

DESEMPENHO DE ADITIVO DE UREIA NA CULTURA DO SORGO GRANÍFERO (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH)

LUIZ F. PALARETTI¹, WILLIAN F. dos SANTOS², ALEXANDRE B. DALRI³, ROGÉRIO T. de FÁRIA⁴, ANDERSON P. COELHO⁵

¹ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor do Depto de Engenharia Agrícola, Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Jaboticabal-SP, Fone: (16) 3209-7540, lfpalaretti@fcav.unesp.br

² Eng^o Agrônomo, Autônomo, Jaboticabal – SP

³ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor do Depto de Engenharia Agrícola, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP.

⁴ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor do Depto de Engenharia Agrícola, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP.

⁵ Eng^o Agrônomo, Mestrando do Prog. De Ciência do Solo, FCAV/UNESP, Jaboticabal-SP.

Apresentado no
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

RESUMO: O nitrogênio é um importante nutriente para as plantas, no entanto, as perdas por lixiviação e volatilização reduzem a eficiência do fertilizante, ocasionando maiores prejuízos econômicos e ambientais. O uso do aditivo tem a função diminuir a volatilização da uréia e manter a forma amoniacal (NH₄⁺). O objetivo neste trabalho foi avaliar a redução de perdas de nitrogênio em dois tipos de solos, e o efeito na cultura do sorgo granífero. O experimento foi realizado em estufa agrícola na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, câmpus de Jaboticabal, SP, no Departamento de Engenharia Rural, no setor de plasticultura. O delineamento utilizado foi o de inteiramente casualizado, em um arranjo fatorial 2x2, onde o primeiro fator considerado foi a uréia pura e a uréia tratada com o NzoneMax[®], e o segundo os dois tipos de solos, argiloso e arenoso, coletados em Jaboticabal/SP e Monte Alto/SP, respectivamente. Observou-se que nos tratamentos que receberam a uréia tratada com NzoneMax[®] houve um aumento nas características biométricas do [L1] sorgo, bem como na massa seca do caule, folhas e raiz. Os resultados também foram expressivos para o número de folhas e diâmetro de caule. O aditivo propiciou uma redução das perdas por volatilização de amônia (NH₃).

PALAVRAS-CHAVE: Amônia, Volatilização, Nitrato

PERFORMANCE OF UREA ADDITIVE IN THE CULTURE OF SORGHUM (SORGHUM BICOLOR (L.) MOENCH)

ABSTRACT: Nitrogen is an important nutrient for plants, however, losses from leaching and volatilization reduce fertilizer efficiency, causing greater economic and environmental damage. The use of the additive has the function to diminish the volatilization of the urea and maintain the ammoniacal form. The objective of this work was to evaluate the reduction of nitrogen losses in two types of soils, and the effect on grain sorghum. The experiment was carried out in an agricultural greenhouse at Faculty of Agrarian and Veterinary Sciences - UNESP, câmpus of Jaboticabal, SP, in the Department of Rural Engineering, in the sector of plasticulture. The design was completely randomized, in a 2x2 factorial arrangement, where the first factor considered was pure urea and urea treated with NzoneMax[®], and the second one was the clayey and sandy soils collected in Jaboticabal / SP and Monte Alto / SP, respectively. It was observed that in the treatments that received the urea treated with NzoneMax[®] there was an increase in the biometric characteristics of [L1] sorghum, as well as in the dry mass of the stem, leaves and root. The results were also expressive for leaf number and stem diameter. The additive allowed a reduction of losses by volatilization of ammonia (NH₃).

KEYWORDS: Amonium, Volatilization, Nitrate

INTRODUÇÃO

A cultura do sorgo vem ganhando nos últimos anos espaço no mercado mundial de grãos, onde seu uso tem aumentado tanto para a alimentação animal quanto para a alimentação humana. Seu uso tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal já é bastante conhecido, porém somente nos últimos anos que ela vem aumentando e ganhando mercado mundial. Um dos motivos que ocasionaram o aumento do seu uso é a tolerância a altas temperaturas e períodos de secas. Além disso, o sorgo é um ótimo substituto de alguns cereais, como o milho, por exemplo, já que características químicas e nutricionais muito próximas.

Assim como na maioria das culturas, o nutriente que é mais exigido e que reflete diretamente na produção do sorgo é o nitrogênio. Desta forma, este nutriente desempenha um papel importante no crescimento e produção das culturas, participando de diversas reações metabólicas importantes, além de ser constituinte de inúmeras moléculas estruturais. Para isso, a forma mais utilizada para o fornecimento de nitrogênio para a planta é a adubação nitrogenada, sendo a uréia um desses adubos.

A uréia é bastante utilizada porque possui uma elevada concentração de nitrogênio, alta solubilidade e pode ser misturada com outros fertilizantes, por exemplo, o que acaba facilitando seu uso em campo. Porém, esse adubo fica sujeito as mais diversas interferências do ambiente, podendo ser volatilizado na forma de amônia ou sofrer lixiviação, o que ocasiona em menor eficiência da adubação e, conseqüentemente, maiores gastos. Dessa forma, os estudos realizados para o uso de técnicas que diminuem tais perdas se tornam a cada dia mais importante.

Uma dessas técnicas utilizadas para evitar tais perdas é a utilização de polímeros que envolvem a uréia, liberando-a de forma mais lenta ou até mesmo produtos inibidores de nitrificação são utilizados. Conseqüentemente, há um melhor aproveitamento do nutriente por parte das plantas, refletindo em uma maior produção.

Pensando nisso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as perdas de nitrogênio na forma de amônia, além de quantificar o amônio e nitrato presentes no solo, em dois tipos de solos (argiloso e arenoso), utilizando o aditivo NzoneMax® na uréia e os reflexos nas características biométricas da cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), UNESP, câmpus de Jaboticabal, SP, em estufa agrícola pertencente ao Departamento de Engenharia Rural, no setor de plasticultura. A estufa utilizada estava nivelada e locada no sentido Leste-Oeste, construída em estrutura metálica apoiada em pilares de madeira, possuía 8 x 16 m, pé direito de 4,0 m, inclinação do telhado de 22°, e coberta por plástico difusor de luz 100% transparente com tratamento UV de 150 micras de espessura e as laterais revestidas com tela de polipropileno branca com 20% de sombreamento.

Em esquema fatorial 2 x 2, distribuídos num delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, o primeiro fator considerado foi a uréia granulada pura (UR) e protegida (UP) com o aditivo NzoneMax® e o segundo fator foram dois tipos de solo, sendo um arenoso e outro argiloso.

Os solos utilizados no experimento foram coletados nas cidades de Jaboticabal – SP (latossolo vermelho) e Monte Alto – SP (argissolo vermelho amarelo). Depois de coletados, foram levados secos em estufa por 72 h a 65 °C e peneirados. Para a caracterização física e química desses solos, amostras foram retiradas dessa mistura e enviadas para um laboratório de solo credenciado no programa de análise de solo do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), sendo fornecido o resultado de tal análise no dia 08/10/2014 (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Resultado da análise química dos solos de Jaboticabal (JAB) e Monte Alto (MA)

Local	pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	CaCl ₂	g dm ³	mg dm ³			mmolc dm ³									mg dm ³
JAB	6,6	20	160	11,4	94	23	16	128	144	88,9	0,41	1,5	29	11,7	4,1
MA	7,6	21	221	12,5	143	23	8	179	187	95,7	0,44	1,5	25	14,6	4

A análise de nitrogênio resultou em 14 mg dm⁻³ de N-NH₄⁺, 196 mg dm⁻³ N-NO₃⁻ e 1330 mg dm⁻³ N-Total para o solo de Jaboticabal e de 20 mg dm⁻³ de N-NH₄⁺, 407 mg dm⁻³ N-NO₃⁻ e 1104 mg dm⁻³ N-Total para o solo de Monte Alto.

Tabela 2. Resultado da análise física dos solos utilizados na experimentação.

Solo	Areia			Argila	Silte	Classificação
	Total	Grossa	Fina			
	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹			
Jaboticabal	376	252	124	535	89	Argila
Monte Alto	778	424	354	161	61	Franco Arenoso

De acordo com o resultado da análise de solo não foi necessária a correção da acidez do solo. A adubação utilizada no experimento foi sugerida por Malavolta (1980) para ensaios em casa de vegetação, sendo (em mg L⁻¹): N – 300, P – 200, K – 150, Ca – 75, Mg – 15, S – 50, B – 0,5, Cu – 1,5, Fe – 5, Mo – 0,1 e Zn – 5. Não houve necessidade de reposição de macronutrientes secundários, bem como de micronutrientes, uma vez que no solo todos os nutrientes estavam em quantidades satisfatórias.

As fontes de nitrogênio, fósforo e potássio utilizadas foram: uréia granulada (45% N), cloreto de potássio (60% K₂O) e superfosfato simples (18% P₂O₅), respectivamente. Nesse caso foi necessária a conversão de K em K₂O e P em P₂O₅, onde foi feita a multiplicação por 1,20 e 2,29; respectivamente. No caso de enxofre, que não foi fornecida pela análise a quantidade presente nos solos, ele foi fornecido por ocasião do uso de superfosfato simples, que já contém em sua composição enxofre (8% de enxofre).

A aplicação do superfosfato simples foi feita toda na ocasião do semeio da cultura, em uma profundidade de 5 cm. Já as quantidades de uréia e de cloreto de potássio foram feitas de forma parcelada (três parcelas) e ao mesmo tempo, em lados opostos da planta de sorgo. A aplicação da uréia e do cloreto de potássio foi em superfície, sem incorporação, na forma de filete contínuo, no semeio, aos 30 e aos 45 dias após o semeio, em dose equivalente a 4,65 g de uréia; 53,45 g de supersimples e 2,1 g de cloreto de potássio em cada vaso de 7 dm³ (MALAVOLTA, 1980).

No dia 04/11/2014 foram alocadas 3 sementes, de sorgo granífero (híbrido 1G233/DowAgrosciense), por vaso plástico de 7 dm³, preenchidos com o uma mistura de solo e torta de filtro (10:1) e dispostos sobre bancada de alvenaria a 0,50 m do solo, em fileiras duplas espaçadas de 0,20 m x 0,50 m. Depois da emergência das plântulas de sorgo, foi feito raleio com permanência da plântula mais vigorosa.

A proteção da uréia foi realizada no laboratório de água e solos da FCAV por meio da mistura do aditivo NzoneMax®, fornecido pela empresa AgExplore® na dose recomendada de 3 L T⁻¹ de uréia. Por ser pequena a quantidade de uréia aplicada no parcelamento, optou-se pela preparação de 1 kg de uréia protegida, e após homogeneização, separada a dose recomendada para aplicação nos tratamentos. O restante da uréia protegida foi descartada e na adubação subsequente outra porção do fertilizante era tratado com o produto NzoneMax® poucas horas antes da aplicação.

As plantas foram irrigadas por gotejadores tipo estaca com vazão de 1 L h⁻¹ e pressão de serviço de 70 kPa.

O manejo fitossanitário da cultura foi realizado com algumas aplicações de produtos registrados pelo MAPA para a cultura do sorgo granífero.

A colheita foi realizada no dia 13 de janeiro de 2015. Esta data não coincidiu com o final do ciclo da cultura, pois esse ajuste foi necessário porque o alto incremento da temperatura do ar dentro da estufa coincidiu com a fase reprodutiva da cultura, afetando negativamente em sua produtividade.

O conteúdo de água no solo foi feito pelo método gravimétrico. Previamente à instalação do experimento, os vasos de 7 dm³ preenchidos com o substrato (solo e torta de filtro) seco, foram irrigados até a saturação. Este procedimento foi realizado com a imersão dos vasos em um recipiente com água de forma a umedecer o solo por capilaridade. Depois de umedecidos os vasos foram vedados em sua superfície por plástico, evitando a evaporação da água presente no vaso, que depois disso, foram levados às bancadas e onde permaneceram até a drenagem total do excesso de água pelo fundo dos vasos.

Foi quantificada a massa dos vasos em quilogramas, determinando-se assim a capacidade de retenção de água do substrato dos vasos. Este procedimento foi repetido por 5 vezes e definida a capacidade de campo do solo (CC) com valores de 12,64 kg e 11,04 kg para os solos arenoso (Monte Alto) e argiloso (Jaboticabal), respectivamente, descontados a massa de 0,300 kg dos vasos.

A irrigação foi feita de forma a elevar o conteúdo de água próximo a 80-90% da capacidade de campo dos solos utilizados. Para tanto eram tomados aleatoriamente 5 vasos de cada um dos tipos de solo e pesados em balança digital com capacidade de 50 kg e precisão de 0,05 kg.

A diferença entre o peso na capacidade máxima de retenção de água e o peso atual dos vasos, isto é, umidade do solo na capacidade de campo e o peso atual, em kg, definia o volume de água em dm^3 a ser repostado pela irrigação, considerando a massa específica da água 1 kg m^{-3} .

Foram registrados valores máximo, mínimo e médio de temperatura e a umidade relativa no interior da casa de vegetação em termohigrômetro digital modelo 7664. O aparelho foi protegido por um abrigo meteorológico e o sensor externo por um dispositivo de placa de PVC revestido com isopor instalado a 2 metros de altura.

Foram instalados 12 termômetros de mercúrio com precisão de $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a 5 cm de profundidade nos diferentes tratamentos, inclusive nos vasos sem cultivo de plantas. As coletas de temperatura do solo eram feitas diariamente às 17:00 horas, conjuntamente aos valores de elemento de clima.

Para quantificação da amônia (NH_3) volatilizada foi instalado em cada parcela (vaso), um dispositivo captor de gás (coletor aberto), adaptado de Mariano et al., (2012), constituído de uma espuma de polietileno de 2,0 cm de espessura, densidade $0,33 \text{ g cm}^{-3}$ de $8 \times 8 \text{ cm}$, embebida em uma solução contendo 25 mL de ácido orto-fosfórico (0,5N) e glicerina (4%). A espuma foi fixada na face inferior de uma placa de PVC de $10 \times 10 \text{ cm}$ por elásticos.

Os coletores ficaram suspensos a 1 cm de altura do solo, presos em hastes de metal e grampos, onde foram instalados em três momentos, quando da realização de adubações com uréia e cloreto de potássio.

As amostragens constituíram-se de coletas e trocas das espumas que foram realizadas diariamente por um período de 4 dias consecutivos. Na manhã dos dias de instalação dos dispositivos captadores de amônia, os vasos eram irrigados, para a elevação da umidade próxima a 90% da capacidade de campo.

Às 18:00 h do mesmo dia era realizada a adubação em superfície com a uréia pura e protegida com NzoneMax®, conjuntamente com o cloreto de potássio. Em seguida os dispositivos captadores de amônia eram instalados e permaneciam coletando a amônia volatilizada por 24 h.

No dia seguinte à adubação, as esponjas dos dispositivos eram coletadas e imediatamente realizava-se a extração do amônio por meio da lavagem das espumas em béquer plástico contendo 200 mL de água deionizada, segundo metodologia adaptada de Leite et al. (2013) e Batagello et al. (2014). Para realizar a extração, as mãos foram envolvidas com luva cirúrgica e cada uma das esponjas sofreu uma sequência de 10 compressões manuais, liberando toda a solução retida na espuma.

A solução extraída era colocada em garrafas plásticas de 300 mL, acondicionadas em caixas de isopor e posteriormente transportadas para o laboratório de biodigestão da FCAV, pertencente ao Departamento de Engenharia Rural.

Para a determinação da concentração de amônio presente nas soluções extraídas eram tomadas alíquotas de 10 mL do extrato e realizada a destilação por arraste de vapores (Método Kjeldahl) após adição de 0,2 g de MgO e solução indicadora de ácido bórico (MIYAZAWA et al., 1999) por amostra seguida de titulação com solução de H_2SO_4 0,005 N conforme Tedesco et al. (1995).

Para análise química do solo foram coletadas amostras de solo a 5 cm de profundidade na data do semeio, aos 30, 45 dias após o semeio, sempre antes da adubação definida para os experimentos. Nessas amostras determinou-se o nitrogênio na forma amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-), bem como o pH na primeira e última coleta.

Por ocasião da coleta dos captadores de amônia, também foram coletadas amostras da solução de solo para análises químicas. Para isso, foram instalados extratores de solução de cápsula porosa a 5 cm de profundidade.

O procedimento adotado foi a realização de vácuo (sucção de $\approx 600 \text{ mmHg}$), no último dia de coleta dos captadores, com o auxílio de uma pistola de vácuo. A coleta da solução do solo foi feita 24 h após a aplicação do vácuo, por meio de seringa plástica de 60 mL.

As amostras coletadas foram acondicionadas em garrafas plásticas e transportadas em caixas de isopor ao laboratório de biodigestão da FCAV. Nas amostras foram determinados os teores de N- NH_4^+ e N- NO_3^- . As determinações foram feitas conforme a metodologia aplicada na extração da amônia volatilizada, todavia para o nitrogênio na forma nítrica utilizou-se a liga de Devarda, juntamente com o MgO.

Foram medidas a altura de planta, o diâmetro do caule (terço inferior), o número de entrenós, o número de folhas e o volume da raiz, além da matéria seca da folha, do caule e da raiz. Os dados das características avaliadas foram submetidos à análise de variância, e quando significativos os efeitos dos tratamentos, procedeu-se à comparação de médias pelo teste “T” a 1 e 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A temperatura do ar dentro do ambiente protegido alcançou valores de 43,60 °C, 21,6 °C e 31,6 °C para as temperaturas máxima, mínima e média. Estes valores estão acima do recomendado para a cultura do sorgo, que está na faixa de 26 a 30 °C, importante principalmente na fase de florescimento. O valor extremo de temperatura máxima média de 43,60 °C observado no mês de janeiro de 2015 diminui a assimilação e incorporação do N- NH_4^+ em cadeias carbônicas, principalmente na formação de ácido glutâmico. Também pode ocasionar a diminuição da atividade da enzima “redutase do nitrato”, alterando, em ambos os casos, o rendimento e a composição proteica dos grãos. A umidade relativa no interior da casa de vegetação alcançou valores médios de 84,10%; 40,50% e 62,30% de máxima, mínima e média. Os valores máximo e mínimo foram 89% e 26% nos meses de janeiro de 2015 e novembro de 2014.

De forma similar a temperatura do ar, a temperatura do solo durante o experimento apresentou os extremos de 41,53 °C e 24,60 °C, ocorridos no mês de janeiro de 2015 com média de 32,63 °C durante o período do experimento. Embora também tenham sido observadas temperaturas altas no solo, na faixa de 35 °C, durante a fase de semente e emergência, a temperatura esteve sempre próximo às temperaturas ideais para o sorgo, dessa forma, não interferiu na germinação das sementes, onde todas as três sementes por vaso semeadas germinaram, sendo necessário o desbaste, deixando somente uma semente por vaso.

A evapotranspiração medida pelo Tanque Classe “A” no interior da casa de vegetação totalizou 414,03 mm no período do experimento. Porém, a faixa que é citada na literatura varia de 380 a 600 mm (EMBRAPA, 2007), porém este valor é diante do ciclo total da cultura (em torno de 100 dias). O conteúdo de água no solo foi mantido sempre próximo a 80 - 90% da capacidade de campo e as irrigações realizadas totalizaram 45,5 litros por vaso durante a experimentação.

Pelos resultados da análise química dos solos fica evidente a alta fertilidade de ambos os solos utilizados na experimentação. Os valores de pH são adequados para o cultivo de grãos, sendo desnecessária a correção da acidez pela adição de qualquer tipo de corretivo, como calcário, por exemplo. Estes valores de pH são ótimos para a absorção de nitrogênio pelas plantas, principalmente na forma N- NH_4^+ acarretando em uma melhor nutrição nitrogenada com menor gasto energético direto pelas plantas (PRADO, 2008). De forma similar, todos os demais nutrientes estão acima da faixa considerada adequada para o cultivo de grãos, inclusive a CTC e a saturação por bases. Estes resultados podem ser atribuídos à adição de torta de filtro incorporada ao solo para formação do substrato utilizado nos vasos.

Na tabela 3 estão apresentados os valores de N- NH_4^+ , N- NO_3^- encontrados na matriz do solo (fase sólida) e na solução do solo (fase líquida), análise realizada aos 30 dias após a semeadura (30 DAS). A baixa concentração de N- NH_4^+ na matriz do solo argiloso reflete a capacidade de absorção do nutriente nessa forma por parte da planta de sorgo, refletindo positivamente em algumas de suas características biométricas, demonstrando o efeito do pH sobre a forma de absorção desse nutriente, segundo Prado (2008). Para ambos os solos, a adição de NzoneMax® demonstrou que, mesmo a planta absorvendo tal nutriente, conseguiu manter a concentração do íon NH_4^+ em solução maior quando comparado ao tratamento da ureia pura, mostrando que o aditivo foi capaz de diminuir (não inibindo totalmente) o processo de nitrificação corroborando Aita et al. (2013) que utilizou dicianodiamida em cama de aviário. Além disso, a quantidade total de N-total mineral na solução do solo é o reflexo da diminuição da volatilização na forma de gás amoniacal (NH_3).

Tabela 3: Valores de amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻) na matriz e na solução do solo aos 30 DAS.

AMOSTRA	Matriz do solo			Solução do solo (Líquida)		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total N - mineral	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total N - mineral
mg dm ⁻³						
UP/ARG	206	288	494	40.75	88.34	129.09
UT/ARG	148	282	430	69.73	103.69	228.27
UP/ARE	9	470	479	41.93	132.63	174.56
UT/ARE	8	504	512	85.04	237.69	322.73

UP = Uréia pura, UT = Uréia tratada, ARG = Solo argiloso, ARE = Solo arenoso.

Na segunda avaliação, o produto continuou eficaz em manter uma maior quantidade de N-NH₄⁺ na solução do solo, em ambos os solos (Tabela 4). Porém, em comparação aos 30 DAS, a quantidade total de nitrogênio tanto na matriz do solo quanto na solução é menor, uma das justificativas para esse quadro é o estágio em que a cultura se encontra, necessitando de uma quantidade desse nutriente maior do que aos 30 DAS, de semelhante ao demonstrado por Prado (2008), onde a marcha de absorção do milho aumenta a partir dos 44 DAS. A tendência é uma menor quantidade presente tanto na matriz quanto na solução do solo nessa etapa, quando comparada no momento do semeio e aos 30 DAS, já que as quantidades nas três etapas de adubação foram às mesmas.

Tabela 4: Valores de amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻) na matriz e na solução do solo aos 45 DAS.

AMOSTRA	Matriz do solo			Solução do solo (Líquida)		
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total N - mineral	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	Total N - mineral
mg dm ⁻³						
UP/ARG	176	81	257	12.72	24.97	37.69
UT/ARG	69	348	417	19.32	48.53	67.85
UP/ARE	54	140	194	2.59	7.77	10.37
UT/ARE	146	89	235	8.25	48.29	56.54

UP = Uréia pura, UT = Uréia tratada, ARG = Solo argiloso, ARE = Solo arenoso.

Para a avaliação das perdas de nitrogênio para a atmosfera, no momento da semeadura foi feita a aplicação de adicionados 518 mg vaso⁻¹ de uréia e 233,33 mg vaso⁻¹ de KCl, que corresponde a 1/3 do total requerido de cada nutriente pela cultura do sorgo, que é de 222 mg kg⁻¹ de solo de uréia e 700 mg de KCl durante o ciclo. Os fertilizantes foram aplicados em lados opostos e incorporados a 5 cm de profundidade.

Como a amônia volatilizada foi determinada em um volume de 200 ml, na apresentação dos resultados será este valor considerado como uma parcela.

Com exceção da ureia pura no solo franco arenoso, em todos os tratamentos a volatilização ficou constante ao longo dos quatro dias de coletas (Figura 1).

Esses valores se mantiveram constantes ao longo dos dias porque a ureia foi incorporada no solo, que também estava com sua umidade próxima à capacidade de campo, estando de acordo com o proposto por Cantarella (2007). Mesmo estando incorporado, ocorre a volatilização, onde o menor valor acumulado ficou para o tratamento UT/ARG, com valor de 0,48 mg parcela⁻¹, onde o produto NzoneMax® foi capaz de diminuir a volatilização em 67,60%, quando comparado ao tratamento UP/ARG. Já para o outro caso, a diferença relativa ficou em 167,34%. Essa diferença é semelhante aos resultados encontrados por Aita et al. (2013) e Rech (2013).

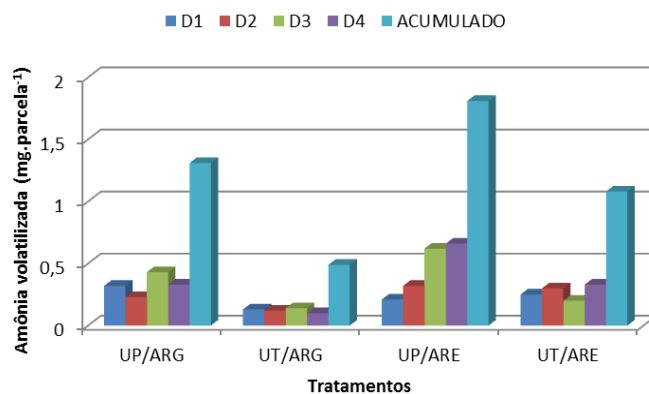


Figura 1. Perdas por volatilização de N-NH₃ após aplicação de ureia na sementeira. Ureia pura (UP) e ureia tratada com NzoneMax® (UT) em solo franco arenoso (ARE) e argiloso (ARG) na cultura do sorgo.

Após 30 dias da sementeira foi realizada a segunda aplicação de fertilizantes, simulando a adubação de cobertura. Foram adicionados 518 mg vaso⁻¹ de uréia e 233,33 mg vaso⁻¹ de KCl, na superfície do solo, sem incorporação, perfazendo o total de 2/3 da recomendação necessária para as plantas durante o ciclo. Houve uma diferença de volatilização de 14,50% e 14,85% da ureia tratada para a ureia pura, no solo argiloso e arenoso, respectivamente (Figura 2). Essa pequena diferença já foi suficiente para aumentar os valores de N mineral na solução do solo. O pico de volatilização ocorreu entre os dias 2 e 3 após a aplicação. Esse pico ocorreu por causa da temperatura mais elevada no interior do ambiente protegido, acelerando a reação de hidrólise da ureia, sendo semelhante do encontrado por Leão (2008) na sua segunda aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho.

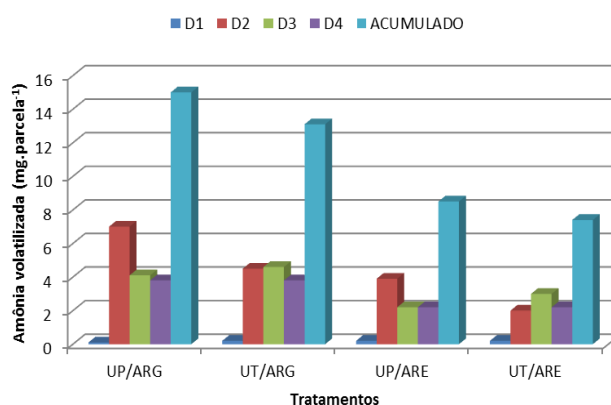


Figura 2. Perdas por volatilização de N-NH₃ após aplicação de ureia aos 30 DAS. Ureia pura (UP) e ureia tratada com NzoneMax® (UT) em solo franco arenoso (ARE) e argiloso (ARG) na cultura do sorgo.

A terceira aplicação foi realizada aos 45 dias após o semeio. A recomendação de adubação para o ciclo da cultura foi finalizada com a adição de 518 mg vaso⁻¹ de uréia e 233,33 mg vaso⁻¹ de KCl. De forma semelhante ao ocorrido anteriormente (aos 30 DAS), O pico de volatilização ocorreu de forma semelhante ao encontrado por Leão (2008) e Guimarães (2011), ocorrendo tal pico entre o 2º e 3º dia após a aplicação e o Guimarães (2011) encontrou uma diminuição de 39% da volatilização com 15% (m/m) de ácidos húmicos adicionados à ureia (Figura 3).

De forma semelhante o que aconteceu aos 30 DAS, o aditivo NzoneMax® reduziu em 27,90% e 16,21% a volatilização no solo franco arenoso e argiloso, respectivamente. Com as altas temperaturas presentes na estufa durante a experimentação favoreceram aos maiores valores de amônia volatilizada aos 45 DAS do que aos 30 DAS

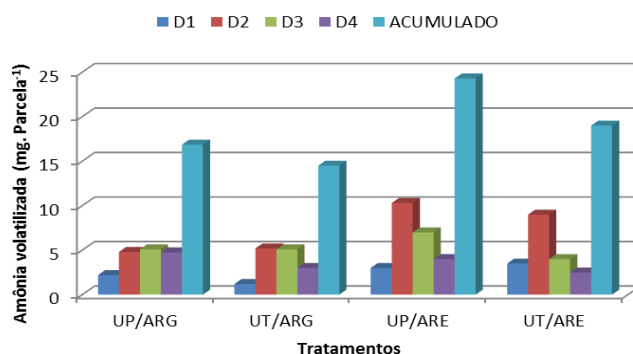


Figura 3. Perdas por volatilização de N-NH₃ após aplicação de ureia aos 45 DAS. Ureia pura (UP) e ureia tratada com NzoneMax® (UT) em solo franco arenoso (ARE) e argiloso (ARG) na cultura do sorgo. Jaboticabal, 2014.

O diâmetro de caule, número de folhas, massa seca foliar, massa seca de caule e massa seca de raiz tiveram uma diferença significativa entre os tratamentos de ureia tratada e ureia pura (Tabela 5 e 6).

Tabela 5: Médias da altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DC), número de entrenós (NE) e número de folhas (NF) da cultura do sorgo em função do tratamento da ureia e do tipo de solo.

TRATAMENTOS	ALT		DC		NE		NF	
	m		mm		unidade		unidade	
Proteção de uréia (U)								
Ureia pura	0,87	a	22,72	b	12,70	a	8,40	b
Ureia tratada	0,91	a	25,83	a	12,90	a	10,40	a
Tipo de solo (s)								
Arenoso	0,95	a	24,56	a	13,10	a	9,50	a
Argiloso	0,90	a	23,99	a	12,50	a	9,30	a
D. M. S. (5%)	0,09		0,50		0,76		0,50	
FONTES DE VARIAÇÃO					QUADRADOS MÉDIOS			
Tratamento de ureia	0.007ns		48.484**		0.200ns		20.000**	
Tipo de solo	0.055*		1.658ns		1.800ns		0.20000ns	
Interação U x S	0.003ns		0.408ns		0.800ns		0.20000ns	
CV ¹ (%)	11,54		6,75		6,3		5,58	

¹CV: coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t à 5% de significância; * = Teste F significativo a p<0,01; ** = Teste F significativo a p<0,05; ns = Teste F não significativo a p<0,05.

Essa diferença pode ser explicada pela menor volatilização do nitrogênio na forma amoniacal (NH₃) ocasionada pela utilização de NzoneMax®. A pequena diferença na volatilização que foi encontrada aos 30 e 45 DAS já foi suficiente para que ocorressem essas diferenças, pois mantiveram por maior tempo o nitrogênio disponível para a planta de sorgo. Segundo Prado (2008), a menor quantidade, ou até mesmo a deficiência de nitrogênio reduz o crescimento e a utilização de foto-assimilados pela planta é reduzida. Dessa forma o nitrogênio participa de inúmeros processos fisiológicos vitais para a vida planta.

Para Rech (2013), a utilização de produtos que visam à diminuição da volatilização também ocasionou ganhos na cultura do milho, onde a eficiência do uso de nitrogênio foi maior. Já para a altura de planta não houve diferença significativa porque a quantidade de nitrogênio, mesmo sendo

menor no tratamento de ureia pura, foi suficiente para que as plantas alcançassem sua altura normal. Já para o volume de raiz uma possibilidade está relacionada com o volume do vaso em que a raiz foi acondicionada, limitando o crescimento dela. O mesmo foi encontrado por Soares (2011), em que, ao comparar as diferentes fontes de nitrogênio, as fontes em que houve tratamento da ureia obtiveram valores menores de volatilização, porém, não houve perdas significativas na produção de colmos na cana-de-açúcar.

Tabela 6: Médias do volume de raiz (VR), massa seca foliar (MSF), massa seca de caule (MSC) e massa seca de raiz (MSR) da cultura do sorgo em função do tratamento da ureia e do tipo de solo.

TRATAMENTOS	VR		MSF		MSC		MSR	
	cm ³		g		g		g	
Proteção de ureia (u)								
Ureia pura	231,00	a	23,70	b	39,15	b	74,08	b
Ureia tratada	240,00	a	27,56	a	58,87	a	92,38	a
Tipo de solo (s)								
Arenoso	225,00	a	26,94	a	50,55	a	76,87	b
Argiloso	246,00	a	24,33	a	47,47	a	89,59	a
D. M. S. (5%)	85,09		2,63		7,19		8,68	
FONTES DE VARIAÇÃO			QUADRADOS MÉDIOS					
Tratamento de ureia	405.000ns		31.600**		1944.194**		1675.182**	
Tipo de solo	2205.000ns		48.547**		47.462ns		808.483**	
Interação U x S	8405.000ns		0.04608ns		123.355ns		559.047*	
CV ¹ (%)	38,11		9,82		15,48		11	

¹CV: coeficiente de variação; médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste t à 5% de significância; * = Teste F significativo a p<0,01; ** = Teste F significativo a p<0,05; ns = Teste F não significativo a p<0,05.

O número de entrenós também não possui diferença significativa, já que esta característica é intrínseca ao cultivar utilizado de sorgo, onde esse número é constante, sob tais condições em que o experimento foi realizado.

Só houve interação entre tratamento de ureia e tipo de solo referente a massa, sendo o maior valor encontrado para solo argiloso e ureia tratada com NzoneMax® (Tabela 7).

Tabela 7: Desdobramento da interação do tipo de solo-proteção da ureia referente a massa seca de raiz.

Proteção da ureia	Tipo de solo			
	Massa seca de raiz (g)			
	Argiloso		Arenoso	
Ureia pura	75,14	bA	73,00	aA
Ureia + Nzone	104,02	aA	80,73	aB
D. M. S. (5%)	22,42			

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, pelo Teste de tukey (p<0,05).

Essa diferença se dá, pois, as quantidades de nitrogênio presentes tanto na matriz do solo quanto na solução, oriundas da menor volatilização, se mantiveram por maior tempo disponível para a absorção do sorgo, aumentando seu aproveitamento. Isso demonstra a menor capacidade de adsorção

do íon amônio em solos mais arenosos. Portanto, a maior quantidade de nitrogênio disponível favoreceu o acúmulo de matéria seca no sistema radicular, explicado também por Prado (2008), mostrando que o nitrogênio em quantidades adequadas, pode favorecer o crescimento da raiz, pelo fato de que o crescimento da parte aérea aumenta a área foliar e a fotossíntese e, com isso, há um aumento do fluxo de carboidratos para o sistema radicular, favorecendo seu crescimento.

CONCLUSÕES

Houve melhora significativa na maioria das características biométricas analisadas com o uso de NzoneMax®, mesmo com as condições temperaturas altas durante o experimento.

O tratamento da ureia com NzoneMax® foi capaz de diminuir a volatilização de nitrogênio, além de diminuir o processo de nitrificação, mantendo uma quantidade relativa na forma amoniacal.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; BALEM, A.; PUJOL, S. B.; SCHIRMANNY, J.; GONZATTO, R.; GIACOMINI, D. A.; VARGAS, P.V.; GIACOMINI, S.J., Redução na velocidade da nitrificação no solo após aplicação de cama de aviário com dicianodiamida. 2013. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.8, p. 1387-1392, ago, 2013.
- BATAGELLO, H. H.; LEITE, J. M.; TRIVELIN, P. C. O. Extração de N-NH₄⁺ de espumas utilizadas para quantificação de NH₃ volatilizada. In: SIMPÓSIO CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS DO CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA, 7., 2014, cidade. Anais... Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2014. p.
- 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.(Ed.) Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.
- GUIMARÃES, G. G. F.; Substancias húmicas como aditivos para o controle da volatilização de amônia proveniente da ureia. 2011. 26 p.. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.
- LEÃO, A. F.; Redutores de volatilização do nitrogênio na ureia na cultura do milho safrinha, utilizando coletores semiabertos estáticos. 2008. 74 p.. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Câmpus de Jataí, Jataí, GO, 2008.
- LEITE, J. M.; LAZZARINI, P. R. C.; BATAGELLO, H. H.; SOUZA, A. M.; MATIAS, G. C. S.; FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Volatilização de NH₃ do solo como resultado da aplicação de ureia associada a ácidos húmicos e/ou vinhaça concentrada. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 10, 2013, Santo Antônio de Goiás. Anais... Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2013. p. 369-371.
- MALAVOLTA, E.; Elementos de nutrição mineral de plantas, São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251 p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. de S. do; MELLO, W. J. de. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 1999. p. 171-223.
- PRADO, R. M.; Nutrição de plantas, São Paulo, UNESP, 2008, 407 p.
- RECH, I.; Produção e avaliação da eficiência de ureia enriquecida com aditivos para o controle da liberação do nitrogênio. 2013. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, SP, 2013.
- SOARES, J. R.; Efeito de inibidores de urease e de nitrificação na volatilização de NH₃ pela aplicação superficial de ureia no solo. 2008. 90 p.. Dissertação (Mestrado) – Curso de pós-graduação em agricultura tropical e subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, SP, 2011.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. Análise de solo, plantas e outros matérias. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (UFRGS Boletim Técnico, 5).