test. ² | 59,54 | | 3,08 | | 15,08 | | 36,26 | |
| CV(%) | 3,06 | | 10,92 | | 8,43 | | 10,84 | |

¹Não houve diferença significativa entre fertilizantes pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ²Testemunha. *Difere da testemunha e ^{ns} não difere da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Tabela 4. Teor e conteúdo de nitrogênio na parte aérea e nos grãos das plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas à uréia ou uréia+NBPT e seis períodos de ausência de irrigação

| Tempo (h) | Características avaliadas ¹ | | | | | | | |
|--------------------|--|--------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|------------|-------------------------|---------------------|
| | Teor N na maturação | | Conteúdo de N na maturação | | Teor de N nos grãos | | Conteúdo de N nos grãos | |
| | g kg ⁻¹ | | mg planta ⁻¹ | | g kg ⁻¹ | | mg espiga ⁻¹ | |
| | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT | Uréia | Uréia+NBPT |
| 0 | 6,30 ^{ns} | 7,55 ^{ns} | 16,55 ^{ns} | 17,88 ^{ns} | 24,31 ^{ns} | 25,49* | 37,34* | 37,10* |
| 48 | 7,46 ^{ns} | 9,35* | 18,08 ^{ns} | 22,74* | 24,89 ^{ns} | 25,75* | 36,91* | 36,70* |
| 96 | 7,94 ^{ns} | 8,47* | 20,33* | 19,99* | 25,94* | 25,41* | 35,82* | 34,53* |
| 144 | 7,63 ^{ns} | 9,72* | 18,30 ^{ns} | 23,03* | 25,93* | 27,20* | 35,43* | 37,48* |
| 192 | 8,17 ^{ns} | 9,16* | 19,39 ^{ns} | 21,32* | 26,18* | 25,75* | 35,63* | 33,59 ^{ns} |
| 240 | 7,50 ^{ns} | 9,13* | 18,63 ^{ns} | 20,66* | 27,66* | 25,93* | 36,64* | 31,90 ^{ns} |
| Test. ² | 5,23 | | 11,65 | | 22,93 | | 26,66 | |
| CV(%) | 18,67 | | 20,75 | | 4,80 | | 10,20 | |

¹Não houve diferença significativa entre fertilizantes pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$). ²Testemunha. *Difere da testemunha e ^{ns} não difere da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

As características número de grãos por espiga (Figura 2A), conteúdo de N no florescimento (Figura 2B), teor de N na parte aérea vegetativa (Figura 2C) e a massa seca dos grãos (Figura 2D) decresceram linearmente com o incremento dos períodos sem irrigação. Por outro lado, o aumento desses períodos promoveu acréscimos lineares no teor de N nos grãos (Figura 2E). As demais características não foram influenciadas pela ausência de irrigação.

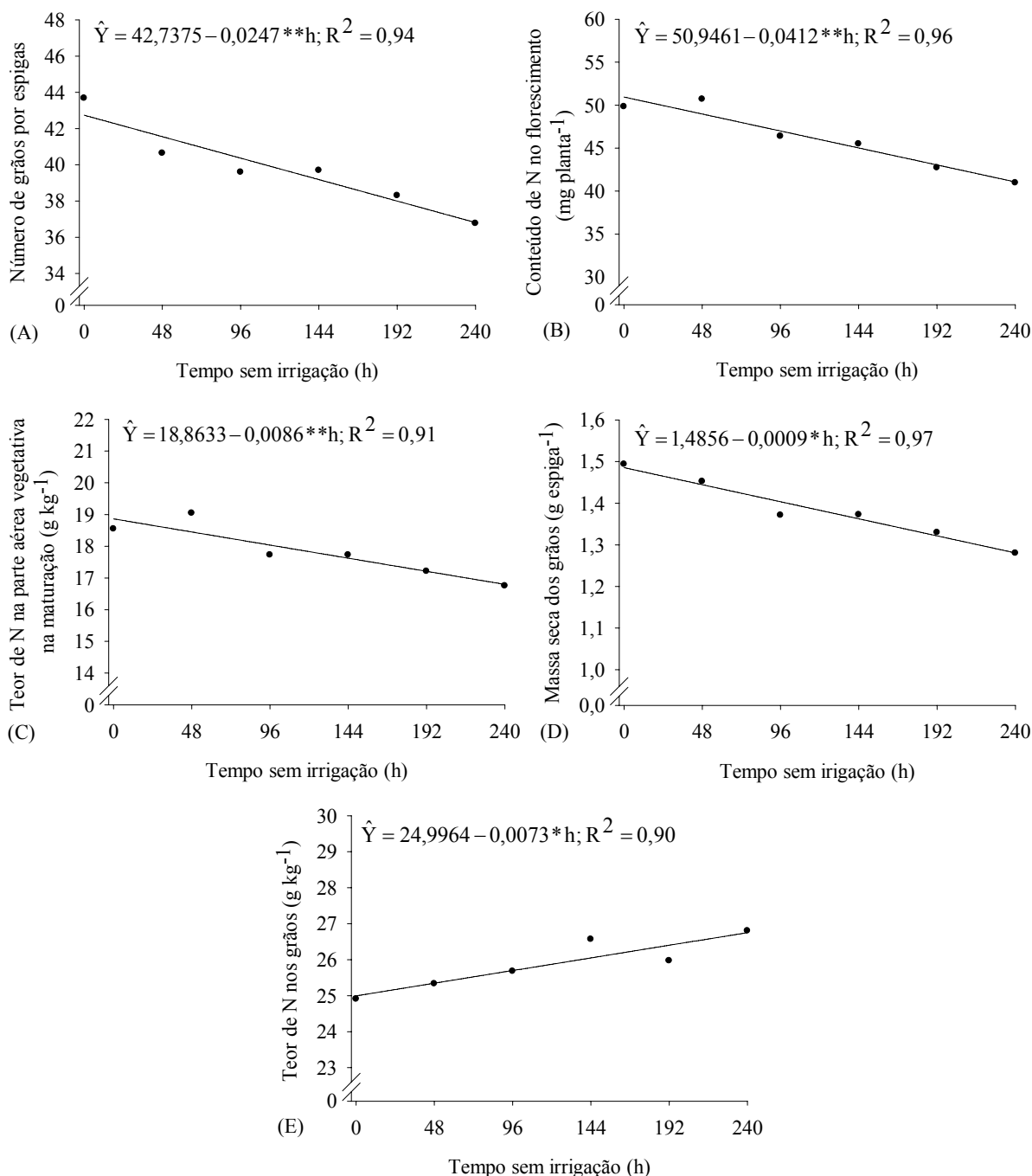


Figura 2. Número de grãos por espiga (A), conteúdo de N na parte aérea de plantas no florescimento (B) teor de N na parte aérea vegetativa na maturação (C), massa seca dos grãos (D) teor de N nos grãos (E) de plantas de trigo ‘BRS 254’ submetidas a seis períodos sem irrigação após a fertilização nitrogenada em cobertura.

A semelhança entre os tratamentos uréia e uréia+NBPT, bem como, a ausência de efeitos dos períodos sem irrigação, para a maioria das características analisadas, está relacionada à disponibilidade de nitrogênio no solo para o desenvolvimento das plantas e às condições climáticas pouco propícias para a ocorrência volatilização de NH_3 .

Para o primeiro caso, disponibilidade de N, acredita-se que os teores de N contidos no solo foram suficientes em todos os tratamentos para o desenvolvimento normal das plantas, não havendo, portanto, deficiência deste nutriente. Isso, porque: 1) o solo continha 17 g kg^{-1} de matéria orgânica (Tabela 1) e foram adicionados 24 kg ha^{-1} de N na sementeira e 100 kg ha^{-1} em cobertura; 2) as plantas apresentaram alto teor de N durante o desenvolvimento, $\approx 60 \text{ g kg}^{-1}$ no perfilhamento, acima de 15 g kg^{-1} no florescimento e $\approx 25 \text{ g kg}^{-1}$ nos grãos (Tabela 3 e 4), considerando $\approx 20 \text{ g kg}^{-1}$ na folha bandeira no florescimento e $\approx 23 \text{ g kg}^{-1}$ nos grãos como adequados (Lopez-Bellido et al., 2004); 3) para a maioria das características os tratamentos não diferiram da testemunha e, ainda, 4) todas as parcelas acamaram com as precipitações pluviais no final de agosto e início de setembro (Figura 1), fato comum em cereais de inverno, como o trigo, sob altas doses de N (Wang et al., 2009).

Em relação às condições climáticas, durante o mês de junho, quando foi realizada a fertilização de cobertura e as irrigações, as temperaturas máxima, média e mínima foram de 23,61; 16,70; 12,53°C, respectivamente, e a umidade relativa do ar e a velocidade do vento foram 86,26% e $16,43 \text{ km dia}^{-1}$, respectivamente. Essas condições não são propícias para volatilização, pois, a volatilização de NH_3 aumenta com os fatores que aumentam evaporação, como alta temperatura do ar e do solo e ventos velozes (Malhi et al., 2001). Mesmo não propícias, a volatilização da uréia+NBPT foi de até 12% (resultados não apresentados) menor que a uréia, mas, como já foi relatado, a disponibilidade de N foi suficiente para o desenvolvimento das plantas.

Os decréscimos observados para as características número de grãos por espiga, conteúdo de N no florescimento, massa dos grãos seca e teor de N na parte aérea na maturação (Figuras 2A, 2B, 2C e 2D) sugerem menor recuperação de N pelas plantas que permaneceram mais tempo sem receber irrigação. Já o acréscimo na característica teor de N nos grãos (Figura 2E) está relacionado ao efeito de concentração deste nutriente, uma vez que, o número de grãos por espiga e a massa dos grãos seca decresceram com o incremento dos tempos sem irrigação. Esse efeito de concentração/diluição é comum em plantas de trigo (Acreche & Slafer, 2009) e também se assemelha ao resultado relatado para *Triticum dicoccum* (Schübler) onde doses de N promoveram simultaneamente menor massa de 1000 grãos e maior teor de N nos grãos (Marino et al., 2009).

Embora poucas características tenham sido afetadas pela ausência de irrigação, os resultados indicam que quanto menor o tempo entre a aplicação de uréia em cobertura e a irrigação, melhor será o aproveitamento do N aplicado.

CONCLUSÕES

O NBPT não proporciona vantagens agronômicas à cultura do trigo, sob as condições estudadas.

A ausência de irrigação após a aplicação de uréia em cobertura proporciona menor aproveitamento de N pelas plantas de trigo.

AGRADECIMENTOS

Ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq) e à “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais” (FAPEMIG), pelas bolsas de estudos e auxílios concedidos. À Fertipar Sudeste Adubos e Corretivos Agrícolas Ltda e à Agrotain International LLC, pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

ACRECHE, M.M. & SLAFER, G.A. Variation of grain nitrogen content in relation with grain yield in old and modern Spanish wheat grown under a wide range of agronomic conditions in a Mediterranean region. **Journal of Agricultural Science**, v.147, p.657-667, 2009.

BREDEMEIER, C. & MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v.30, p.365-372, 2000.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, p.397-401, 2008.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v.102, p.267-322, 2009.

DUARTE, F.M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L.S.; GRAUPE, F.A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, v.37, p.705-711, 2007.

GIOACCHINI, P., NASTRI A., MARZADORI C., GIOVANNINI C., ANTISARI L.V., GESSA C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.129-135, 2002.

GIOVANNINI, C.; GARCIA-MINA, J. M.; CIAVATTA, C.; MARZADORI, C. Ureic nitrogen transformation in multi-layer soil columns treated with urease and nitrification inhibitors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, p.4883-4887, 2009.

GRANT, C.A. & BAILEY, L.D. Effect of seed-placed urea fertilizer and n-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) on emergence and grain yield of barley. **Canadian Journal of Plant Science**, v.79, p.491-496, 1999.

KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v.59, p.9-21, 2009.

LOPEZ-BELLIDO, R.J.; SHEPHERD, C.E.; BARRACLOUGH, P.B. Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. **European Journal of Agronomy**, v.20, p.313-320, 2004.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v.60, p.101-122, 2001.

MARINO, S.; TOGNETTI, R.; ALVINO, A. Crop yield and grain quality of emmer populations grown in central Italy, as affected by nitrogen fertilization. **European Journal of Agronomy**, v.31, p.233-240, 2009.

MÉRIGOUT, P.; LELANDAIS, M.; BITTON, F.; RENOU, J.P.; BRIAND, X.; MEYER, C.; DANIEL-VEDELE, F. Physiological and transcriptomic aspects of urea uptake and assimilation in Arabidopsis plants. **Plant Physiology**, v.147, p.1225-1238, 2008.

PRASERTSAK, P.; FRENEY, J.R.; SAFFIGNA, P.G.; DENMEAD, O.T.; PROVE, B.G. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.59, p.65-73, 2001.

WANG, F.; HE, Z.; SAYRE, K.; LI, S.; SI, J.; FENG, B.; KONG, L. Wheat cropping systems and technologies in China. **Field Crops Research**, v.111, p.181-188, 2009.

CAPÍTULO IV

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DA URÉIA COM INIBIDOR DE UREASE (NBPT) EM CONDIÇÕES DE AUSÊNCIA DE IRIGAÇÃO

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DA URÉIA COM INIBIDOR DE UREASE (NBPT) EM CONDIÇÕES DE AUSÊNCIA DE IRIGAÇÃO

RESUMO – O NBPT é uma alternativa para minimização da volatilização de NH_3 da uréia quando não se dispõe de sistema de irrigação para incorporação do fertilizante. Objetivou-se com este estudo avaliar a volatilização de amônia em um solo submetido à ausência de irrigação após aplicação de uréia ou uréia+NBPT em cobertura na cultura do trigo ‘BRS 254’. O experimento foi conduzido em Viçosa-MG no mês de junho de 2008. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial $2 \times 6 + 1$ onde uréia ou uréia+NBPT foram combinadas com seis períodos de ausência de irrigação, 0, 48, 96, 144, 192, 240 horas após a aplicação do fertilizante em cobertura, mais uma testemunha sem aplicação de N. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições. A volatilização foi avaliada às 48, 96, 144, 192, 240 e 600 horas após a fertilização de cobertura. Concluiu-se que a uréia+NBPT proporciona menor volatilização de NH_3 que a uréia; a ausência de irrigação aumenta a volatilização de NH_3 da uréia, mas não afeta a volatilização de NH_3 da uréia+NBPT.

Termos para indexação: *Triticum aestivum*, perdas de nitrogênio, NH_3 .

AMMONIA VOLATILIZATION FROM UREA COMBINED WITH UREASE INHIBITOR (NBPT) IN CONDITIONS OF IRRIGATION SHORTAGE

ABSTRACT – NBPT is an alternative to minimize NH_3 volatilization from urea when there is no irrigation system available for fertilizer incorporation. The objective of this study was to evaluate ammonia volatilization from a soil subjected to irrigation shortage after application of urea or urea + NBPT as topdressing in wheat cv. BRS 254. The experiment was conducted in Viçosa-MG in June 2008. The treatments were arranged in a $2 \times 6 + 1$ factorial where urea or urea + NBPT were combined with six periods of irrigation shortage (0, 48, 96, 144, 192, 240 h) after fertilizer application as topdressing and a control without N application. The experimental design was a randomized complete block with four replications. Volatilization was measured at 48, 96, 144, 192, 240 and 600 hours after the topdressing. The use of urea + NBPT resulted in lower NH_3 volatilization compared to urea-only treatments. The lack of irrigation increased NH_3 volatilization from urea, but had no effect on NH_3 volatilization from urea + NBPT.

Key words: *Triticum aestivum*, nitrogen loss, NH_3

INTRODUÇÃO

A enzima urease (amidohidrolase da uréia) é sintetizada por plantas, bactérias, algas, fungos e invertebrados e que ocorre amplamente distribuída na natureza, inclusive em solos (Krajewska, 2009). Esta enzima catalisa a hidrólise da uréia em amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2) na reação $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2$ (Fatibello-Filho, 2002; Mérigout et al., 2008).

A hidrólise de uréia é de especial importância para a agricultura porque a amônia produzida nos solos pode ser convertida a NH_4^+ , que é absorvido pelas plantas, ou convertido à NO_3^- , que é outra forma de N absorvida. No entanto, a NH_3 está sujeita a ser perdida pelo processo de volatilização (Malhi et al., 2001; Krajewska, 2009).

A volatilização de amônia é maior em solos com textura arenosa, baixa CTC, baixa acidez, alta umidade e com presença de cobertura vegetal (Costa et al., 2003; Sangoi et al., 2003; Longo & Mello, 2005a,b) e em condições de baixa umidade do ar, ventos fortes e temperaturas elevadas (Malhi et al., 2001). A combinação de elevada umidade do solo, ausência de chuvas durante os primeiros dias após a fertilização e temperatura elevada determina maior volatilização de NH_3 (Martha Jr. et al., 2004).

Como meio de reduzir a volatilização de NH_3 , deve-se proceder a fertilização com uréia quando são esperadas chuvas. Se ocorrerem chuvas ou irrigação que permitam a incorporação da uréia ao solo, a volatilização tende a ser reduzida (Prasertsak et al., 2001; Cantarella et al., 2008) porque a amônia no interior do solo é convertida a NH_4^+ , em condições de acidez predominante. No entanto, considerando possíveis retardos nas precipitações esperadas, é recomendável a utilização de fertilizantes nitrogenados que apresentem menores perdas por volatilização de NH_3 . Neste contexto, a uréia associada a um inibidor da urease pode ser mais efetiva.

Várias substâncias têm sido estudadas com o objetivo de inibir a atividade da enzima urease e reduzir a volatilização de NH_3 (Krajewska, 2009). O N-(n-butil) tiofosfórico triamida (NBPT) vem se apresentando como um dos inibidores mais promissores para reduzir a volatilização de NH_3 a partir da uréia (Gioacchini et al., 2002; Cantarella et al., 2008; Chien et al., 2009; Giovannini et al., 2009; Juan et al., 2009). Este inibidor ocupa o sítio ativo da urease, inativando-a (Krajewska, 2009), o que retarda o início e a velocidade de hidrólise da uréia. O atraso na hidrólise reduz o teor de NH_3 presente na superfície do solo, diminuindo o potencial de volatilização até que ocorra a incorporação do fertilizante ao solo.

Objetivou-se com este estudo avaliar a volatilização de amônia em um solo submetido à ausência de irrigação após aplicação de uréia ou uréia+NBPT em cobertura na cultura do trigo ‘BRS 254’.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello da Universidade Federal de Viçosa (UFV) em Viçosa-MG (20°45’ S e 42°51’ W e altitude de 650 metros), durante o mês de junho de 2008. Dados diários de temperatura máxima, média e mínima; umidade relativa do ar; velocidade do vento e precipitação pluvial, durante o período do experimento, foram obtidos junto à estação climatológica principal do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV (Figura 1).

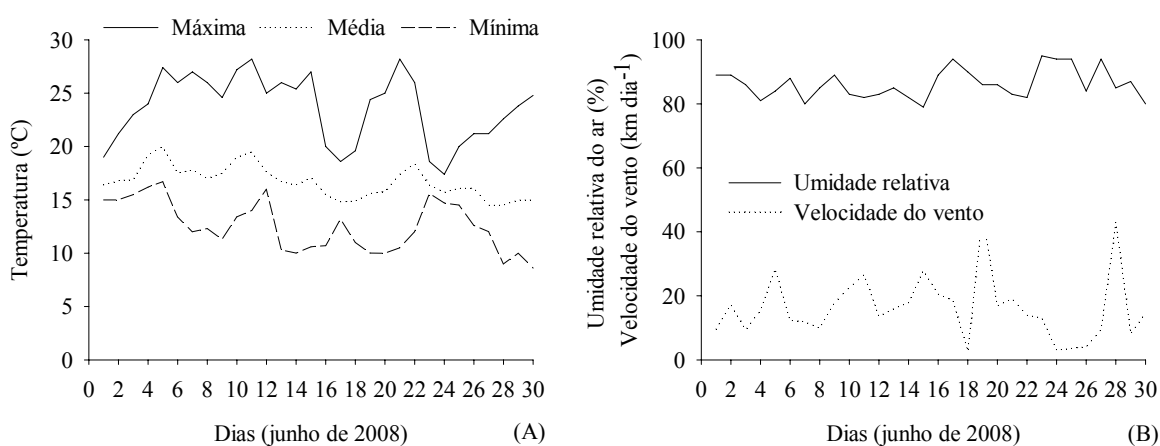


Figura 1. (A) Temperaturas máxima, média e mínima e (B) umidade relativa e velocidade do vento durante o mês de junho de 2008. Viçosa, MG.

A área utilizada para implantação do experimento tem sido cultivada nos últimos anos com soja (verão) e trigo (inverno). O solo desta área é o Argissolo Vermelho Amarelo e suas características químicas e físicas foram determinadas na camada de zero a 20 cm (Tabela 1).

A área estava sendo cultivada com trigo ‘BRS 254’, semeado na densidade de 350 sementes úteis por m². O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração e duas gradagens e a fertilização de semeadura foi realizada com 300 kg ha⁻¹ do formulado comercial 08-28-16 (24 kg ha⁻¹ de N).

O experimento foi arranjado em esquema fatorial e de parcelas subdivididas (2×6+1) ×6 onde as parcelas do fatorial foram constituídas pela aplicação de uréia ou uréia+NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (Agrotain[®]) combinadas com seis tempos de ausência de irrigação, 0, 48, 96, 144, 192 e 240 horas após a aplicação do fertilizante em cobertura, mais uma testemunha sem aplicação de N e com irrigação no primeiro tempo (hora zero). As

subparcelas constituíram-se da avaliação da volatilização de amônia (coleta) às 48, 96, 144, 192, 240 e 600 horas após a fertilização de cobertura. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições. A parcela experimental foi constituída por nove linhas com 5 m de comprimento, espaçadas 0,20 m entre si. A área útil da parcela, 2,4 m², foi constituída pelas três linhas centrais, sendo eliminadas 0,5 m em ambas as extremidades.

Tabela 1. Características químicas e físicas do Argissolo Vermelho Amarelo da Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Mello

| Características químicas | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|--------|------------------------------------|------------------|---------------------|---------------------|-------|--------|--------|--------------------|----|
| pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC(t) | CTC(T) | V | MO |
| H ₂ O | mg dm ⁻³ | | cmol _c dm ⁻³ | | | | | | (%) | g kg ⁻¹ | |
| 5,5 | 24,1 | 140 | 2,9 | 0,6 | 0,0 | 3,80 | 3,86 | 3,86 | 7,66 | 50 | 17 |
| Características físicas | | | | | | | | | | | |
| Areia | Silte | Argila | Classe textural | | Densidade | CC | PM | | | | |
| g kg ⁻¹ | | | | | kg dm ⁻³ | kg kg ⁻¹ | | | | | |
| 300 | 170 | 530 | Argila | | 1,05 | 0,372 | 0,221 | | | | |

pH (H₂O - 1:2,5); Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extrator KCl 1 mol L⁻¹; P e K: extrator Mehlich-1; H+Al: extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0. CC – Capacidade de campo; PM – Ponto de murcha.

A fertilização de cobertura foi realizada aos 16 dias após a emergência das plântulas, quando as plantas estavam no início do estágio de perfilhamento, utilizando a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, dose esta, pré-estabelecida em experimento realizado no ano anterior. No momento da fertilização de cobertura o solo encontrava-se com umidade de 25% da capacidade de campo. A irrigação (aplicação dos tratamentos) foi realizada com o fornecimento de 20 mm de lâmina de água utilizando regador manual, aplicando-a pausadamente para evitar o seu escorrimento superficial para fora da parcela experimental.

A volatilização de NH₃ foi quantificada por meio de um sistema semi-aberto estático (Lara Cabezas & Trivelin 1990), constituído por uma câmara coletora que foi instalada entre as linhas de semeadura do trigo, imediatamente antes das aplicações da uréia em cobertura.

As câmaras coletoras foram construídas com tubos de PVC de 20 cm de diâmetro e 60 cm de altura, inseridos no solo 5 cm. Para a captura da amônia volatilizada foram utilizados discos de espuma de nylon com 15 cm de diâmetro (densidade = 0,012 kg dm⁻³) e 3 cm de espessura, embebidos em solução contendo 1 mol L⁻¹ de H₂SO₄ e 30 mL L⁻¹ de glicerina. Em cada coletor o disco de espuma foi instalado a 20 cm do solo. Um segundo disco com 20 cm

de diâmetro foi instalado 10 cm abaixo da parte superior do coletor para evitar contaminação da unidade coletora com NH_3 da atmosfera externa. A espuma menor recebeu 25 mL da solução coletora e foi trocada a cada intervalo de tempo de coleta. A espuma maior recebeu 80 mL de solução e foi trocada apenas na 240ª hora, permanecendo assim até o final do experimento.

Para determinação da NH_3 capturada pela espuma, foram realizadas três lavagens sucessivas com a finalidade de extrair o sulfato de amônio formado, utilizando para isso 80 mL de uma solução de KCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ para efetuar uma primeira lavagem, e posteriormente mais duas lavagens com 40 mL de água destilada. Todos esses volumes foram transferidos para tubos de destilação, juntamente com a espuma cortada em pequenos pedaços. Procedeu-se a destilação Kjeldahl utilizando uma solução de NaOH 10 mol L^{-1} como alcalinizante. A NH_3 evoluída foi capturada em solução indicadora mista com ácido bórico, determinando-se os teores do N amoniacal por titulação colorimétrica (Tedesco, 1995). Os resultados foram expressos em kg ha^{-1} de N- NH_3 .

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). As médias dos tratamentos com uréia ou uréia+NBPT foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e, os efeitos de períodos sem irrigação e coletas foram analisados por regressão, sendo os modelos matemáticos escolhidos segundo as equações com melhores ajustes, confirmados pelos maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2) e pela significância dos coeficientes de regressão e do teste F da regressão ($p \leq 0,05$). As significâncias dos coeficientes de regressão estão apresentadas nas equações por * ($p \leq 0,05$) e ** ($p \leq 0,01$). Para comparações entre as médias dos tratamentos e a testemunha foram aplicados teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior valor de NH_3 volatilizada foi de $22,71 \text{ kg ha}^{-1}$, verificada no tratamento uréia, irrigado após 240 horas (Tabela 2). Subtraindo a testemunha ($4,15 \text{ kg ha}^{-1}$) deste valor, obtém-se $18,56 \text{ kg ha}^{-1}$, ou 18,56%, visto que foram aplicados 100 kg de N em cobertura. Esse valor pode ser considerado baixo se comparado aos valores de 64% (Chien et al., 2009), 36% (Prasertsak et al., 2001) e 44% (Martha Jr. et al., 2004). A baixa porcentagem de volatilização observada neste estudo está relacionada às condições climáticas que não foram propícias à volatilização.

Houve efeito significativo para as interações uréia \times tempo sem irrigação e uréia \times coletas. No desdobramento da primeira interação, a uréia apresentou maior volatilização acumulada, ao final de 600 horas, em todos os períodos sem irrigação, exceto para o tratamento que recebeu irrigação na hora zero após a fertilização (Tabela 2).

Tabela 2. Volatilização acumulada de amônia após 600 h (25 dias), em um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com trigo ‘BRS 254’ e submetido à aplicação de uréia ou uréia+NBPT e seis períodos de ausência de irrigação

| Tempo sem irrigação (h) | N-NH ₃ volatilizado (kg ha ⁻¹) | |
|-------------------------|---|------------|
| | Uréia | Uréia+NBPT |
| 0 | 9,20 A ¹ | 7,99 A |
| 48 | 14,42 A | 9,87 B |
| 96 | 18,28 A | 8,54 B |
| 144 | 17,93 A | 8,98 B |
| 192 | 21,97 A | 8,46 B |
| 240 | 22,71 A | 9,99 B |
| Testemunha ² | 4,15* | |
| CV(%) | 65,53 | |

¹Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

²Todas as médias diferiram da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

Na segunda interação, as volatilizações de NH₃ dos tratamentos uréia e uréia+NBPT foram semelhantes na primeira coleta, 48 horas, e na última, 600 horas, enquanto nas coletas intermediárias a uréia promoveu maior volatilização que o tratamento uréia+NBPT. As volatilizações de NH₃ acumuladas nos tratamentos uréia e uréia+NBPT foram semelhantes apenas nas coletas iniciais, 48 e 96 horas, nas demais coletas a uréia proporcionou maior volatilização acumulada que a uréia+NBPT (Tabela 3).

A menor volatilização observada nos tratamentos com uréia+NBPT são semelhantes aos resultados relatados na literatura (Gioacchini et al., 2002; Cantarella et al., 2008; Chien et al., 2009) e sugerem eficiência dessa substância para reduzir as perdas de N por volatilização, nos sistemas agrícolas. Isso acontece porque, o NBPT ocupa o sítio ativo da urease impedindo que a uréia se ligue a enzima (Krajewska, 2009) retardando assim a sua hidrólise, o que aumenta as chances de incorporação do fertilizante por eventuais precipitações ou pela movimentação natural da água contida no solo.

A semelhança entre os efeitos da uréia e da uréia+NBPT, quando a irrigação foi fornecida nas primeiras horas, deve-se ao fato que, uma vez incorporada, a uréia tem baixo potencial de volatilização de NH₃ (Prasertsak et al., 2002; Sangoi et al., 2003). Isso acontece porque, quando a uréia é incorporada, a amônia produzida a partir de sua hidrólise (Mérigout et al. 2008) encontra barreiras químicas e físicas que dificultam a chegada do NH₃ até a superfície do solo e, conseqüentemente, reduz a volatilização.

A volatilização média da testemunha, 0,24 a 0,55 kg ha⁻¹ de N a cada 48h (Tabela 3), é semelhante aos valores encontrados em solo arenoso na Nova Zelândia, <0,5 kg ha⁻¹ (Zaman et al., 2008). A volatilização acumulada da testemunha, 4,15 kg ha⁻¹ de N, assemelha-se aos 2,48 kg ha⁻¹ obtidos após 264 horas (11 dias) de experimentação (Duarte et al., 2007). O N volatilizado é proveniente, provavelmente, da fertilização de semeadura e dos resíduos do solo, visto que, o solo havia sido cultivado com soja e apresentava considerável quantidade de resíduos em decomposição.

Tabela 3. Volatilização de amônia (NH₃), ao longo do tempo, de um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com trigo ‘BRS 254’ e submetido à aplicação de uréia ou uréia+NBPT

| Coleta (h) | N-NH ₃ volatilizado (kg ha ⁻¹) ¹ | | | | | |
|------------------|--|----------------------|------------|--------------------------|---------------------|------------|
| | Média de cada coleta | | | Acumulada em cada coleta | | |
| | Uréia | Uréia+NBPT | Testemunha | Uréia | Uréia+NBPT | Testemunha |
| 48 | 0,64 A ^{ns} | 0,93 A ^{ns} | 0,31 | 0,64A ^{ns} | 0,93A ^{ns} | 0,31 |
| 96 | 2,70 A* | 1,10 B ^{ns} | 0,43 | 3,35A* | 2,03A* | 0,74 |
| 144 | 5,53 A* | 1,06 B ^{ns} | 0,45 | 8,88A* | 3,09B* | 1,20 |
| 192 | 3,02 A* | 0,77 B ^{ns} | 0,55 | 11,90A* | 3,87B* | 1,75 |
| 240 | 2,24 A* | 1,16 B ^{ns} | 0,55 | 14,14A* | 5,03B* | 2,31 |
| 600 ² | 0,43 A ^{ns} | 0,52 A ^{ns} | 0,24 | 17,42A* | 8,96B* | 4,15 |
| CV(%) | 65,53 | | | | | |

¹Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste Tukey (p≤0,05).

²Transformado para volatilização média a cada 48 horas. *Difere da testemunha e ^{ns} não difere da testemunha pelo teste de Dunnett (p≤0,05).

A volatilização acumulada, ao final de 600 h, aumentou linearmente com a elevação dos períodos sem irrigação para a uréia. Para a uréia+NBPT a ausência de irrigação não afetou a volatilização acumulada (Figura 2).

A ausência de efeito observado no tratamento uréia+NBPT sugere que este tratamento promove inibição da volatilização até 240 horas (10 dias) sem irrigação, ou seja, sob as condições estudadas, a uréia+NBPT pode permanecer sem incorporação até o 10º dia após sua aplicação. Esses resultados corroboram aos relatados em solos arenosos em Nova Zelândia (Zaman et al., 2008). Já o aumento da volatilização em função dos tempos sem irrigação, proporcionado pela uréia, sugere que na ausência de irrigação o N da uréia tende a ser perdido por volatilização de NH₃. A combinação de elevada umidade do solo, ausência de chuvas durante o primeiro dia após a fertilização e temperatura elevada determina elevada

volatilização de NH_3 (Martha Jr. et al., 2004). Neste estudo, mesmo não havendo condições de temperatura e ventos elevados, a umidade do solo, 25% da capacidade de campo, e a ausência de irrigação foram determinantes para ocorrência de volatilização.

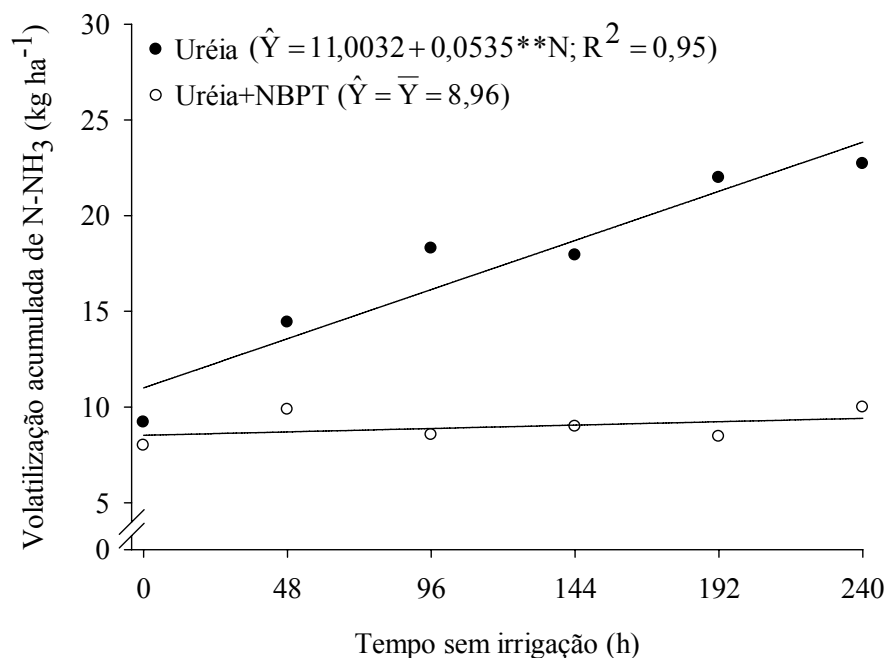


Figura 2. Volatilização acumulada de amônia de um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com trigo ‘BRS 254’ e submetido à aplicação de uréia ou uréia+NBPT e seis períodos sem irrigação após a fertilização de cobertura. As coletas foram feitas até 600 h após a fertilização de cobertura.

A volatilização da uréia variou de forma não linear com acréscimos até a 144^a hora (6^o dia) e decréscimo a partir desta. Para a uréia+NBPT e a testemunha, a volatilização foi semelhante ao logo do tempo (Figura 3). O pico de volatilização obtido neste estudo é semelhante aos relatados na literatura, por volta do 6^o dia (Sangoi et al., 2003; Costa et al., 2003; Duarte et al., 2007; Chien et al., 2009) e 5^o dia (Zaman et al., 2008).

A ausência de pico de volatilização durante o período experimental, para o tratamento uréia+NBPT, assemelha-se à baixa volatilização observada para esse tratamento até o 14^o dia (Zaman et al., 2008), até o 80^o dia em solo arenoso (Gioacchini et al., 2002) e até o 7^o dia (Cantarella et al., 2008). O resultado obtido neste estudo sugere que o NBPT foi eficiente para reduzir as perdas, ou seja, o inibidor reduziu a volatilização durante o período compreendido entre a fertilização e a incorporação do fertilizante ao solo por meio da irrigação. A ausência de pico de volatilização, bem como, os baixos níveis de perdas podem estar relacionados às condições climáticas (Figura 1) e ao curto período experimental 240 horas sem irrigação. Em solo cultivado com cana-de-açúcar sem despalha a fogo que recebeu uréia+NBPT a

volatilização se intensificou após o 7º dia (Cantarella et al., 2008) e em solo argiloso houve aumento na taxa de volatilização após o 15º dia (Gioacchini et al., 2002). Isso ocorre porque, o inibidor retarda a hidrólise, mas, não a elimina e seu efeito persiste por poucos dias no solo.

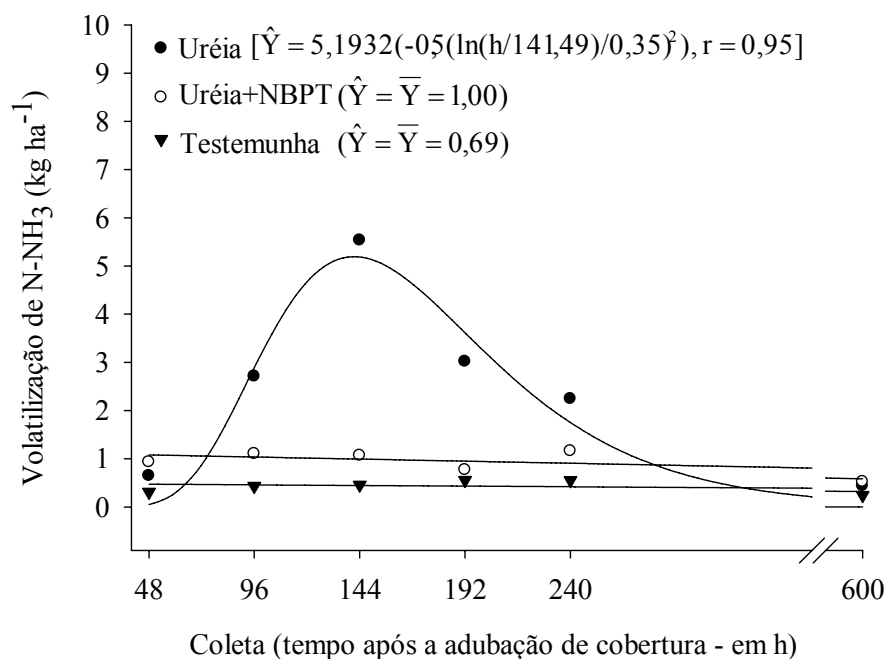


Figura 3. Volatilização média de amônia, ao longo do tempo, de um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com trigo ‘BRS 254’ e submetido à aplicação de uréia ou uréia+NBPT.

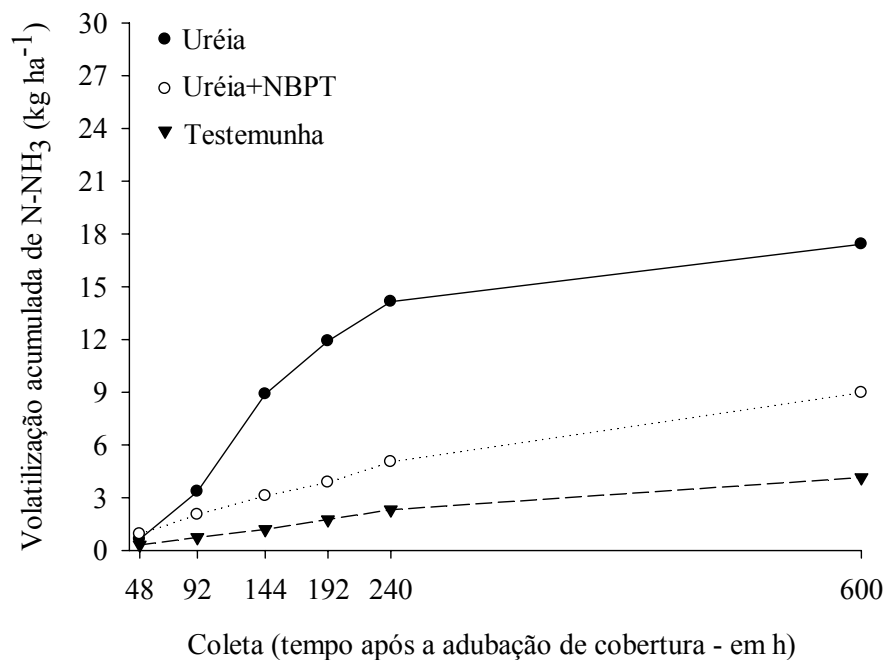


Figura 4. Volatilização de amônia, acumulada em um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com trigo ‘BRS 254’ e submetido à aplicação de uréia ou uréia+NBPT.

A volatilização acumulada foi intensa até a 240^a hora para o tratamento uréia, e continuou após este momento, embora em níveis mais baixos. O acúmulo de N-NH₃ volatilizado também aumentou no tratamento uréia+NBPT e testemunha, porém, em níveis inferiores ao da uréia, tendo a testemunha apresentado os menores valores (Figura 4). O comportamento apresentado para ambos os tratamentos é semelhante ao relatado para esses em diferentes situações (Gioacchini et al., 2002; Cantarella et al., 2008). Os menores acréscimos observados a partir da 240^a hora ocorreram em função da incorporação do N promovido pela irrigação geral no experimento com lâmina de 20 mm .

CONCLUSÕES

A uréia+NBPT proporcionou menor volatilização de N-NH₃ que a uréia.

A ausência de irrigação aumenta a volatilização de N-NH₃, quando a uréia é aplicada sem NBPT, mas não afeta a volatilização da uréia com NBPT até 10 dias.

AGRADECIMENTOS

Ao “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq) e à “Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais” (FAPEMIG), pelas bolsas de estudos e auxílios concedidos. À Fertipar Sudeste Adubos e Corretivos Agrícolas Ltda e à Agrotain International LLC, pelo apoio concedido.

REFERÊNCIAS

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O.; CONTIN, T.L.M.; DIAS, F.L.F.; ROSSETTO, R.; MARCELINO, R.; COIMBRA, R.B.; QUAGGIO, J.A. Ammonia volatilization from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, v.65, p.397-401, 2008.

CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, v.102, p.267-322, 2009.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.631-637, 2003.

DUARTE, F.M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L.S.; GRAUPE, F.A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, v.37, p.705-711, 2007.

FATIBELLO-FILHO, O. Uso analítico de tecidos e de extratos brutos vegetais como fonte enzimática. **Química Nova**, v.25, p.455-464, 2002.

GIOACCHINI, P.; NASTRI A.; MARZADORI C.; GIOVANNINI C.; ANTISARI L.V.; GESSA C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.129-135, 2002.

GIOVANNINI, C.; GARCIA-MINA, J.M.; CIAVATTA, C.; MARZADORI, C. Ureic nitrogen transformation in multi-layer soil columns treated with urease and nitrification inhibitors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.57, 4883-4887, 2009.

JUAN, Y.H.; CHEN, L.J.; WU, Z.J.; WANG, R. Kinetics of soil urease affected by urease inhibitors at contrasting moisture regimes. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutricion Vegetal**, v.9, p.125-133, 2009.

KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v.59, p.9-21, 2009.

LARA CABEZAS, W.A.R. & TRIVELIN, P.C.O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.345-352, 1990.

LONGO, R.M. & MELO, W.J. Atividade da urease em latossolos sob influência da cobertura vegetal e da época de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.645-651, 2005a.

LONGO, R.M. & MELO, W.J. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.651-657, 2005b.

MALHI, S.S.; GRANT, C.A.; JOHNSTON, A.M.; GILL, K.S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v.60, p.101-122, 2001.

MÉRIGOUT, P.; LELANDAIS, M.; BITTON, F.; RENOU, J.P.; BRIAND, X.; MEYER, C.; DANIEL-VEDELE, F. Physiological and transcriptomic aspects of urea uptake and assimilation in Arabidopsis plants. **Plant Physiology**, v.147, p.1225-1238, 2008.

MARTHA JR., G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T.L.F.; TEIXEIRA, G.M.; MANZONI, C.S.; BARIONI, L.G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.2240-2247, 2004.

PRASERTSAK, P.; FRENEY, J.R.; DENMEAD, O.T.; SAFFIGNA, P.G.; PROVE, B.G.; REGHENZANI, J.R. Effect of fertilizer placement on nitrogen loss from sugarcane in tropical Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.62, p.229-239, 2002.

PRASERTSAK, P.; FRENEY, J.R.; SAFFIGNA, P.G.; DENMEAD, O.T.; PROVE, B.G. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.59, p.65-73, 2001.

SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v.33, p.687-692, 2003.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre, Departamento de solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

ZAMAN, M.; NGUYEN, M.L.; BLENNERHASSETT, J.D. Reducing NH₃, N₂O and NO₃⁻ – N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. **Biology and Fertility of Soils**, v.44, p.693-705, 2008.

CONCLUSÕES GERAIS

O uso de inibidor de urease, NBPT, proporciona melhor desempenho produtivo do trigo 'Pioneiro' quando a uréia é aplicada de forma parcelada, mas sua utilização não é justificada quando a uréia é aplicada em dose total na semeadura.

A adição de NBPT junto à uréia, aplicada em cobertura, promove maior aproveitamento de N pelas plantas de trigo 'BRS 254' submetidas a doses de N, sendo a dose de 100 kg ha⁻¹ de N, a que proporciona melhor recuperação aparente de N e a dose de 90 kg ha⁻¹ a que proporciona melhor eficiência de uso de N por essas plantas.

A uréia com NBPT apresenta menor volatilização de NH₃ que a uréia. Por isso, a ausência de irrigação após a aplicação de uréia em cobertura aumenta a volatilização de NH₃ e proporciona menor aproveitamento de N pelas plantas de trigo 'BRS 254', mas não afeta a volatilização da uréia com NBPT até 10 dias.

APÊNDICE

Apêndice 1 A. Resumo da análise de variância das características agronômicas de trigo (*T. aestivum* L.) ‘Pioneiro’ submetido a uréia ou uréia+NBPT aplicadas em dose única (60 kg ha⁻¹ em dose total na semeadura) ou parcelada (20 kg ha⁻¹ na semeadura + 40 kg ha⁻¹ em cobertura no início do perfilhamento) (CAPÍTULO I)

| F.V. | G.L. | Quadrado médio | | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|
| | | Nflor | Nfband | Ng | ALT | MMG | MH | NGE | NEM | MPAS | REND | IC |
| Blocos | 9 | 0,0452 ^{ns} | 0,0816 ^{ns} | 0,0090 ^{ns} | 14,09 ^{ns} | 1,8608 ^{ns} | 0,3809 ^{ns} | 34,9871 ^{ns} | 896,1 ^{ns} | 4146124 ^{ns} | 213896 ^{ns} | 0,0002 ^{ns} |
| Uréia (U) | 1 | 0,0965 ^{ns} | 0,1545 ^{ns} | 0,0126 ^{ns} | 0,97 ^{ns} | 5,3381 ^{ns} | 6,7239* | 81,5764 ^{ns} | 19981** | 12818580* | 683524* | 0,0003 ^{ns} |
| Forma (F) | 1 | 0,0205 ^{ns} | 0,3865** | 0,0126 ^{ns} | 49,70** | 1,4109 ^{ns} | 0,0639 ^{ns} | 98,4501* | 7310* | 14694380* | 852566* | 0,0027** |
| UxF | 1 | 0,0159 ^{ns} | 0,8673** | 0,0348* | 1,20 ^{ns} | 7,3852* | 3,9062* | 1,2552 ^{ns} | 686,9 ^{ns} | 15013230* | 591536* | 0,0010* |
| Resíduo | 27 | 0,0300 | 0,0497 | 0,0046 | 4,72 | 1,8882 | 0,5683 | 24,1059 | 1552 | 2586943 | 121549 | 0,0001 |
| Média | | -----g kg ⁻¹ ----- | | | cm | g | kg hL ⁻¹ | ----- | ----- | -----kg ha ⁻¹ ----- | | ----- |
| | | 12,2 | 26,5 | 13,4 | 96,34 | 36,54 | 82,13 | 34,87 | 451,15 | 12478 | 3651 | 0,469 |
| CV (%) | | 14,10 | 8,40 | 5,10 | 2,25 | 3,76 | 1,00 | 14,08 | 8,73 | 12,89 | 9,55 | 2,78 |

¹Nflor – Teor de N na parte aérea durante o florescimento; Nfband – Teor de N na folha bandeira durante o florescimento; Ng – Teor de N nos grãos durante a maturação; ALT – Altura de plantas; MMG – Massa de mil grãos; MH – Massa por hectolitro; NGE – Número de grãos por espiga; NEM – Número de espigas por metro quadrado; MPAS – Massa da parte aérea seca; REND – Rendimento de grãos e IC – Índice de colheita. *Significativo (p≤0,05) e **Significativo (p≤0,01), ambos pelo teste F; ^{ns}Não significativo.

Apêndice 1 B. Médias das características agronômicas de trigo (*T. aestivum* L.) ‘Pioneiro’ submetido a uréia ou uréia+NBPT aplicadas em dose única (60 kg ha⁻¹ em dose total na semeadura) ou parcelada (20 kg ha⁻¹ na semeadura + 40 kg ha⁻¹ em cobertura no início do perfilhamento) (CAPÍTULO I)

| Tratamento | | Característica avaliada | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------|-------------------------------|--------|------|-------|---------------------|-------|--------------------------------|--------|-------|------|-------|
| | | Nflor | Nfband | Ng | ALT | MMG | MH | NGE | NEM | MPAS | REND | IC |
| Fertilizante | Forma de aplicação | -----g kg ⁻¹ ----- | | cm | g | kg hL ⁻¹ | ----- | -----kg ha ⁻¹ ----- | ----- | | | |
| Uréia+NBPT | Única | 12,4 | 26,6 | 13,1 | 98,38 | 36,67 | 82,27 | 37,88 | 482,88 | 13038 | 3806 | 0,459 |
| | Parcelada | 12,4 | 27,6 | 14,0 | 94,74 | 37,15 | 82,82 | 34,72 | 464,13 | 13051 | 3757 | 0,485 |
| Uréia | Única | 12,5 | 28,3 | 13,3 | 97,45 | 36,79 | 82,08 | 34,66 | 446,46 | 13131 | 3788 | 0,463 |
| | Parcelada | 11,7 | 23,4 | 13,1 | 94,79 | 35,56 | 81,37 | 32,22 | 411,14 | 10693 | 3252 | 0,470 |

¹Nflor – Teor de N na parte aérea durante o florescimento; Nfband – Teor de N na folha bandeira durante o florescimento; Ng – Teor de N nos grãos durante a maturação; ALT – Altura de plantas; MMG – Massa de mil grãos; MH – Massa por hectolitro; NGE – Número de grãos por espiga; NEM – Número de espigas por metro quadrado; MPAS – Massa da parte aérea seca; REND – Rendimento de grãos e IC – Índice de colheita.

Apêndice 2 A. Resumo da análise de variância das características agrônômicas de trigo (*T. aestivum* L.) ‘BRS 254’ submetido a cinco dose de nitrogênio na forma de uréia ou uréia+NBPT (CAPÍTULO II)

| F.V. | G.L. | Quadrado médio | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | ALT | NEM | NGE | MH | MMG | MPAS | IC | REND | NPAV | NG | Cont (NPAV) | Cont (NPAT) | Cont (NG) | RAN | EUN |
| Blocos | 3 | 5,4413 ^{ns} | 1064,84 ^{ns} | 39,74 ^{ns} | 1,433 ^{ns} | 0,466 ^{ns} | 660030 ^{ns} | 0,0001 ^{ns} | 196564,6 ^{ns} | 0,0359 ^{ns} | 0,9682 ^{ns} | 24,49 ^{ns} | 43,48 ^{ns} | 50,83 ^{ns} | 346,0 ^{ns} | 58,29 ^{ns} |
| Uréia (U) | 1 | 10,629 ^{ns} | 2663,04 ^{ns} | 239,22* | 6,847* | 3,593* | 22629330* | 0,0004 ^{ns} | 1044981* | 0,1604 ^{ns} | 0,4232 ^{ns} | 525,5* | 1678,6* | 325,68* | 2741* | 286,2* |
| Dose (D) | 4 | 127,85* | 1182,48 ^{ns} | 214,23* | 6,805* | 4,202* | 19639565* | 0,0029 ^{ns} | 2702127* | 2,1084* | 15,564* | 751,7* | 4156,2* | 1520,5* | 886,5* | 128,1* |
| UxD | 4 | 0,5175 ^{ns} | 130,12 ^{ns} | 11,96 ^{ns} | 0,117 ^{ns} | 0,198 ^{ns} | 758848,7 ^{ns} | 0,0020 ^{ns} | 197495,1* | 0,4119 ^{ns} | 0,5085 ^{ns} | 154,9 ^{ns} | 65,247 ^{ns} | 73,49* | 115,6 ^{ns} | 44,55 ^{ns} |
| Test. vs fat. | 1 | 278,02* | 2054,9 ^{ns} | 435,32* | 15,262* | 2,814* | 30221200* | 0,0006 ^{ns} | 5521020* | 3,41* | 7,4823* | 921,4* | 6096,6* | 2278,3* | 6817,2* | 776,6* |
| Resíduo | 30 | 2,8423 | 1317,19 | 19,83 | 0,5352 | 0,4434 | 1672999,33 | 0,0019 | 77247,66 | 0,2853 | 0,7330 | 91,12 | 121,19 | 25,33 | 323,5 | 30,52 |
| Média | | cm | ----- | ----- | kg hL ⁻¹ | g | ---kg ha ⁻¹ --- | ----- | --kg ha ⁻¹ -- | -----g kg ⁻¹ ----- | -----kg ha ⁻¹ ----- | | | | % | kg kg ⁻¹ |
| | | 94,84 | 351,9 | 44,51 | 78,11 | 34,86 | 13425 | 0,39 | 3747,08 | 4,487 | 19,77 | 44,22 | 109,18 | 64,95 | 39,36 | 12,59 |
| CV (%) | | 1,78 | 10,31 | 10 | 0,94 | 1,91 | 9,634 | 11,12 | 7,42 | 11,903 | 4,33 | 21,58 | 10,08 | 7,75 | 45,69 | 43,87 |

ALT – Altura de plantas; NEM – Número de espigas por metro quadrado; NGE – Número de grãos por espiga; MH – Massa por hectolitro; MMG – Massa de mil grãos; MPAS – Massa da parte aérea seca; IC – Índice de colheita; REND – Rendimento de grãos; NPAV – Teor de N na parte aérea vegetativa; NG – Teor de N nos grãos na maturação; Cont(NPAV) – Conteúdo de N na parte aérea vegetativa; Cont(NPAT) – Conteúdo de N na parte aérea total; Cont(NG) – Conteúdo de N nos grãos na maturação; RAN – Recuperação aparente de nitrogênio, EUN – Eficiência do uso de nitrogênio. *Significativo (p≤0,05) e **Significativo (p≤0,01), ambos pelo teste F; ^{ns}Não significativo; ^{ns} Não significativo.

Apêndice 2 B. Médias das características agronômicas de trigo (*T. aestivum* L.) ‘BRS 254’ submetido a cinco dose de nitrogênio na forma de uréia ou uréia+NBPT (CAPÍTULO II)

| Fertilizante | Dose | ALT | NEM | NGE | MH | MMG | MPAS | IC | REND | NPAV | NG | Cont (NPAV) | Cont (NPAT) | Cont (NG) | RAN | EUN |
|--------------|------|-------|--------|-------|---------------------|-------|----------------------------|-------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------|---------------------|-----------|-------|-------|
| | | cm | ----- | ----- | kg hL ⁻¹ | g | ---kg ha ⁻¹ --- | ----- | --kg ha ⁻¹ -- | -----g kg ⁻¹ ----- | -----kg ha ⁻¹ ----- | % | kg kg ⁻¹ | | | |
| Uréia | 30 | 89,41 | 331,52 | 35,99 | 78,78 | 35,90 | 10747 | 0,351 | 2727 | 4,01 | 18,55 | 32,18 | 76,16 | 43,98 | 14,02 | 3,367 |
| | 60 | 93,25 | 342,48 | 43,33 | 78,18 | 35,77 | 12612 | 0,399 | 3614 | 4,09 | 18,31 | 36,76 | 94,43 | 57,66 | 37,45 | 16,46 |
| | 90 | 96,5 | 340,12 | 43,57 | 77,4 | 34,98 | 13455 | 0,393 | 3788 | 4,91 | 20,10 | 48,06 | 114,22 | 66,15 | 46,96 | 12,90 |
| | 120 | 97,37 | 355,97 | 47,50 | 76,85 | 34,77 | 13917 | 0,403 | 4106 | 4,55 | 20,62 | 44,60 | 118,26 | 73,66 | 38,58 | 12,33 |
| | 150 | 99,08 | 359,40 | 44,91 | 76,33 | 33,96 | 13944 | 0,386 | 4249 | 4,98 | 21,74 | 48,63 | 129,05 | 80,42 | 38,06 | 10,81 |
| Uréia+NBPT | 30 | 89,95 | 353,35 | 38,41 | 79,63 | 35,08 | 11523 | 0,384 | 3090 | 4,01 | 18,12 | 34,16 | 82,87 | 48,71 | 36,38 | 15,43 |
| | 60 | 94,34 | 345,56 | 45,42 | 78,75 | 34,92 | 14175 | 0,392 | 3838 | 4,29 | 19,15 | 44,89 | 110,10 | 65,21 | 63,58 | 21,44 |
| | 90 | 97,57 | 360,97 | 50,84 | 78 | 34,88 | 14875 | 0,383 | 4301 | 4,37 | 19,84 | 46,80 | 121,06 | 74,25 | 54,56 | 18,60 |
| | 120 | 98 | 370,09 | 54,09 | 77,88 | 34,01 | 15211 | 0,420 | 4737 | 4,82 | 20,88 | 50,38 | 136,23 | 85,85 | 53,56 | 17,59 |
| | 150 | 100,9 | 381,12 | 50,99 | 77,42 | 33,49 | 16413 | 0,372 | 4060 | 5,68 | 21,65 | 70,26 | 146,65 | 76,39 | 49,79 | 9,55 |
| Testemunha | | 86,89 | 330,29 | 34,56 | 79,97 | 35,66 | 10804 | 0,380 | 2626 | 3,60 | 18,46 | 29,75 | 71,96 | 42,20 | 0,00 | 0,00 |

ALT – Altura de plantas; NEM – Número de espigas por metro quadrado; NGE – Número de grãos por espiga; MH – Massa por hectolitro; MMG – Massa de mil grãos; MPAS – Massa da parte aérea seca; IC – Índice de colheita; REND – Rendimento de grãos; NPAV – Teor de N na parte aérea vegetativa; NG – Teor de N nos grãos na maturação; Cont(NPAV) – Conteúdo de N na parte aérea vegetativa; Cont(NPAT) – Conteúdo de N na parte aérea total; Cont(NG) – Conteúdo de N nos grãos na maturação; RAN – Recuperação aparente de nitrogênio, EUN – Eficiência do uso de nitrogênio.

Apêndice 3 A. Resumo da análise de variância das características agrônômicas de trigo (*T. aestivum* L.) ‘BRS 254’ submetido à uréia ou uréia+NBPT e seis períodos de ausência de irrigação (CAPÍTULO III)

| F.V. | G.L. | Quadrado médio | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|---------------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|
| | | NGE | MH | MMG | REND | MPAS | IC | Teor (Nperf) | Cont (Nperf) | Teor (Nflor) | Cont (Nflor) | Teor (Nmat) | Cont (Nmat) | Teor (Ngrãos) | Cont (Ngrãos) |
| Blocos | 3 | 5,068 ^{ns} | 4,026* | 0,75 ^{ns} | 110709,2 ^{ns} | 2737317 ^{ns} | 0,0008 ^{ns} | 0,006 ^{ns} | 0,2387 ^{ns} | 0,2256 ^{ns} | 9,7166 ^{ns} | 3,756 ^{ns} | 24,806 ^{ns} | 0,403 ^{ns} | 3,65 ^{ns} |
| Uréia (U) | 1 | 1,3 ^{ns} | 0,25 ^{ns} | 5,16 ^{ns} | 319692,4 ^{ns} | 1378843 ^{ns} | 0,00002 ^{ns} | 0,0337 ^{ns} | 0,00009 ^{ns} | 5,55 ^{ns} | 64,9505 ^{ns} | 23,009 ^{ns} | 68,451 ^{ns} | 0,129 ^{ns} | 13,954 ^{ns} |
| Tempo (T) | 5 | 43,59* | 0,19 ^{ns} | 3,27 ^{ns} | 58079,42 ^{ns} | 850461,6 ^{ns} | 0,00086 ^{ns} | 0,0939* | 0,0630 ^{ns} | 5,689* | 117,174* | 3,298* | 13,195* | 4,192* | 12,139 ^{ns} |
| UxT | 5 | 2,32 ^{ns} | 0,316 ^{ns} | 0,44 ^{ns} | 305131 ^{ns} | 473330,4 ^{ns} | 0,00053 ^{ns} | 0,0485 ^{ns} | 0,0516 ^{ns} | 1,935 ^{ns} | 23,454 ^{ns} | 1,084 ^{ns} | 7,820 ^{ns} | 2,848 ^{ns} | 10,230 ^{ns} |
| Test. vs fat. | 1 | 110,6* | 0,223 ^{ns} | 6,32 ^{ns} | 229498 ^{ns} | 1195984 ^{ns} | 0,0002 ^{ns} | 0,0001 ^{ns} | 0,1368 ^{ns} | 27,89* | 1048,35* | 32,71* | 399,52* | 31,88* | 420,05* |
| Resíduo | 36 | 7,389 | 0,919 | 2,350 | 262143,5 | 1384676 ^{ns} | 0,0005 ^{ns} | 0,0249 | 0,0443 | 2,206 | 24,066 | 2,221 | 15,723 | 1,516 | 12,810 |
| Média | | ----- | kg hL ⁻¹ | g | ----- | kg ha ⁻¹ | ----- | g kg ⁻¹ | mg planta ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg planta ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg planta ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg planta ⁻¹ |
| | | 39,35 | 75,6 | 35,78 | 3579,38 | 13195,36 | 0,369 | 8,91 | 3,33 | 17,61 | 45,25 | 7,97 | 19,12 | 25,64 | 35,05 |
| CV(%) | | 6,9 | 1,3 | 4,28 | 14,3 | 8,92 | 6,299 | 3,06 | 10,92 | 8,43 | 29,15 | 18,67 | 20,75 | 4,8 | 10,209 |

¹NGE – Número de grãos por espiga; MH – Massa por hectolitro; MMG – Massa de mil grãos; REND – Rendimento de grãos; MPAS – Massa da parte aérea seca; IC – Índice de colheita; Teor(Nperf) – Teor de N na parte aérea durante o perfilhamento; Cont(Nperf) – Conteúdo de N na parte aérea durante o perfilhamento; Teor(Nflor) – Teor de N na parte aérea durante o florescimento; Cont(Nflor) – Conteúdo de N na parte aérea durante o florescimento; Teor(Nmat) – Teor de N na parte aérea na maturação; Cont(Nmat) – Conteúdo de N na parte aérea na maturação; Teor(Ngrãos) – Teor de N nos grãos na maturação; Cont(Ngrãos) – Conteúdo de N nos grãos na maturação. *Significativo pelo teste F (p≤0,05); ^{ns} Não significativo.

Apêndice 3 B. Médias das características agrônômicas de trigo (*T. aestivum* L.) ‘BRS 254’ submetido à uréia ou uréia+NBPT e seis períodos de ausência de irrigação (CAPÍTULO III)

| Fertilizante | Hora | NGE | MH | MMG | REND | MPAS | IC | Teor (Nperf) | Cont (Nperf) | Teor (Nflor) | Cont (Nflor) | Teor (Nmat) | Cont (Nmat) | Teor (Ngrãos) | Cont (Ngrãos) |
|--------------|------|-------|---------------------|-------|--------------------------------|-------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| | | ----- | kg hL ⁻¹ | g | -----kg ha ⁻¹ ----- | ----- | g kg ⁻¹ | mg planta ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg planta ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg planta ⁻¹ | g kg ⁻¹ | mg planta ⁻¹ | g kg ⁻¹ |
| Uréia | 0 | 43,77 | 75,55 | 35,51 | 3805 | 13890 | 0,3885 | 62,13 | 3,63 | 19,18 | 51,85 | 6,30 | 16,55 | 24,31 | 37,34 |
| | 48 | 40,47 | 76,06 | 36,04 | 3257 | 13275 | 0,3612 | 60,05 | 3,09 | 18,49 | 49,58 | 7,46 | 18,08 | 24,89 | 36,91 |
| | 96 | 39,03 | 75,9 | 35,52 | 3302 | 12603 | 0,3560 | 62,30 | 3,30 | 17,28 | 45,51 | 7,94 | 20,33 | 25,94 | 35,82 |
| | 144 | 39,81 | 75,81 | 36,05 | 3935 | 13652 | 0,3670 | 60,38 | 3,29 | 17,02 | 43,43 | 7,63 | 18,30 | 25,93 | 35,43 |
| | 192 | 39,32 | 75,66 | 36,19 | 3508 | 13208 | 0,3722 | 62,13 | 3,39 | 16,71 | 40,13 | 8,17 | 19,39 | 26,18 | 35,63 |
| | 240 | 37,21 | 75,16 | 36,88 | 3450 | 13822 | 0,3719 | 62,82 | 3,42 | 16,22 | 38,52 | 7,5 | 18,63 | 27,66 | 36,64 |
| Uréia+NBPT | 0 | 43,57 | 75,48 | 34,54 | 3480 | 13380 | 0,3796 | 61,44 | 3,31 | 17,89 | 47,79 | 7,55 | 17,88 | 25,49 | 37,10 |
| | 48 | 40,79 | 75,43 | 34,97 | 3861 | 12854 | 0,3903 | 60,57 | 3,28 | 19,58 | 51,78 | 9,35 | 22,74 | 25,75 | 36,70 |
| | 96 | 40,14 | 75,82 | 34,72 | 3810 | 12921 | 0,3551 | 61,78 | 3,19 | 18,15 | 47,23 | 8,47 | 19,99 | 25,41 | 34,53 |
| | 144 | 39,56 | 75,38 | 35,10 | 3418 | 13485 | 0,3674 | 60,05 | 3,47 | 18,41 | 47,52 | 9,72 | 23,03 | 27,20 | 37,48 |
| | 192 | 37,27 | 75,5 | 36,34 | 3968 | 13089 | 0,3799 | 63,16 | 3,62 | 17,69 | 45,30 | 9,16 | 21,32 | 25,75 | 33,59 |
| | 240 | 36,31 | 75,66 | 36,45 | 3541 | 12685 | 0,3531 | 59,02 | 3,27 | 17,27 | 43,38 | 9,13 | 20,66 | 25,93 | 31,90 |
| Testemunha | | 34,30 | 75,38 | 36,99 | 3349 | 12670 | 0,3629 | 59,54 | 3,08 | 15,08 | 36,26 | 5,23 | 11,65 | 22,93 | 26,66 |

¹NGE – Número de grãos por espiga; MH – Massa por hectolitro; MMG – Massa de mil grãos; REND – Rendimento de grãos; MPAS – Massa da parte aérea seca; IC – Índice de colheita; Teor(Nperf) – Teor de N na parte aérea durante o perfilhamento; Cont(Nperf) – Conteúdo de N na parte aérea durante o perfilhamento; Teor(Nflor) – Teor de N na parte aérea durante o florescimento; Cont(Nflor) – Conteúdo de N na parte aérea durante o florescimento; Teor(Nmat) – Teor de N na parte aérea na maturação; Cont(Nmat) – Conteúdo de N na parte aérea na maturação; Teor(Ngrãos) – Teor de N nos grãos na maturação; Cont(Ngrãos) – Conteúdo de N nos grãos na maturação.

Apêndice 4 A. Resumo da análise de variância para a característica volatilização de amônia (NH₃) de um Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com trigo ‘BRS 254’ e submetido à uréia ou uréia+NBPT, seis períodos de ausência de irrigação e seis períodos de coleta (CAPÍTULO IV)

| Fonte de variação | Grau de liberdade | Quadrado médio |
|-----------------------------|-------------------|------------------------------|
| Blocos | 3 | 7,6982* |
| Uréia | 1 | 142,8275* |
| Horas | 5 | 9,7076* |
| Uréia*Hora | 5 | 7,5566* |
| Test. vs Fatorial | 1 | 50,3276* |
| Erro (a) | 36 | 3,2346 |
| Coleta | 5 | 52,7506* |
| Coleta*Uréia | 5 | 41,7073* |
| Coleta*Hora | 25 | 2,7352 ^{ns} |
| Coleta*Uréia *hora | 25 | 2,0132 ^{ns} |
| Coleta*Test. vs Fatorial | 5 | 2,2585 ^{ns} |
| Resíduo | 195 | 1,8636 |
| Média | | ----kg ha ⁻¹ ---- |
| | | 2,08 |
| Coeficiente de variação (%) | | 65,53 |

* Significativo pelo teste F ($p \leq 0,05$); ^{ns} Não significativo.

Apêndice 4 B. Médias da característica volatilização de amônia (NH₃) de um Argissolo Vermelho Amarelo cultivado com trigo ‘BRS 254’ e submetido à uréia ou uréia+NBPT, seis períodos de ausência de irrigação e seis períodos de coleta (CAPÍTULO IV)

| Fertilizante | Tempo sem irrigação (h) | Coletas (horas) | | | | | |
|--------------|-------------------------|-----------------|------|------|------|------|------|
| | | 48 | 96 | 144 | 192 | 240 | 600 |
| Uréia | 0 | 0,94 | 1,67 | 1,28 | 1,01 | 1,14 | 3,13 |
| | 48 | 0,54 | 2,42 | 5,20 | 1,78 | 2,28 | 2,17 |
| | 96 | 0,47 | 3,01 | 5,67 | 3,04 | 2,13 | 3,94 |
| | 144 | 0,67 | 2,95 | 6,39 | 3,78 | 1,83 | 2,28 |
| | 192 | 0,39 | 3,91 | 7,29 | 3,87 | 2,87 | 3,60 |
| | 240 | 0,85 | 2,25 | 7,33 | 4,60 | 3,18 | 4,47 |
| Uréia+NBPT | 0 | 0,60 | 0,48 | 0,59 | 0,68 | 1,29 | 4,31 |
| | 48 | 0,58 | 2,31 | 0,66 | 0,74 | 1,20 | 4,36 |
| | 96 | 1,51 | 1,52 | 1,36 | 0,45 | 0,87 | 2,79 |
| | 144 | 1,26 | 0,74 | 1,41 | 0,89 | 1,10 | 3,55 |
| | 192 | 0,39 | 0,76 | 1,21 | 0,85 | 1,18 | 4,04 |
| | 240 | 1,22 | 0,78 | 1,13 | 0,98 | 1,29 | 4,55 |
| Testemunha | | 0,31 | 0,43 | 0,45 | 0,55 | 0,55 | 1,83 |