

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANDERSON CAIRES DOS SANTOS

COMPARATIVO AGRONÔMICO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA UTILIZANDO
FONTE NÍTRICA, AMONIACAL E AMÍDICA NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*).

CURITIBA

2020

ANDERSON CAIRES DOS SANTOS

COMPARATIVO AGRONÔMICO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA UTILIZANDO
FONTE NÍTRICA, AMONÍACAL E AMÍDICA NA CULTURA DO MILHO (*Zea mays*).

Monografia apresentada ao curso de Pós- Graduação em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título Especialista em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Me. Ricardo Henrique Ribeiro

CURITIBA
2020

RESUMO

O presente trabalho refere-se a um comparativo agronômico da adubação nitrogenada utilizando fonte nítrica, amoniacal e amídica na cultura do milho (*Zea mays*). Foi realizada uma revisão bibliográfica, na qual foram selecionados seis trabalhos científicos, onde testaram as fontes nítrica, amoniacal e amídica, combinadas ou isoladas, com ou sem aditivos na cultura do milho. O objetivo deste trabalho, é fornecer ao leitor, informações técnicas para tomadas de decisões quando se trata de adubação de fertilizantes nitrogenados. A partir dos dados obtidos pelos autores, pode-se concluir que há a possibilidade de se utilizar ureia NPBT em substituição da ureia comum; que ureia comum incorporada proporciona maior produtividade que ureia + Polímeros em cobertura; que sulfato de amônio proporciona maior produtividade em comparação da ureia, seja em pré-semeadura ou em cobertura; e que a combinação de nitrogênio nítrico e amoniacal é superior que fontes 100% amídica, nítrica ou amoniacal para o desenvolvimento e produtividade do milho.

Palavras-chave: Nitrogênio. Milho. Nítrico. Amoniacal. Amídico.

ABSTRACT

The present work refers to an agronomic comparison of nitrogen fertilization using a nitric, ammoniacal and amidic source in maize (*Zea mays*). A bibliographic was used as methodology, in which six scientific works were selected, where they tested the nitric, ammoniacal and amidic sources, combined or isolated, with or without additives in the maize crop. The objective of this work is to provide the reader with technical information for decision making when it comes to nitrogen fertilization. From the data obtained by the authors, it can be concluded that there is the possibility of using NPBT with urea to replace common urea; that common urea incorporated provides greater productivity than urea + Polymers in topdressing; whereas ammonium sulfate provides greater productivity compared to urea, either in pre-sowing or in topdressing; and that the combination of nitric and ammoniacal nitrogen is superior than 100% amidic, nitric or ammoniacal sources to maize development and yield.

Keywords: Nitrogen. Maize. Nitric. Ammoniacal. Amidic.

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	5
1.1 Objetivo	7
1.2 Justificativa	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
3.1.1 Ciclo do nitrogênio.....	8
3.1.2 Fabricação de fertilizantes nitrogenados	12
3.1.3 Hidrólise da ureia	13
3.1.4 Dinâmica do Nitrato no Solo.....	14
3.1.5 Imobilização do nitrogênio.....	15
3.1.6 Aditivos em Fertilizantes Nitrogenados	16
3.2 Resultados dos Trabalhos.....	18
3.2.1 N-amídico vs N-amídico + NBPT - Silva et al., 2011	19
3.2.2 N-amídico vs N-amídico + Polímeros - Civard et al. 2011	21
3.2.3 N-Amídico vs N-amoniacal - Goes et al. 2012.....	23
3.2.4 N-Amídico vs N-Amoniacal - Cabezas et al. 2007.....	24
3.2.5 N-amídico vs N-nítrico + N-amoniacal – Gott et al. 2014	27
3.2.6 N-nítrico vs N-amôniacal vs N-amídico vs N-nítrico + N-amoniacal – Maças, 2008	29
4. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Um dos nutrientes que mais limitam a produtividade em cultivos é o nitrogênio (N). Este elemento é necessário, na maioria das vezes, em maiores quantidades que os demais nutrientes essenciais, uma vez que é componente essencial de diversos constituintes celulares, como por exemplo das proteínas. As proteínas sozinhas compreendem 60 % ou mais do N das plantas e de células microbianas (VIERIA, 2017).

A cultura do milho é exigente em N, onde deficiência pode reduzir entre 10% e 22% o rendimento de grão (SUBEDI, 2009). As plantas deficientes em N apresentam amarelecimento das folhas mais velhas, seguidas de clorose generalizada e perda foliar. Em alguns casos, podem ser observadas deformações nas pontas das espigas (SUBEDI, 2009). Segundo Amado et al. (2001), em anos cujas condições são favoráveis à cultura do milho, a quantidade requerida para otimizar a produção de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha⁻¹.

O manejo do N tem sido uma das práticas agrícolas mais estudadas no sentido de melhorar a sua eficiência de uso. Essa necessidade existe porque a maior parte do N do solo se encontra em combinações orgânicas, sendo essa forma indisponível para os vegetais (MALAVOLTA, 2006). Segundo Amlinger et al. (2003), a mineralização de N orgânico de compostos, entre outros fatores, é regulada pela relação C/N das matérias-primas utilizadas na compostagem e pelas frações de C e N presentes nos compostos e sujeitas à decomposição. Em geral, os teores de N em compostos orgânicos, estão na faixa de 0,6 a 4,6 % (MELO, 2008) e de 0,05 a 4,9 % (HIGASHIKAWA, 2010). Isto faz com que o N mineralizável atenda somente à uma pequena fração da demanda das culturas anuais. Assim, a fertilização por meio de fertilizantes minerais é uma opção para atender a demanda do nutriente pela planta, mas apenas fornece-lo para cultura não é o suficiente para garantir que a planta estará nutrida durante seu ciclo.

O fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil e no mundo é a ureia (IFA, 2013). Porém, a ureia está suscetível à elevadas perdas de N, principalmente por meio da volatilização de amônia (NH₃), um tipo de perda que é mais intensificado em países de regiões tropicais, como o Brasil, onde há predomínio de altas temperaturas na maior parte do ano. Em trabalho conduzido em laboratório, a perda máxima

acumulada de NH_3 da ureia chegou a atingir 50 % do N aplicado, nas condições mais favoráveis à volatilização, ou seja, quando os fertilizantes foram aplicados sobre a superfície do solo e a temperatura do ambiente foi mantida em 35 °C (TASCA et al., 2011). Em condições de campo, favoráveis a volatilização, como elevada temperatura, ausência de precipitação imediatamente depois da adubação e altas taxas de evaporação de água do solo, as perdas podem atingir até 80% do N aplicado via ureia (MARTHA JUNIOR et al., 2009).

No entanto, as perdas por volatilização do N variam muito de acordo com as condições climáticas, diminuindo significativamente com a redução da temperatura (ERNST & MASSEY, 1960; TASCA et al., 2011). Perdas médias de NH_3 abaixo de 20% do total de N aplicados como ureia ou estrume são observados em regiões subtropicais das regiões do sul do Brasil (PORT et al., 2003; BASSO et al., 2004; DA ROS et al., 2005).

Embora se saiba há muito tempo que essas perdas de NH_3 por volatilização ocorrem em áreas fertilizadas com ureia, foi apenas na década de 1980 que as primeiras substâncias com propriedades inibidoras da urease foram divulgadas. Uma delas é a triamida N- (n-butil) tiofosfórica (NBPT) que pode ser misturada com a ureia na indústria de fertilizantes (KEERTHISINGHE & BLAKELEY, 1995; CANTARELLA et al., 2008). Sanz-Cobena et al. (2008) encontraram menor volatilização do N através da redução da atividade da urease durante os primeiros nove dias após a aplicação da ureia tratada com NBPT, em comparação com a ureia comum. Porém, Rozas et al. (1999), em área sob sistema de plantio direto (SPD), verificaram que o uso de ureia tratada com NBPT, não aumentou o rendimento do milho, nos três anos avaliados, quando comparado à ureia.

Além do inibidor de uréase (NBPT) como estratégia para reduzir a volatilização de NH_3 , incluem-se inibidor de nitrificação, a adição de compostos acidificantes e adutos de ureia, a incorporação de ureia ao solo e o uso de ureia revestida com polímeros ou gel, também conhecidas como fertilizantes de liberação lenta ou controlada, que visam aumentar a eficiência do N e reduzir suas perdas (CANTARELLA 2007).

Os adubos nitrogenados revestidos com polímeros se enquadram no grupo dos fertilizantes de liberação lenta e no subgrupo dos produtos encapsulados ou recobertos (fertilizantes solúveis revestidos). Estes fertilizantes permitem reduzir as perdas de N, que, normalmente, ocorrem com a utilização da ureia, fazendo com que haja uma

barreira física das formas solúveis, contra a exposição do nutriente para o meio, evitando-se, assim, a atuação dos mecanismos de perdas (CIVARD, 2011). Blaylock (2007), observou aumento no rendimento de grãos e na recuperação da % do total de N aplicado como fertilizante, quando utilizada a ureia revestida com polímeros em cobertura no milho, onde o rendimento foi de 12.240 kg ha⁻¹ e recuperação de 49%, quando comparados com a ureia aplicada em cobertura, com 10.984 kg ha⁻¹ e 35% de recuperação aparente de N.

Devido os diversos fatores envolvendo o processo de volatilização do N fornecido pela ureia, as perdas do nutriente podem ter seu grau amenizado se outras fontes forem utilizadas. Além da ureia, as principais fontes de nitrogênio utilizadas como fertilizantes são o sulfato de amônio, o nitrato de cálcio, nitrato de potássio e o nitrato de amônio. Estes fertilizantes apresentam diferentes formas de nitrogênio: nítrica e amoniacal. Ainda, essas fontes podem estar associadas à aditivos que aumentem sua eficiência e reduzam suas perdas (CANCELLIER, 2016). Assim, a escolha do fertilizante deve ocorrer de acordo com o tipo de fonte utilizado e condição ambiental buscando aumentar sua eficiência .

1.1 Objetivo

Realizar uma revisão da literatura à respeito do ciclo do N e sua dinâmica na agricultura e sumarizar trabalhos que mostram a resposta da cultura do milho à adubação com diferentes fontes de N (amídica, nítrica e amoniacal) e com uso de aditivos para aumentar sua eficiência, afim de fornecer ao leitor, informações para tomadas de decisões quando se trata de adubação de fertilizantes nitrogenados.

1.2 Justificativa

Este trabalho se justifica, pelo fato da adubação nitrogenada apresentar elevada proporção no custo de produção da cultura do milho, e que seu manejo incorreto leva à perdas de N que reduzem a eficiência da adubação e causam danos ambientais. Além do fato de que menor eficiência do uso do N resulta em perda de produtividade e rentabilidade. Entender qual condição é mais adequada para cada

tipo de fonte é fundamental para garantir maior rentabilidade pelo produtor e maior aproveitamento do N pela cultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho foi reunir a literatura e trabalhos científicos, acerca do ciclo do N e sua dinâmica na agricultura e dados que mostram a comparação de produtividade entre diferentes fontes de N, com diferentes métodos trabalhados, e em específico na cultura do milho. Para isso foi utilizada a ferramenta Google Acadêmico para buscar artigos com os termos: adubação nitrogenada; fontes de N; milho; aditivos; ciclo do nitrogênio; fertilizantes nitrogenados.

Após revisão da literatura sobre o ciclo do N, foram selecionados 6 trabalhos, nos quais avaliaram o efeito de diferentes fontes de nitrogênio e uso de aditivos para aumentar sua eficiência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1.1 Ciclo do nitrogênio

O N é afetado por uma dinâmica complexa e seu manejo, objetivando o aumento do aproveitamento pelas plantas, é um assunto frequentemente estudado. Além disso, o N apresenta grande versatilidade nas reações de oxi-redução, e está presente em vários estados de oxidação (QUADRO 1), o que lhe confere especial importância nos ciclos biogeoquímicos e no metabolismo das plantas (EPSTEIN e BLOOM, 2005), fazendo com que as condições ambientais afetem a disponibilidade de N.

QUADRO 1 - ESTADOS DE OXIDAÇÃO DO NITROGÊNIO

Os nove estados de oxidação do nitrogênio		
Nome	Espécie	Estado
Amônia, Amônio	NH ₃ , NH ₄ ⁺	-3
Hidrazina	N ₂ H ₄	-2
Hidroxilamina	NH ₂ OH	-1
Dinitrogênio	N ₂	0
Óxido nitroso	N ₂ O	+1
Óxido Nítrico	NO	+2
Ácido Nitroso, Nitrito	HNO ₂ , NO ₂ ⁻	+3
Dióxido de nitrogênio	NO ₂	+4
Ácido Nítrico, Nitrato	HNO ₃ , NO ₃ ⁻	+5

Fonte: O autor (2020)

Cerca de um quarto do gasto energético pelas plantas está relacionado com as diversas reações envolvidos na redução do nitrato (NO₃⁻) para o amônio (NH₄⁺), e subsequente incorporação do nitrogênio às formas orgânicas nas plantas (EPSTEIN E BLOOM, 2005). Tisdale et al. (2005) citam que a redução do NO₃⁻ para NH₄⁺ é um processo que requer energia, o qual utiliza duas moléculas de nitrato redutase (NADH) para cada NO₃⁻ reduzido na síntese de proteínas. Desta forma, o amônio NH₄⁺ é a forma primada de nitrogênio pelas plantas, devido ao menor gasto energético em relação ao nitrato, ou seja, um processo a menos no processo de redução no interior das células (MAÇÃS, 2008).

Aproximadamente 95% do N presente no solo encontram-se na forma orgânica. Somente cerca da metade destes compostos já foram identificados. Além do nitrogênio orgânico existem as formas inorgânicas minerais (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻), que são bem caracterizadas, uma vez que podem ser separadas e quantificadas (VIEIRA, 2017). O nitrogênio nos resíduos é mineralizado como NH₄⁺ pelos organismos do solo como um produto final de decomposição. As raízes das plantas absorvem parte do NH₄⁺. Parte do NH₄⁺ é convertido para NO₃⁻ por bactérias nitrificadoras em um processo chamado de nitrificação. O NO₃⁻ é absorvido pelas raízes das plantas (juntamente com o NH₄⁺ absorvido) (MAÇÃS, 2008).

O NH₄⁺ é consumido pelos microrganismos nitrificadores, o que reduz a disponibilidade dessa forma aplicada no solo, até que, como fim do processo de

nitrificação, o nutriente seja disponibilizado na forma de NO_3^- . Segundo Maçãs (2008), a nitrificação, ou oxidação do nitrogênio amoniacal para NO_3^- , é realizada no solo por bactérias quimiautotróficas, que obtêm energia no processo e que podem sintetizar a biomassa microbiana a partir do CO_2 .

Quando o NO_3^- na solução do solo não é absorvido pelas plantas ou imobilizado pela microbiota do solo, pode ser facilmente lixiviado, pois apresenta carga negativa e não é adsorvido pelos coloides do solo que apresentam predominantemente cargas negativas (PRIMAVESI, 2006). Porém, em subsuperfície é possível encontrar coloides com carga positiva, gerado pela substituição isomórfica de cátions de baixa valência por outros de valência maior, e pela protonação dos íons H^+ a superfície dos grupo OH^- associados aos óxidos de Fe e Al, alofanas e com as arestas de argilas tipos 1:1 na medida que os solos são acidificados (HEINRICHS, 2010), isso permite que parte do nitrato fique adsorvido aos coloides do solo.

Em condições de redução na disponibilidade de oxigênio no solo, no período das chuvas ou com irrigação, pode ocorrer perda de N-NO_3^- na forma de óxido nitroso (N_2O), um gás de efeito estufa com capacidade para armazenar aproximadamente 265 vezes mais energia que o CO_2 (IPCC, 2013), fato esse que torna inadequado o uso dessa fonte em condições de alta umidade do solo.

Embora inicialmente fosse julgado que as perdas de NO_3^- por lixiviação em solos brasileiros fossem mínimas (VITOUSEK, 1983; REIS e BARROS, 1990), devido à existência de cargas elétricas positivas em profundidade no solo (DYNIA, 2000), verifica-se em estudos recentes que mesmo Latossolos podem apresentar lixiviação de nitrato. Oliveira et al. (2001) observaram perdas acima de $100 \text{ kg NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em solos que receberam lodo de esgoto ou mesmo adubação nitrogenada convencional para a cultura da cana-de-açúcar. Isso pode ocorrer devido textura do solo, onde solos mais arenoso possuem menor capacidade de troca aniônica, já que minerais da fração areia (quartzo, por exemplo) não apresentam cargas superficiais (LIMA, 2007).

As reações com o nitrogênio orgânico no solo são predominantemente mediadas por microorganismos e, desta forma, sujeitas as condições de solo e clima (FIGURA 1).

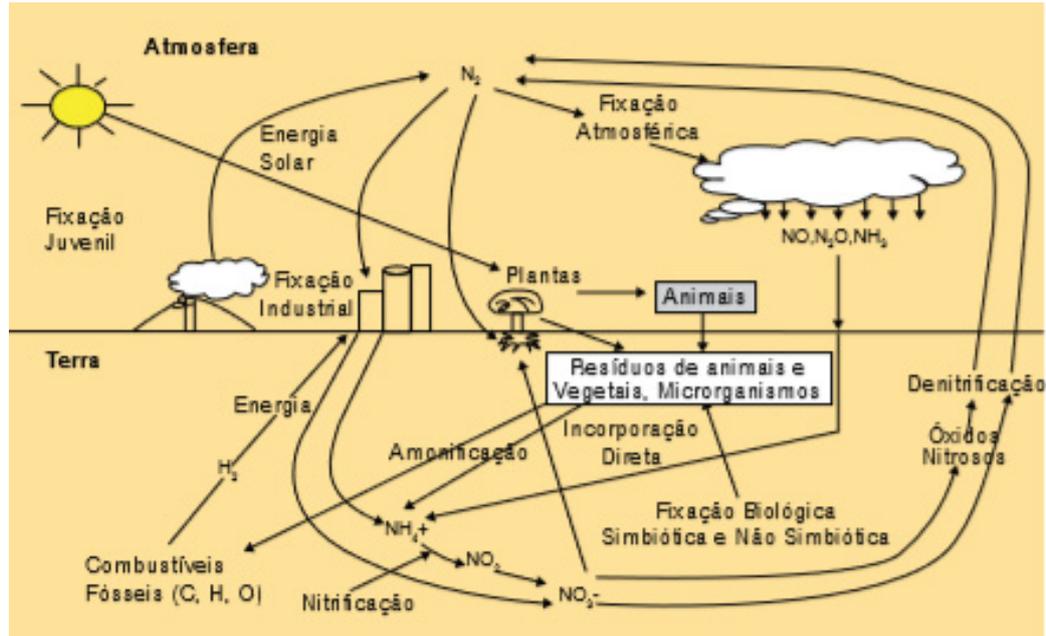


FIGURA 1. Ciclo do nitrogênio

Fonte: Gomes et al. (2000).

Como aponta Souza et al. (1995, p 320), apesar de existir grande quantidade de nitrogênio no ar (79%), a maior parte dos seres vivos não possuem a capacidade de fixá-lo em seus constituintes celulares na forma de N_2 atmosférico, e a exceção são algumas bactérias do gênero *Nitrobacter* e *Rhizobium*, e algumas algas azuis (Cianofíceas) que fixam diretamente o nitrogênio do ar. As bactérias do gênero *Rhizobium* vivem em mutualismo com os vegetais da família das leguminosas – formando os nódulos radiculares. O N, necessário para o desenvolvimento da soja, que exporta cerca de 150 kg ha^{-1} de N nos grãos, poderá ser fornecido eficientemente através da simbiose com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (HUNGRIA et al., 1994).

Estima-se que a fixação biológica de nitrogênio tenha uma contribuição global para os diferentes ecossistemas da ordem de 258 milhões de toneladas de N por ano, sendo que a contribuição na agricultura é estimada em 60 milhões de toneladas (FIXAÇÃO..., 2017). A fixação não biológica é responsável por, aproximadamente, 10 % da entrada de N na terra, em termos globais. Contudo, nem todas as plantas são capazes de realizar interação com bactérias fixadores de N, assim é necessário aplicar esse nutriente na forma de adubo.

3.1.2 Fabricação de fertilizantes nitrogenados

O maior avanço tecnológico no setor de fertilizantes nitrogenados, considerada como maior invenção do século XX, foi a síntese de NH_3 a partir da reação do gás dinitrogênio N_2 , presente na atmosfera com hidrogênio em condições de alta pressão e temperatura e na presença de ferro (ERISMAN et. al., 2008). A patente do processo foi obtida em 13 de outubro de 1908 pelos químicos Fritz Haber e Carls Bosh, o que possibilitou a diversos países a diminuir a dependência das reservas restritas de N na forma de Guano, existentes no Chile, o aumento na produtividade das culturas e a segurança alimentar e nutricional da população. (ERISMAN et. al., 2008).

A partir da síntese da amônia foi possível o desenvolvimento de novas rotas tecnológicas e a produção em maior escala de ureia, nitrato de amônio, nitrato de cálcio, sulfato de amônio, monoamônio fosfato (MAP) e diamônio fosfato (DAP) (FIGURA 2) – principais fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura mundial que têm a amônia como matéria-prima básica para a sua produção (IPNI, 2017).

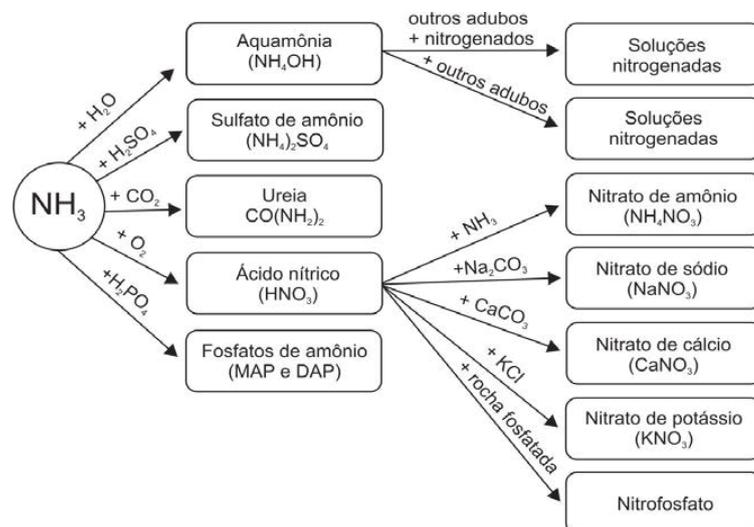


FIGURA 2: Rota de produção de fertilizantes nitrogenados – amônia como matéria-prima para a produção de adubo

Fonte: Adaptado de Malavolta e Moraes (2009)

Os fertilizantes nitrogenados que possuem NH_3 como matéria-prima, possuem diferentes formas de nitrogênio e concentração, como mostra o quadro a seguir (QUADRO 2).

QUADRO 2. DESCRIÇÃO DOS FERTILIZANTES NITROGENADOS FABRICADOS A PARTIR DA NH₃ NO BRASIL

Fertilizantes	Garantias Mínimas	Observação
Nitrato de Amônio	32% de N	O Nitrogênio deverá estar 50% na forma amoniacal e 50% na forma nítrica.
Nitrato de Cálcio	Nitrogênio e Cálcio teores totais.	Nitrogênio na forma nítrica, podendo ter até 1,5% na forma
Nitrato de Potássio	44% de K ₂ O 12% de N	O Nitrogênio deve estar na forma nítrica. Nitrato
Fosfato Monoamônico (MAP)	9% de N 48% de P ₂ O ₅	Nitrogênio na forma amoniacal.
Sulfato de Amônio	20% de N 22% de S	O Nitrogênio deverá estar na forma amoniacal. O teor de Tiocianato, expresso em Tiocianato de Amônio, não poderá exceder a 1%.
Uréia	45% de N	O Nitrogênio deve estar totalmente na forma amídica. O teor de Biureto não pode ser maior de 1,5% para aplicação direta no solo e de 0,3% para aplicação foliar.
Fosfato Diamônico (DAP)	17% de N 45% de P ₂ O ₅	Nitrogênio na forma amoniacal

Fonte: Adaptado de MAPA (2017).

3.1.3 Hidrólise da ureia

O fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil e no mundo é a ureia (IFA, 2013). Esta fonte se destaca devido à sua elevada concentração de N que, reduz o custo de transporte além possuir alta solubilidade e facilidade de mistura com outras fontes. No entanto, a ureia possui elevada suscetibilidade à volatilização de NH₃, um tipo de perda que é mais intensificado em países de regiões tropicais, como o Brasil, onde há predomínio de altas temperaturas na maior parte do ano.

Após a aplicação ao solo, a ureia [CO(NH₂)₂] é hidrolisada pela enzima urease, resultando na formação de carbonato de amônio [CO(NH₂)₂ + 2H₂O → [(NH₄)₂CO₃], que se decompõe rapidamente, originando amônio, bicarbonato e hidroxila [(NH₄)₂CO₃ + H₂O → 2NH₄⁺ + OH⁻ + HCO₃⁻], o que implica elevação do pH ao redor dos grânulos do fertilizante (ERNANI et al., 2001; ROCHETTE et al., 2009b) (FIGURA 3).

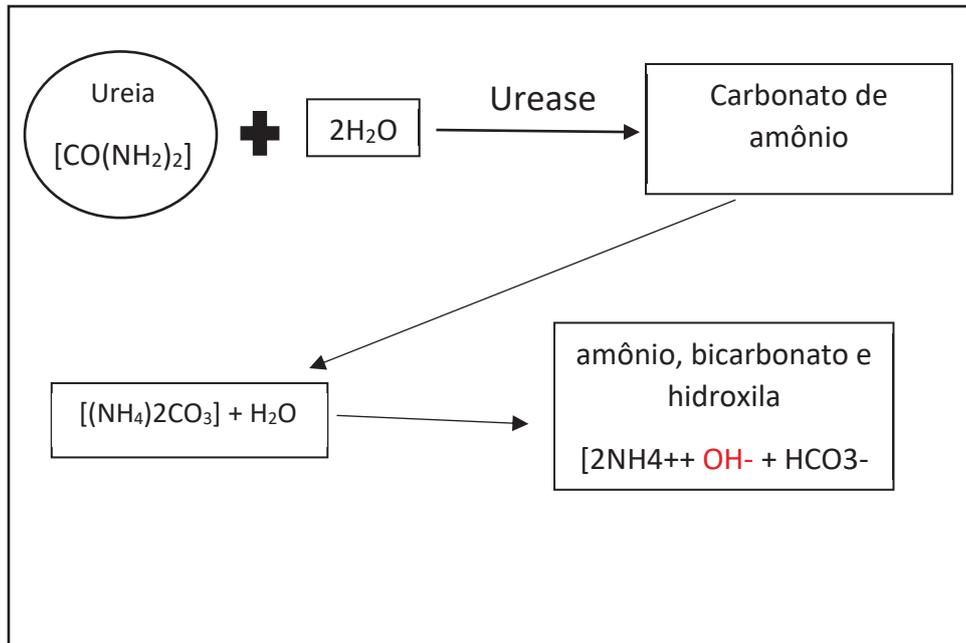


FIGURA 3: Processo de hidrólise da ureia.

Fonte: O autor (2020).

Nos últimos anos, novas tecnologias têm sido desenvolvidas com o intuito de minimizar as perdas de N-ureia por volatilização, como o uso de inibidores da urease (principalmente o NBPT [N-(n-butyl) thiophosphoric triamide]) e a incorporação e, ou, revestimento da ureia com micronutrientes, especialmente cobre (Cu) e boro (B) e de polímeros que interferem na hidrólise e, ou, solubilização da ureia no solo (VITTI, 2002; CANTARELLA, 2007a). A utilização desses produtos podem ocasionar diminuição da volatilização em até 80 %, sendo essas tecnologias as principais comercializadas para as culturas de grãos, cana-de-açúcar e fibras (VITTI, 2002; CANTARELLA, 2007a).

3.1.4 Dinâmica do Nitrato no Solo

Um dos problemas que ocorrem, em razão do uso intensivo de fertilizantes em sistemas de cultivo, é a lixiviação, fenômeno que envolve complexa interação entre hidrologia do solo, absorção de água e nutrientes pelas plantas, e práticas de manejo (VAN ES; SOGBEDJI; SCHINDELBECK, 2006). A lixiviação de NO₃⁻ é influenciada pela textura, quantidade de adubo aplicado, tipo de adubação, exigência e absorção de N pelas plantas, quantidade e frequência de precipitação pluvial, manejo da

irrigação, condições de drenagem e dinâmica das transformações do N como mineralização, imobilização e desnitrificação (CAMPBELL et al., 1993).

Sexton et al. (1996) observaram que o NO_3^- lixiviado aumentou rapidamente quando as doses de N excederam 100 kg ha^{-1} , para crescimento de milho sob um solo arenoso, e que, para doses de N acima de 250 kg ha^{-1} (correspondendo ao máximo rendimento), o NO_3^- lixiviado aumentou exponencialmente. Íons de NO_3^- por não serem retidos na fase sólida do solo, geralmente ficam dissolvidos em sua solução, e podem ser lixiviados em maior ou menor grau, em função da percolação da água ao longo do perfil do solo, reduzindo sua disponibilidade para as plantas, com riscos de contaminação das águas de superfície e subsuperfície (JADOSKI et al., 2010). A lixiviação do N- NO_3^- oriundo das áreas agrícolas vem se tornando um risco à saúde pública, uma vez que, em concentrações superiores a 10 mg L^{-1} , nas águas subterrâneas, pode desenvolver a metahemoglobinemia, conhecida também como síndrome do "bebê azul", (FENG, 2005). Correa, White e Weatherley (2006), avaliando os riscos de lixiviação de NO_3^- em solo argiloso e arenoso, verificaram que cerca de 20% foi perdido na zona superficial até os 20 cm de profundidade em solo argiloso, enquanto que em solo arenoso essa perda variou de 42 a 76%. Além da lixiviação, outro processo que pode gerar perdas de N, é a desnitrificação, onde o N é perdido na forma de gás.

Segundo Lapedes (1978), a denitrificação consiste na redução do nitrato ou do nitrito nos gases nitrogênio elementar, óxido nitroso e óxido nítrico, a partir de reações intermediadas por bactérias presentes no solo. Ao ocorrer essa redução, tais gases se perdem para a atmosfera, ficando o N indisponível para as culturas. Esse fenômeno acontece em solos com excesso de água, onde o nitrogênio está indisponível, levando alguns microrganismos a obterem oxigênio a partir da redução do nitrato e nitrito (TISDALE et al., 1984).

3.1.5 Imobilização do nitrogênio

Em Sistema de plantio direto (SPD) estabelecido, a imobilização de N pela biomassa de solo constitui um dreno importante de N, de caráter transitório (CABEZAS et al., 2007).

A utilização de fontes nitrogenadas em formas nítricas, amoniacais ou amidicas pode resultar em diferentes quantidades de N-fertilizante imobilizado e recuperado pela planta (ARRUDA, 2002). Reddy & Reddy (1993) observaram que, a partir da aplicação de 100 kg ha⁻¹ de nitrato de amônio no milho, em cobertura, no sistema convencional de plantio, 19,5 e 10,3 kg ha⁻¹ do N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ ficaram imobilizados no solo, respectivamente, após a colheita do milho; no entanto, a recuperação de ambos pela planta foi próxima: 24% e 29% para o N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻, respectivamente, e a menor imobilização do nitrato ocorreu.

Puri & Ashrnan (1999) avaliaram a imobilização do NH₄⁺ e do NO₃⁻ durante 12 meses e notaram que, em média, a taxa de imobilização do amônio no solo foi duas vezes maior que a do nitrato em razão da preferência da biomassa microbiana pelo amônio. Na imobilização, o NH₄⁺ é preferencialmente utilizado pela biomassa de solo (JANSSON et al., 1955; BROADBENT & TYLER, 1965; RECOUS et al., 1988), em detrimento do NO₃⁻.

A ocorrência favorável à mineralização ou imobilização é influenciada por diversos fatores, como: temperatura, umidade, presença de O₂, biomassa de solo e os conteúdos de C e N do material orgânico adicionado ao solo (LOPES et al., 2004). O aumento de pH no solo favorece maior imobilização de N-NH₄⁺ (BROADBENT & TYLER, 1965). A imobilização ocorre quando a relação C:N excede valores de 20:1 a 25:1 (SIMS, 1990; BURGESS et al., 2002; LOPES et al., 2004).

Francis et al. (1993) aplicaram amônio e nitrato marcados na semeadura do milho, não especificando se em SPD ou PC, e observaram que, no estágio de três folhas, cerca de 20 dias após a germinação, 2,9% e 17,8% do N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ estavam imobilizados, respectivamente, nos primeiros 30 cm de profundidade do solo, e 15,4% e 62,3% do N-NO₃⁻ e N-NH₄⁺ se encontravam em formas minerais nessa mesma profundidade.

3.1.6 Aditivos em Fertilizantes Nitrogenados

Inibidores naturais e sintéticos da urease do solo foram investigados para reduzir a volatilização da amônia. O inibidor da urease mais comumente usado com fertilizantes é o tiofosfato de N- (n-butil) triamida (NBPT) (MATHIALAGAN et al., 2017).

Quando misturado com ureia, atrasa a hidrólise e melhora a incorporação de nitrogênio no solo. Através do revestimento da ureia com a molécula do NBPT em meio a uma solução catiônica ocorrem as inibições reversíveis competitivas, onde utiliza-se da molécula de NBPT para imitar a molécula da ureia onde a enzima consome o NBPT; e a não-competitivas onde cátions que se ligam à molécula da enzima urease para inibir sua ação química (ADFERTI, 2020). Na FIGURA 4, é possível observar a reação normal (a) e de uma inibição reversível competitiva (b), em que o substrato e o inibidor competem pela enzima. A molécula de NBPT imita a molécula de ureia, sendo esta consumida pela enzima urease no lugar da ureia (FERTIMAN, 2020).

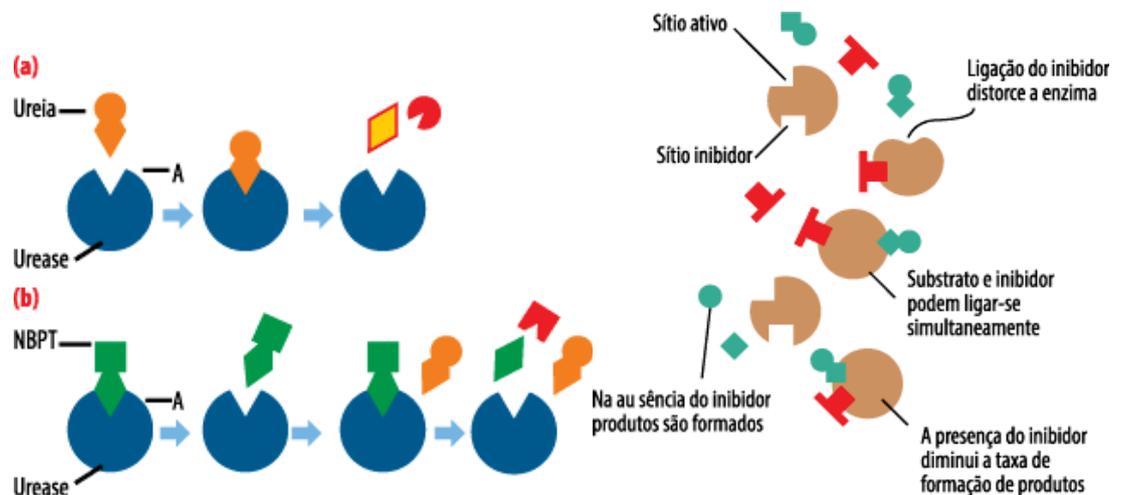


FIGURA 4: Inibição competitiva e inibição não-competitiva

Fonte: fertiman (2020).

Outro aditivo utilizado na ureia são os polímeros. Devido à alta solubilidade em água, compostos para o recobrimento do grânulo servem de barreira física e controla a passagem de N por difusão. Existem diversos compostos que podem ser utilizados para o recobrimento do grânulo, como enxofre elementar (S_0), resinas plásticas, termoplásticos, poliuretano, polietileno, dentre outros (IPNI, 2017).

A disponibilidade de N dos fertilizantes de liberação lenta depende da decomposição das cadeias dos polímeros em CO_2 e NH_3 pela atividade microbológica. Por isso, as propriedades do solo e os fatores ambientais, como teor de argila, pH, umidade e temperatura, afetam a decomposição e a liberação de N

dessa categoria de fertilizantes nitrogenados (JAHNS; EVEN; KALTWASSER, 2003; TIMILSENA et al., 2014).

Há também aditivos para inibir o processo de nitrificação como a nitrapirina, Os inibidores de nitrificação são eficientes na diminuição das emissões de óxido nitroso quando adicionados aos fertilizantes nitrogenados (RUSER; SCHULZ, 2015). Foram relatadas reduções nas emissões de óxido nitroso entre 33% e 96% com a utilização de inibidores de nitrificação como Nitrapyrin, DCD, carbeto de cálcio em diferentes fertilizantes nitrogenados (SNYDER, 2007).

3.2 Resultados dos Trabalhos

Os trabalhos pesquisados tem a finalidade de trazer a este trabalho a parte prática, onde as características já discutidas, são observadas a campo. Para melhor visualização dos resultados dos trabalhos, as comparações de resposta entre as diferentes fontes dos fertilizantes nitrogenados foram alocadas na TABELA 1. A discussão dos resultados vem na sequência.

TABELA 1. RESUMO DOS EFEITOS DE FONTES NITROGENADAS COM USO DE ADITIVOS OU NÃO NA CULTURA DO MILHO EM RELAÇÃO À UREIA CONVENCIONAL.

Fonte	Dose (kg ha ⁻¹)	Local	Modo de aplicação	Efeito no milho	Referência
Ureia convencional	60	Planaltina-DF	Cobertura	-	Silva et al 2011
Ureia convencional	180	Planaltina-DF	Cobertura	Positivo	Silva et al 2011
Ureia NBPT	60	Planaltina-DF	Cobertura	Negativo	Silva et al 2011
Ureia NBPT	180	Planaltina-DF	Cobertura	Positivo	Silva et al 2011
Ureia convencional	104	Jatai-GO	Incorporado	-	Civard et al 2011
Ureia com polímero	96	Jatai-GO	Cobertura	Negativo	Civard et al 2011
½ Ureia com polímero	49	Jatai-GO	Cobertura	Negativo	Civard et al 2011
Ureia convencional	40	Selvira-MS	Cobertura	-	Goes et al. 2012
Sulfato de amônio	40	Selvira-MS	Cobertura	S/ efeito	Goes et al. 2012
Ureia convencional	80	Selvira-MS	Cobertura	S/ feito	Goes et al. 2012
Sulfato de amônio	80	Selvira-MS	Cobertura	S/ efeito	Goes et al. 2012
Ureia convencional	80	Uberlândia-MG	Incorporado	-	Cabezas et al. 2007
Sulfato de amônio	80	Uberlândia-MG	Incorporado	Positivo**	Cabezas et al. 2007
Ureia convencional	80	Uberlândia-MG	Cobertura	Positivo*	Cabezas et al. 2007
Sulfato de amônio	80	Uberlândia-MG	Cobertura	Positivo*	Cabezas et al. 2007
Ureia convencional	100	Rio Paranaíba-MG	Cobertura	-	GOTT et al. 2014
Nitrato de Amônio	100	Rio Paranaíba-MG	Cobertura	Positivo	GOTT et al. 2014
Ureia	120	Porto Alegre-RS	Cobertura	-	Maças, 2008
Nitrato de cálcio	120	Porto Alegre-RS	Cobertura	Positivo	Maças, 2008
Cloreto de amônio	120	Porto Alegre-RS	Cobertura	Positivo	Maças, 2008
Nitrato de amônio	120	Porto Alegre-RS	Cobertura	Positivo	Maças, 2008
Sem Nitrapirina	120	Porto Alegre-RS	Cobertura	-	Maças, 2008
Com Nitrapirina	120	Porto Alegre-RS	Cobertura	S/ Efeito	Maças, 2008

*: Resultado superior que a ureia comum incorporada e demais tratamento em cobertura

** : Resultado superior a ureia comum incorporada e inferior a Sulfato de amônio incorporado

3.2.1 N-amídico vs N-amídico + NBPT - Silva et al., 2011

No trabalho conduzido por Silva et al. (2011), avaliando uma fonte amídica (ureia) com e sem a adição do inibidor da uréase NBPT, observou que em média a

ureia convencional na dosagem de 180 kg N.ha⁻¹ produziu mais que a ureia comum na dosagem de 60 kg N.ha⁻¹, porém não o suficiente para ser lucrativo. Já a ureia NBPT na dose de 60 kg N.ha⁻¹ teve o pior desempenho dentre todos os tratamentos, diferente do resultado apresentado pela ureia NBPT na dose de 180 kg N.ha⁻¹, que apresentou a maior margem de lucro bruto comparado aos demais tratamentos (TABELA 3).

TABELA 2 - CUSTOS DE FERTILIZAÇÃO NITROGENADA, PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, AUMENTO DE PRODUTIVIDADE, CUSTO DE APLICAÇÃO, AUMENTO FINANCEIRO E MARGEM DE LUCRO BRUTO DEVIDO AO FERTILIZANTE COM DIFERENTES NÍVEIS DE UREIA COMUM E UREIA TRATADA COM NBPT.

Tratamento		Produtividade de grãos	Incremento		Custo do Fertilizante (2)	Margem de Lucro Bruto
Fontes	Níveis de N aplicado		Produtividade	Custo de Produção (1)		
-----Kg.ha ⁻¹ -----						
Ureia Comum	60	11388			50,23	
Ureia Comum	120	11898	510	91,76	89,09	2,67
Ureia Comum	180	11551	163	29,33	127,95	-98,23
Ureia Comum	240	12384	996	179,2	166,82	12,38
Ureia Tratada – NBPT	60	10810	-578	-103,98	53,98	-157,95
Ureia Tratada – NBPT	120	11250	-138	-24,83	96,59	-121,42
Ureia Tratada – NBPT	180	13125	1737	312,55	122,16	190,39
Ureia Tratada – NBPT	240	13148	1760	316,66	165,77	151,9

(1) Com base no preço médio nacional de US \$ 10,80 por saco de 60 kg de milho, pago em Uberlândia (MG), agosto de 2010 (Agrolink, 2010). (2) Preço do fertilizante (uréia comum = US \$ 0,65 kg; uréia tratada com NBPT = US \$ 0,71) de acordo com a IEA (2010) e preço do aplicativo como cobertura (US \$ 14,49, agosto de 2010).

Fonte: Silva et al. (2011)

Araújo et al. (2004) observaram que a adubação nitrogenada proporcionou um aumento de 28% na produtividade de grãos de milho em relação ao controle, corroborando com o presente trabalho. A maior produtividade de grãos, 11.203 kg ha⁻¹, foi alcançada com o maior nível de N aplicado (240 kg ha⁻¹). Já, no EUA, alguns ensaios de campo foram realizados envolvendo a aplicação de fertilizantes N com e sem adição de NBPT no milho (TRENKEL, 1997). Os resultados mostram que a ureia

tratada com NBPT proporcionou um aumento médio (316 ensaios) de $0,89 \text{ t ha}^{-1}$ na produtividade do milho. O aumento da produtividade proporcionado pelo NBPT também foi verificado em outras culturas (MALHI et al., 2001; O'DONOVAN et al., 2008).

Essa maior eficiência da ureia tratada com NBPT pode estar relacionada à redução das perdas de N, devido ao efeito inibitório da uréase proporcionado pelo aditivo. Assim, maior foi o aproveitamento do N pela cultura do milho e conseqüentemente maior o ganho em rendimento e lucratividade em relação à ureia convencional.

3.2.2 N-amídico vs N-amídico + Polímeros - Civard et al. 2011

Civard et al. 2011, comparando os tratamentos: Ureia Incorporado ao solo, Ureia + Polímero em cobertura e $\frac{1}{2}$ Ureia + Polímero em cobertura, observaram que a ureia incorporada ao solo, em média, propiciou a maior produtividade de grãos (TABELA 3). A ureia incorporada ao solo proporcionou um aumento de produtividade de 11,43% e de 26,05%, quando comparado a ureia com polímero aplicado em cobertura e $\frac{1}{2}$ ureia com polímero em cobertura, respectivamente.

TABELA 3. RENDIMENTO DE GRÃOS (REND), ANÁLISE ECONÔMICA DA RECEITA BRUTA (RECBRT), ESTIMATIVA DE CUSTO DE PRODUÇÃO (ESTCUST), LUCRO OBTIDO POR HECTARE (LUCRO) E RELAÇÃO ENTRE O VALOR RECEBIDO, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS COM UREIA INCORPORADA E UREIA REVESTIDA APLICADA EM SUPERFÍCIE (JATAÍ, GO, SAFRA 2007/2008).

Tratamento	Rend	RecBrt	EstCust	Lucro
	(kg ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)
1/2 Ureia + Polímero	6.567c	2.298,47c	2024,14c	274,32b
Ureia + Polímero	7.429b	2600,22b	2186,72a	413,50b
Ureia	8.278a	2.897,23a	2117,79b	779,44a

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem, estatisticamente, entre si, pelo teste Tukey, a 5%.

Fonte: Civard et al. 2011, adaptado.

Como o tratamento levou em consideração o volume de ureia aplicada, a quantidade de nitrogênio não foi a mesma nos tratamentos, o que pode ter ocasionando maior produtividade do milho adubado com ureia convencional. Alguns autores observaram que a produtividade de grãos é aumentada conforme foram elevadas as doses de N, como apresenta Araújo et al. (2004), a dose de 240 kg ha⁻¹ de N assegurou uma elevação na produtividade de grãos de 28% quando comparada ao tratamento testemunha, que recebeu a dose zero kg ha⁻¹ de N. Souza & Soratto (2006), em estudo sobre fontes e doses de nitrogênio no milho, também verificaram ajuste linear na produtividade de grãos em função do aumento da dose de nitrogênio. Sendo assim, uma quantidade menor de N em cobertura do que a utilizada no fertilizante incorporado, pode influenciar de forma negativa na produtividade, assim como o resultado obtido ao reduzir a dose da ureia + polímero de 96 kg N.ha⁻¹ para 46 kg N.ha⁻¹.

Porém, vale ressaltar que a ureia convencional foi incorporada, enquanto a ureia revestida foi aplicada em superfície e isso pode ter aumentado sua eficiência pelo milho. Coelho (1987) constataram que a aplicação integral de N na linha de semeadura proporcionou maior ganho de matéria seca de milho por kg de N em comparação à aplicação em cobertura.

Diversos estudos têm demonstrado que o revestimento da ureia com polímeros não tem sido eficiente em aumentar a produtividade de grãos de milho, como em trabalhos de Guareschi et al., 2013 e Maestrello et al., 2014. Pereira et al. (2009) verificaram que o revestimento da ureia com polímeros não influenciou

significativamente a produtividade em comparação com a ureia comum, apesar de reduzir em 21% a volatilização de amônia na dose de 80 kg ha⁻¹ de N. Isso ocorre porque a ureia revestida por três camadas de polímeros distintos promove redução de perdas por volatilização de amônia (REIS JÚNIOR, 2007).

Sendo assim, resultados positivos de produtividade utilizando ureia com polímeros comparado a ureia comum, podem ser conseguidos se as condições forem favoráveis a volatilização de amônia proveniente da ureia, pois os polímeros tendem a reduzir as perdas de N por volatilização. Em caso de incorporação dessa ureia, seja na forma mecânica ou por meio de chuva, o benefício do aditivo pode não ter a mesma eficiência.

Quanto ao lucro obtido em Reais por hectare, a ureia incorporada foi superior a ambos os tratamentos com ureia revestida aplicada em superfície, os quais não diferiram entre si, o que indica ser a forma mais rentável de ser fornecer N dentre os tratamentos conduzidos neste trabalho.

3.2.3 N-Amídico vs N-amoniaco - Goes et al. 2012

Em trabalho conduzido por Goes et al. 2012, ao analisar a fonte de N amídico (Ureia) e N-amoniaco (Sulfato de amônio), para produtividade e grãos, não houve efeito de fontes e doses de nitrogênio (TABELA 4).

TABELA 4. VALORES MÉDIOS DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS (PG) PARA A CULTURA DO MILHO SAFRINHA EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA. SELVÍRIA, MS, 2011.

Tratamentos		PG (kg ha ⁻¹)
Fontes	Ureia	7.139,50
	Sulfato de amônio	7.192,44
Doses (kg ha ⁻¹)	0	6,825,87
	40	7.062,11
	80	7.683,50
Teste F	Fontes (F)	0,003ns
	Doses (D)	0,82ns
DMS		645,87
CV (%)		13,88

Fonte: Goes et al. 2012, adaptado.

A resposta da produtividade à adubação nitrogenada em cobertura depende de vários fatores; dentre eles, destacam-se umidade do solo, dose utilizada (GOES et al. 2012), condições climáticas, do tipo de solo e da capacidade de extração de nutrientes pelas plantas, durante o ciclo da cultura, característica que varia geneticamente entre os híbridos (NEUMANN et al., 2005). Sendo assim, as menores perdas de N oriundo do sulfato de amônio em comparação com a ureia, será uma vantagem, se os fatores que favorecem a volatilização do N estiverem atuando.

Quanto a fertilidade do solo utilizado no trabalho de Goes et al. 2012, é importante observar alguns pontos, como pH baixo, alto teor de alumínio. Em geral, a toxidez de alumínio é mais comum em solos com pH em água abaixo de 5,5, sendo severa em pH abaixo de 5, situação em que a solubilidade de alumínio aumenta acentuadamente (MAGISTAD, 1925) e representa mais de 50% da CTC do solo (EVANS & KAMPRATH, 1970). Parte do alumínio que é absorvido pela planta pode penetrar nas células do tecido meristemático e interferir na divisão celular (MORIMURA & MATSUMOTO, 1978), na respiração (KLIMASHEVSKII et al., 1972), na atividade de ATPases (KLIMASHEVSKII et al., 1972), no teor de aminoácidos (KLIMASHEVSKII et al., 1970), na fotossíntese (LE MOS FILHO, 1982) e na absorção de água e de nutrientes (LANCE & PEARSON, 1969). E esses efeitos podem colaborar para o não efeito dos tratamentos.

Um exemplo de resultado positivo do sulfato de amônio comparado a ureia é o trabalho conduzido por Cabezas et al. (2007), em solo com pH 5,4 e com o híbrido Tork verificou que a produtividade foi superior utilizando-se sulfato de amônio em relação à ureia.

3.2.4 N-Amídico vs N-Amoniacal - Cabezas et al. 2007

Cabezas et al. 2007 comparando fontes de N, amídico com amoniacal, teve resposta positiva à aplicação de N na forma amoniacal, fornecido pelo fertilizante sulfato de amônio, resultando em maior produtividade de milho quando comparado o N-amídico, fornecido pela ureia (FIGURA 5).

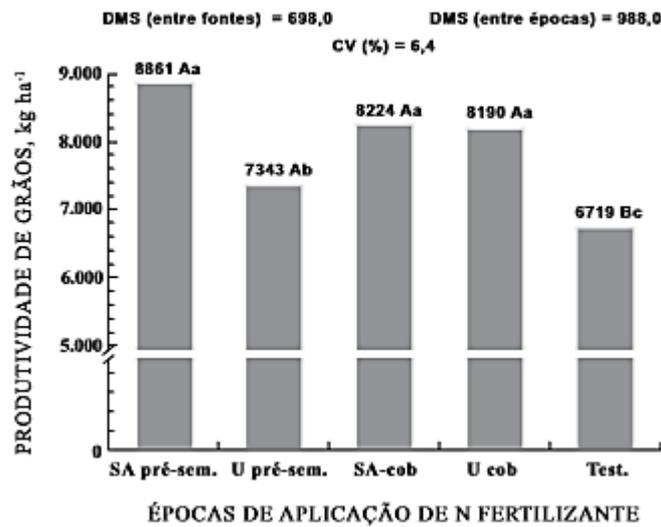


FIGURA 5: produtividade de grãos após a aplicação em pré-semeadura e cobertura das fontes sulfato de amônio (sa) e uréia (u), na cultura de milho em sistema plantio direto. Médias seguidas de letras maiúsculas iguais entre épocas de aplicação não diferem significativamente pelo teste de tukey a 5 %. Médias seguidas de letras minúsculas desiguais entre fontes diferem significativamente pelo teste de tukey a 5 %.

Fonte: Cabezas et al. 2007

O SA aplicado em pré-semeadura, em média, produziu 1.518 kg de grãos ha⁻¹ a mais, comparado a U aplicado também em pré-semeadura. Em cobertura, a diferença de produtividade entre as fontes não apresentou diferenças significativas (Figura 3).

A maior produtividade obtida com à aplicado em pré-semeadura, pode estar associada a maior rapidez na ciclagem do N imobilizado-mineralizado (CABEZAS et al., 2007) consequente maior absorção pelo milho, conforme observado na figura 4. Sendo assim, a imobilização deve ter afetado menos a disponibilidade de N para o milho adubado com SA que por U. Para cada kg de N fertilizante imobilizado no sulco de adubação, independentemente da época de aplicação, maior quantidade de N do SA foi recuperada pela planta entre os estádios de 11–12 folhas e florescimento (FIGURA 6 e 7). O que favorece a cultura, visto que, conforme relata Fornasieri Filho (2007), o pico na absorção de nitrogênio é próximo ao florescimento.

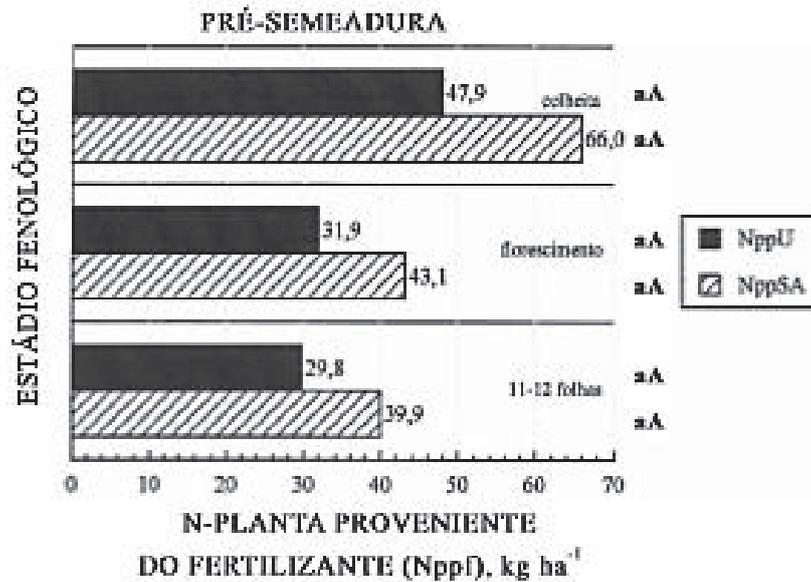


FIGURA 6. Nitrogênio na planta proveniente do sulfato de amônio (nppsa) e da uréia (nppu) aplicado em pré-semeadura, acumulado em três estádios da cultura de milho na safra 2000/2001, em sistema plantio direto. Dms (entre fontes – letras minúsculas) = 28,0ns. Dms (entre épocas – letras maiúsculas) = 20,7ns. Cv (%) = 38,2.

Fonte: Cabeza et. al., 2007.

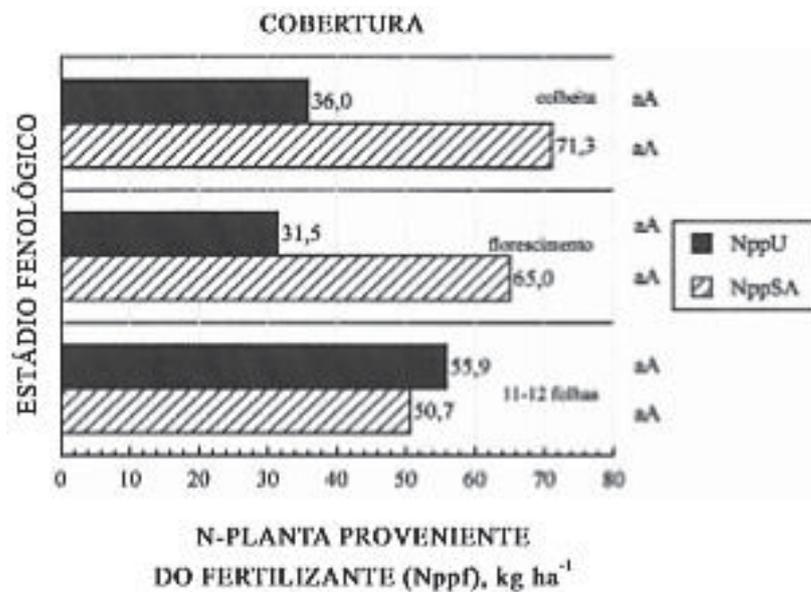


FIGURA 7. Nitrogênio na planta proveniente de sulfato de amônio (NppSA) e da uréia (NppU) aplicado em cobertura e acumulado em três estádios do ciclo da cultura de milho, na safra 2000/2001, em sistema plantio direto. DMS (entre fontes – letras minúsculas) = 36,6ns. DMS (entre épocas – letras maiúsculas) = 29,9ns. CV (%) = 32,3.

Fonte: Cabeza et. al., 2007.

Embora as aplicações em pré-semadura tiveram maior quantidade de N-Imobilizado, o SA pode ser uma alternativa para regiões com baixos índices pluviométricos, visto que tem melhor ciclagem do N e maior absorção de N pelo milho (CABEZAS et al., 2007).

3.2.5 N-amídico vs N-nítrico + N-amoniacoal – Gott et al. 2014

Em trabalho conduzido por Gott et al. 2014, comparando o fertilizante Ureia (N-Amídico) e o fertilizante Nitrato de amônio (N-nítrico e N-amoniacoal), observaram que o N-nítrico + N-amoniacoal apresentou maior produtividade do milho com diferença significativa, em relação a ureia (TABELA 5).

TABELA 5: MASSA DE MIL GRÃOS E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS DA CULTURA DO MILHO SAFRINHA INFLUENCIADAS POR FONTES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA. RIO PARANAÍBA, MG, 2012.

Tratamentos		Massa de mil grãos	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Fontes	Ureia	251,5B	6.071B
	Nitrato de amônio	272,8A	6.491A
F		10,0*	4,3*
Épocas	Testemunha	231,5B	3.490C
	V2	274,1A	7.402A
	V4	278,7A	6.976AB
	V6	273,8A	6.294B
	V8	277,4A	7.242A
F		10,0*	51,1*
F (Fonte de N x Épocas)		0,3*	1,8ns
Média		267,1	6.281
C. V. (%)		4,2	10,2

Média seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Ns, * não significativo e significativo 5%, pelo teste F, respectivamente.

O nitrato de amônio proporcionou produtividade 6,9%, maior do que a ureia em cobertura. Independente da fonte de N, aplicações do fertilizante nitrogenado proporcionaram produtividades de grãos semelhantes, com exceção da aplicação no estágio V6, que resultou em menor produtividade.

Segundo Gott et al. 2014, houve distribuição satisfatória de chuva ao longo do ciclo, principalmente nos estádios de definição do número de fileiras de grãos por espiga, floração e enchimento dos grãos. Logo se espera que as perdas de N por volatilização da ureia foram amenizadas, com a incorporação do fertilizante ao solo devido as chuvas. Sendo assim, podemos atribuir outros benefícios das formas nítrica e amoniacal no aumento da produtividade, como o relatado por Bredemeier & Mundstock, 2000, que o suprimento de parte do N na forma nítrica e parte amoniacal favorece maior equilíbrio de íons na rizosfera e, por conseguinte, maior absorção de N.

Com uma maior absorção de N pela planta, houve interação entre fontes do fertilizante nitrogenado em cobertura no milho para o teor de N na folha (TABELA 6). Os maiores teores de N no tecido ocorrem sob adubação com nitrato de amônio em todas as épocas de aplicação. Souza et al. (2011) em trabalho com sulfonitrato de amônio em relação a ureia, observaram maior teor foliar de N com a fonte nítrica +

amoniacal. Estes resultados reforçam a preferência, por parte da cultura do milho, pela presença de íons nitrato e amônio em sua rizosfera.

TABELA 6: TEORES DE N NA FOLHA ÍNDICE DO MILHO SAFRINHA INFLUENCIADO POR FONTES E ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO EM COBERTURA. RIO PARANAÍBA, MG, 2012¹

Épocas	Teores de N foliar (g kg ⁻¹)	
	Fontes	
	Nitrato de amônio	Ureia
Testemunha	21,6Ba	21,6Ca
V2	34,0Aa	31,2ABb
V4	33,1Aa	34,0Aa
V6	35,0Aa	31,0ABb
V8	34,1Aa	30,1Bb

¹Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Gott et al. 2014, Adaptado.

3.2.6 N-nítrico vs N-amôniacal vs N-amídico vs N-nítrico + N-amoniacal – Maças, 2008

No trabalho conduzido por Maças 2008, comparando fontes de N-nítrico, N-amôniacal, N-amídico, N-nítrico + N-amoniacal, com e sem nitrapirina, teve o maior rendimento como resposta a matéria seca da parte aérea das plantas de milho com o suprimento de N na forma de nitrato de amônio (50% NO₃⁻ + 50% NH₄⁺), independentemente do uso do inibidor da nitrificação (nitrapirina) (TABELA 7).

TABELA 7. MATÉRIA SECA ACUMULADA DA PARTE AÉREA DE MILHO CULTIVADO EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO ARÊNICO, POR 30 DIAS EM CASA DE VEGETAÇÃO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE N SEM E COM INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO (NITRAPIRINA)

Tratamentos	Matéria seca, g vaso		Médias
	Sem Nitrapirina	Com Nitrapirina	
Testemunha sem N	11,35	12,17	11,76d
N 100% NO ₃ ⁻	16,3	18,49	17,4b
N 100% NH ₄ ⁺	15,19	15,38	15,29c
N 50% NO ₃ ⁻ + 50% NH ₄ ⁺	20,06	19,31	19,69a
N 100% amídico [CO(NH ₂) ₂]	16,26	15,3	15,78c
Médias	15,83	16,13	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. ns não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Maças, 2008. Adaptado.

A fonte que apresentou menor rendimento foi a 100% amoniacal e na forma amídica, que não tiveram diferença significativa entre si (Tabela 8). Esse fato e a falta de efeitos da nitrapirina podem ser justificados por um possível efeito tóxico do amônio, com o processo de nitrificação não transformando todo o N-NH₄⁺ em N-NO₃⁻ no período de estudo do trabalho. Esta constatação está em conformidade com os dados da literatura, os quais relatam à toxicidade do nitrogênio amoniacal (BRITTO E KRONZUCKER, 2002; GUO, 2001, 2002; SOUZA & FERNANDES, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2004; WALCH-LIU et al, 2001). Além, disso a baixa massa seca do milho adubado com fonte 100% nítrica, pode estar relacionada ao maior gasto energético pelo milho para assimilar essa forma de N (VON WIREN, 2000).

Os resultados de melhoria de desenvolvimento das plantas obtidos com o fornecimento do nitrogênio na forma de nitrato de amônio são compatíveis com os dados relatados por alguns autores (ALI et al., 2001; ANDRADE et al., 2001; BRIONES et al., 2003; DUAN et al., 2006, 2007; KIRK E KRONZUCKER, 2005, 2006; THOMAS E SODEK, 2005; TISDALE et al., 2005). Reforçando que o equilíbrio no fornecimento de N na forma de NH₄⁺ e NO₃⁻ traz benefícios à absorção de N pela planta (CABEZAS et al., 2007).

Por outro lado, a eficiência das fontes de N foi diferente com a utilização do inibidor da nitrificação. O uso da nitrapirina gerou maior acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas (TABELA 8).

TABELA 8: NITROGÊNIO TOTAL ACUMULADA NA PARTE AÉREA DE MILHO CULTIVADO EM UM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO ARÊNICO, POR 30 DIAS EM CASA-DE-VEGETAÇÃO, EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FONTES DE N SEM E COM INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO (NITRAPIRINA)

Tratamentos	Matéria seca, g vaso		Médias
	Sem Nitrapirina	Com Nitrapirina	
Testemunha sem N	87c	104d	94
N 100% NO ₃ ⁻	394b	525ab	460
N 100% NH ₄ ⁺	494a	479bc	487
N 50% NO ₃ ⁻ + 50% NH ₄ ⁺	500a	547a	524
N 100% amídico [CO(NH ₂) ₂]	417b	467c	442
Médias	378B	424A	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan ao nível de 5% de probabilidade. ns ão significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Maças, 2008. Adaptado.

Segundo Christy (1976), o inibidor da nitrificação será mais eficiente em solos arenosos e sob alta precipitação pluviométrica que favorece o transporte de nitratos para fora do alcance das raízes. Como o solo utilizado por Maças (2008) possui baixos teores de argila, a umidade sendo mantida na capacidade de campo, é provável que ocorra perdas de N na forma de nitrato por lixiviação, a inibição do processo de nitrificação tende a reduzir essas perdas pela não formação do nitrato, o que justifica a maior quantidade de nitrogênio total acumulada na parte aérea de milho.

Em ambos os tratamentos, com e sem nitrapirina, os maiores acúmulos de nitrogênio na parte aérea das plantas ocorreram com a aplicação N 50% NO₃⁻ + 50% NH₄⁺. Evidenciando os efeitos benéficos da utilização dessas duas formas de N simultaneamente na adubação do milho.

4. CONCLUSÃO

É possível utilizar ureia NBPT em substituição a ureia comum, como estratégia para reduzir a perda de N por volatilização e assim aumentar a eficiência da adubação. Os melhores resultados de ureia NBPT é atingida quando o pH do solo é mais elevado, pois solos com pH acima de 7, há uma tendência maior na formação de NH_3^+ , que em condições naturais, é um gás volátil. Com o trabalho de Silva et. al. 2011, é possível observar que a diferença entre ureia comum e ureia NBPT ocorreu quando se aumentou as doses do fertilizantes aplicado, isso mostra como que o aumento de N aplicado favorece a volatilização do N proveniente da ureia comum.

A escolha entre utilizar a ureia comum e ureia NBPT deve ser feita observando se há a presença dos fatores favoráveis a volatilização do N (altas doses de N aplicada, temperaturas altas, média umidade do solo, solos arenosos e época de aplicação), e se é economicamente viável.

A incorporação da ureia comum ao solo propicia maior rendimento de grãos de milho e maior lucratividade do que a ureia revestida com polímero aplicada em superfície. Se a opção for fazer a adubação de nitrogênio em cobertura, a ureia revestida por polímeros pode ser uma alternativa, desde que a dose de N não seja reduzida.

O sulfato de amônio aparenta ser uma melhor opção de fornecimento de N para a cultura do milho do que a ureia, quando se busca maiores produtividades de grãos, com a aplicação em cobertura ou incorporado. Este fato ocorre não apenas pela volatilização desprezível do N proveniente do sulfato de amônio, mas também devido a presença do enxofre na forma de sulfato, que por ser um ânion, pode ligar-se ao cálcio, e os dois nutrientes ficarem disponíveis em maior profundidade no solo, o que é favorável para um melhor desenvolvimento radicular da cultura, e um sistema radicular melhor desenvolvido, proverá à planta maior resistência ao estresse hídrico e maior acesso a nutrientes.

O nitrato de amônio pode ser uma opção ao uso da ureia como fonte de N em cobertura para a cultura do milho, tanto pela quantidade desprezível de N volatilizado (garantindo assim maior fornecimento do nutriente), quanto pela interação entre duas fontes de N, nítrico e amoniacal, onde a absorção gera uma menor acidificação do solo, favorecimento a absorção de outros nutrientes (cátions e ânions) e utilização

gradual do N (visto que o nitrato poder ser armazenado no vacúolo e utilizado posteriormente).

Embora a aplicação da nitrapirina não tenha afetado o rendimento de matéria seca da parte aérea das plantas de milho, independente da fonte de nitrogênio suprida às plantas (MAÇAS, 2008), a nitrapirina pode ser um aliado para a redução da lixiviação de nitrogênio nos solos, gerando maior absorção de nitrogênio pelas plantas de milho, pois ela atua inibindo o processo de nitrificação, conseqüentemente, menor formação de nitrato, podendo ser favorável para evitar perdas de N por lixiviação, principalmente em solos arenosos.

REFERÊNCIAS

- ADFERT, **Perguntas frequentes uremax NBPT: mecanismos de inibição do uremax NBPT.** [S. l.], 12 abr. 2020. Disponível em: <http://www.adfert.com.br/duvidas-frequentes/perguntas-frequentes-uremax-nbpt/>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- AGROLINK. **Cotações.** Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/cotacoes/>. Acesso em: 24 ago. 2010.
- ALI, A.; TUCKER, T. C.; THOMPSON, T. L. SALIM, M. Effects of Salinity and Mixed Ammonium and Nitrate Nutrition on the Growth and Nitrogen Utilization of Barley. **Journal of Agronomy and Crop Science.** Blackwells Wissenschafts – Verlag, Alemanha, v. 186, p.223-228, 2001.
- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOUREIRO, J. E. Milho. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:241-248, 2002.
- AMLINGER, F.; GOTZ, B.; DREHER, P.; GESZTI, J. & WEISSTEINER, C. Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilization and availability: A review. **European Journal of Soil Biology**, 39:107-116, 2003.
- ANDRADE, S.R.M.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIM, P.R.; CAMBRAIA, J. **Assimilação do nitrogênio pelas plantas de Panicum maximum, cv. Vencedor, submetidas a diferentes proporções NH₄⁺/NO₃⁻.** [Goiás] : Embrapa Cerrados, 2001. p. 1-20, 2001. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 13).
- ARAÚJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.4, p.771-777, ago. 2004.
- ARRUDA, M. R. **imobilização do nitrogênio do sulfato de amônio e da uréia aplicados em pré-semeadura e cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto.** Orientador: Prof. Dr. Waldo A.R. Lara Cabezas. 2002. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG, 2002.
- BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; PAVINATO, P.S. & SILVEIRA, M.J. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. **Ciência Rural**, 34:1773-1778, 2004.

BLAYLOCK, A. **O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada.** *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 120, p. 8-10, dez. 2007.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulation of nitrogen absorption and assimilation in plants. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, p. 365-372, 2000.

BRIONES, A.M. Jr.; OKABE, S.; UMEMIYA, Y.; RAMSING, N.B.; REICHARDT, W.; OKUYAMA, H. **Ammonia-oxidizing bacteria on root biofilms and their possible contribution to N use efficiency of different rice cultivars.** *Plant and Soil*, Kluwer Academic, Netherlands, v.250, p.335-348, 2003

BRITTO, D.T.; KRONZUCKER, H.J. NH₄⁺ toxicity in higher plants, a critical review. *Journal of Plant Physiology*, Toronto, Canada, v.159, p.567-584, 2002.

BROADBENT, F.E. & TYLER, K.B. **Effect of pH on nitrogen immobilization in two Californian soils.** *Plant Soil*, 23:314-322, 1965.

BURGESS, M.S.; MEHUYS, G.R. & MADRAMOOTOO, C.A. Nitrogen dynamics of decomposing corn residue components under three tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*. 66:1.350-1.358, 2002.

CABEZAS, W. A. R. L. *et al.* 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*, [s. l.], ed. 31, p. 739-752, 2007.

CAMPBELL, C. A.; ZENTNER, R. P.; SELLES, F.; AKINREMI, O. O. Nitrate leaching as influenced by fertilization in the Brown soil zone. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v. 73, n. 4, p. 387-397, 1993.

CANCELLIER, E.L., SILVA, D.R.G., FAQUIN, V., GONÇALVES, B.D.A., CANCELLIER, L.L., SPEHAR, C.R., 2016. Ammonia volatilization from enhanced-efficiency urea on no-till maize in Brazilian cerrado with improved soil fertility. *Ciência e Agrotecnologia* 40, 133-144.

CANTARELA, H. **Nitrogênio.** In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ-VENEGAS, 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. p.375-470.

CANTARELLA, H. Efficient use of N in new fertilizer products. In: NITROGEN CONFERENCE, 4., Costa do Saúipe, 2004. *Anais...* Costa do Saúipe, 2007a. p.44.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo. Viçosa**: SBCS, 2007. p. 375-470.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A.P. & ANDRADE, C.A. Manejo de nitrogênio e de matéria orgânica em milho no sistema plantio direto. In: FANCELLI, A.L. & DOURADO NETO, D., eds. **Milho: Tecnologia & produção**. Piracicaba, USP/ ESALQ/DPV, 2005. p.59-82.

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 volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, n.4, p.397-401, July/Aug. 2008

CHRISTY, CM., 1976. **Nitrification inhibitors**. **Soils and Crops**, 4(7). IFA - International Fertilizer Industry Association. IFA database. <<http://www.fertilizer.org/>>. 08 fev. 2020.

CIVARDI, E. A. et al. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, Mar. 2011

COELHO, A.M. **Balço de nitrogênio (15 N) na cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho-Escuro fase cerrado**. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1987. 142p. (Tese de Mestrado).

CORREA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Risk of nitrate leaching from two soils amended with biosolids. **Water Resources**, v. 33, n. 4, p. 453-462, 2006

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

DUAN, Y. H.; ZHANG, Y. L.; YE, L. T.; FAN, X. R.; XU, G. H.; SHEN, Q. R. Responses of Rice Cultivars with Different Nitrogen Use Efficiency to Partial Nitrate Nutrition. **Annals of Botany**. UK, vol.99, p.1153-1160, 2007.

DUAN, Y.H.; ZHANG, Y.L.; SHEN, Q.R.; WANG, S.W. **Nitrate effect on rice growth and nitrogen absorption and assimilation at different growth stages**. Pedosphere, China, vol.16, p.707-717, 2006.

DYNIA, J. F. Nitrate retention and leaching in variable charge soils of a watershed in São Paulo State, Brazil. **Communications Soil Science in Plant Analysis**, New York, v. 31, n. 5/6, p. 777-791, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Fixação biológica de nitrogênio**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-fixacao-biologica-de-nitrogenio/nota-tecnica>>. Acesso em: 02 fev. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspective**. 2ed. Sunderland : Sinauer Associates, 2005, 400p.

ERISMAN, J. W.; SUTTON, M. A.; GALLOWAY, J.; KLIMONT, Z.; WINIWARTER, W. How a century of ammonia synthesis changed the world. **Nature Geoscience**, n. 1, p. 636-639, 2008.

ERNANI, P.R.; BAYER, C. & STECKLING, C. Características químicas de solo e rendimento de matéria seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:939-946, 2001.

ERNEST, J.W. & MASSEY, H.F. The effects of several factors on volatilization of ammonia formed from urea in the soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, 24:87-90, 1960.

EVANS, C. E.; KAMPRATH, E. J. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 34, p. 893-896, 1970.

FERTIMAN, **A proteção programada do nitrogênio**. [S. l.], 12 abr. 2020. Disponível em: <http://fertiman.com.br/produtos/linha-n/>. Acesso em: 12 abr. 2020.

FENG Z.Z. et al. Soil N and salinity leaching after the autumn irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District, China. **Agricultural Water Management**. v.71, p.131-143, 2005.

Fornasieri Filho, D. **A cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1992. 273 p.

FRANCIS, D.D.; DORAN, J.W.; LOHRY, R.D. Immobilization and uptake of nitrogen applied to corn as starter fertilizer. **Soil Science Society of America Journal** v.57, p.1023-1026, 1993.

GOES, RENATO JAQUETO *et al.* Nitrogênio em cobertura para o milho (zea mays l.) em sistema plantio direto na safrinha. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [s. l.], v. 11, ed. 2, p. 169-177, 2012.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos biogeoquímicos, fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 50 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18).

GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R. Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. **Global Science and Technology**, v.6, p.31-37, 2013.

GUELFY, Douglas et al. **Informações Agronômicas**. In: Fertilizantes Nitrogenados Estabilizados, de Liberação Lenta ou Controlada. 157. ed. [S. l.]: IPNI, 2017. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/90DE38570A7216CB832580FB0066E3B4/\\$FILE/Jornal-157.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/90DE38570A7216CB832580FB0066E3B4/$FILE/Jornal-157.pdf). Acesso em: 12 abr. 2020.

GUO, S. **The effects of N form (ammonium versus nitrate) on growth, photosynthesis and water uptake of Phaseolus vulgaris L.** Plants. PhD Thesis, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 2001.

HIGASHIKAWA, F.S.; SILVA, C.A. & BETTIOL, W. Chemical and physical properties of organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:1743-1752, 2010.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. Circular Técnica n. 35

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; SUHET, A.R.; PERES, J.R.R. Fixação biológica do nitrogênio na soja. In: ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M. (Eds.). **Microorganismos de importância agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p.9-89.

IFA - International Fertilizer Industry Association. IFA **database**. <<http://www.fertilizer.org/>>. 08 fev. 2020.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Cambridge University Press, 2013.

JADOSKI, S. O.; SAITO, L. R.; PRADO, C.; LOPES, E. C.; SALES, L. L. S. R. Características da lixiviação de nitrato em áreas de agricultura intensiva. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v3, n. 1, p. 193-200, 2010.

JAHNS, t.; EVEN, H.; Kaltwasser, H. Biodegradability of urea-aldehyde condensation products. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 11, n. 4, p. 155-159, 2003.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bigeoquímicos, fertilizantes e corretivos**. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2000. 50 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18).

JANSSON, S.L.; HALLAM, M.J. & BARTHOLOMEW, W.V. Preferential utilization of ammonium over nitrate by micro-organisms in the decomposition of oat straw. **Plant Soil**, 6:382-390, 1955.

KEERTHISINGHE, D.G.; BLAKELEY, R.L. Inhibition of jack bean urease by phosphoric- and thiophosphoric triamides. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.27, n.6, p.739-742, June 1995.

KIRK, G.J.D.; KRONZUKER, H.J. The potential for nitrification and nitrate uptake in the rhizosphere of wetland plants: a modelling study. **Annals of Botany**. UK, v.96, p.639-646, 2005.

KLIMASHEVSKII, E. L.; MARKOVA, Y. A.; BERNATZKAYA, M. L.; MALYSHEVA, A. S. Physiological responses to aluminium toxicity in root zone of pea varieties. **Agrochimica**, v. 26, p. 487-496, 1972.

KLIMASHEVSKII, E. L.; MARKOVA, Y. A.; SEREGINA, M. L.; GRODZINSKII, D. M.; KOZARENKO, T. D. Specifics of the physiological activity of pea plants in connection with unequal resistance of different varieties to mobile aluminum. **Soil and Plant Physiology**, v. 17, p. 372-378, 1970.

LANCE, J. C.; PEARSON, R. W. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water nutrient uptake by cotton roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, p. 598, 1969.

LAPEDES, D.N D. McGraw-Hill **Dictionary of scientific and technical terms**. 2 ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1978. 1832p.

LEMOS FILHO, J. P. **Efeito do alumínio sobre os teores de alguns elementos minerais, sobre a fotossíntese e sobre a atividade de certas oxidasas em sorgo (Sorghum bicolor L. Moench)**. 1982. 46 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1982.

LIMA, V. C. et al. **O SOLO NO MEIO AMBIENTE O SOLO NO MEIO AMBIENTE: Abordagem para bordagem para bordagem para Professores do rofessores do Ensino Fundamental e undamental e undamental e Médio e Alunos do lunos do lunos do Ensino Médio**. 1. ed. Curitiba: [s. n.], 2007. 130 p.

LOPES, A.S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L.R.G. & SILVA, C.A. **Sistema plantio direto: Bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo, ANDA, 2004. 115p.

MAÇAS, JOÃO EDUARDO SIMÕES. **Nitrogênio nítrico e amoniaco no desenvolvimento da parte aérea de milho cultivado em argissolo**. 2008. 60 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2008.

MAESTRELO, P. R.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; RODRIGUES, M. A. C.; LINO, A. C. M.; ANDREOTTI, M. Aplicação de ureia revestida em cobertura no milho irrigado sob sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.9, p.192-199, 2014.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 76).

MAGISTAD, O. C. The aluminum content of the soil solution and its relation to soil reaction and plant growth. **Soil Science**, v. 20, p 281-225, 1925.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Editora Ceres, 2006. 631p

MALAVOLTA, E.; MORAES, M. Nitrogênio na agricultura brasileira. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.R.; MELAMED, R; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). **Fertilizantes, agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM MCT, 2009. P. 211-255

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

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**, Amsterdam, v.60, n.3, p.101-122, 2001.

MARTHA JUNIOR, G.B.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L. Recuperação de 15N-ureia no sistema solo-planta de pastagem de capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.95-101, 2009.

MATHIALAGAN, R.; MANSOR, N.; AL-KHATEEB, B.; MOHAMAD, M.H.; SHAMSUDDIN, M.R. **Evaluation of allicin as soil urease inhibitor**. Procedia Engineering, v.184, p.449-459, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.116>.

MELO, L.C.A.; SILVA, C.A. & DIAS, B.O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:101-110, 2008a.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, **Especificações dos fertilizantes minerais simples: anexo i. 1**. [S. l.], 31 maio 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/altera-anexo-i-da-in-46-2016-em-31-05-17-altera-carbonato-de-manganes-e-fosfito-de-cobre.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2020.

MORIMURA, S.; MATSUMOTO, H. Effect of aluminum on some properties and template activity of purified pea DNA. **Plant Cell Physiology**, v. 19, p. 429-436, 1978.

NEUMANN, M.; SNDINI, I. E.; LUSTOSA, S. B. C.; OST, P. R.; ROMANO, M. A.; FALBO, M. K.; PANSEIRA, E. R. Rendimentos e componentes de produção da planta de milho (*Zea mays* L.) para silagem, em função de níveis de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, p. 418-427, 2005.

O'DONOVAN, J.T.; CLAYTON, G.W.; GRANT, C.A.; HARKER, K.N.; KELLY, T.T.; LUPWAYI, N.Z. Effect of nitrogen rate and placement and seeding rate on barley productivity and wild oat fecundity in a zero tillage system. **Crop Science**, Madison, v.48, n.4, p.1569-1574, 2008.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 171-180, jan./mar. 2001.

PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1685-1694, 2009.

PORT, O.; AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 38:857-865, 2003.

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A. G. da.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de coastcross adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.3, p.683-690, 2006.

RECOUS, S.; FRENEAU, C.; FAURIE, G. & MARY, B. The fate of labelled ^{15}N urea and ammonium nitrate applied to a winter wheat crop. I Nitrogen transformations in soil. **Plant Soil**, 112:205-214, 1988.

REIS JÚNIOR, R. A. Kimcoat N - Uma nova ferramenta para a otimização do uso de fertilizantes. **Informações Agronômicas**, n.117, p.13-14. 2007.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.

ROCHETTE, P.; MacDONALD, J.D.; ANGERS, D.; CHANTINI, M.H.; GASSER, M. & BERTRAND, N. **Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil**. J. Environ. Qual., 38:1383-1390, 2009b.

ROZAS, H. S. et al. No-till maize nitrogen uptake and yield: effect of urease inhibitor and application time. *Agronomy Journal*, Madison, v. 91, n. 6, p. 950-955, 1999. VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p.

RUSER, R.; SCHULZ, R. The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N_2O) release from agricultural soils - a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 178, p. 171-188, 2015. EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspective**. 2ed. Sunderland : Sinauer Associates, 2005, 400p.

SANZ-COBENA, A.; MISSELBROOK, T.H.; ARCE, A.; MINGOT, J.I.; DIEZ, J.A.; VALLEJO, A. An inhibitor of urease activity effectively reduces ammonia emissions from soil treated with urea under Mediterranean conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v.126, n.3, p.243-249, July 2008.

SEXTON, B.T.; MONCRIEF, J.F.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C. & CHENG, H.H. **Optimizing nitrogen and irrigation inputs for corn based on nitrate leaching and yield on a coarse-textured soil**. J. Environ. Quality, 25:983-992, 1996

SILVA, Douglas Ramos Guelfi et al . Productivity and efficiency of nitrogen fertilization in maize under different levels of urea and NBPT-treated urea. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras , v. 35, n. 3, p. 516-523, June 2011 . Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542011000300012&lng=en&nrm=iso>. access on 04 Apr. 2020.

SIMS, J.T. **Nitrogen mineralization and elemental availability in soils amended with composted sewage sludge**. J. Environ. Qual., 19:669-675, 1990.

SNYDER, C. S.; BRUULSEMA, T. W.; JENSEN, T. L. **Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influence of fertilizer management: a literature review**. Norcross, Ga: international Plant Nutrition institute, 2007.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 3, p. 395-405, 2006.

SOUZA, J. A.; BUZETTI, S.; TEIXERA FILHO, M. C. M.; ANDEOTTI, M.; SÁ, M. E.; ARF, O. Adubação nitrogenada na cultura do milho safrinha irrigado em plantio direto. *Bragantia*, Campinas, v. 70, p. 447-454, 2011

SOUZA, Julio Seabra Inglez *et al.* **Enciclopédia agrícola brasileira**. [S. l.]: São Paulo: EDUSP, 1995. 499 p. v. 1

SOUZA, S.R.; FERNANDES, M.S. IX - Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. (Ed.) *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa : **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2006. p.215-252

SUBEDI, K. D.; MA, B. L. Assessment of some major yield-limiting factors on maize production in a humid temperate environment. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 110, n. 1, p. 21-26, 2009.

TAIZ, L ;ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre : Artmed, 2004. 719p.

TASCA, Francis Alex. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de urease. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, 2011.

THOMAS, A.L.; SODEK, L. Development of the nodulated soybean plant after flooding of the root system with different sources of nitrogen. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 3, p.291-297, 2005.

TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, R.; AASEY, P.; MUSTER, T.; GILL, H.; ADHI-KARI, B. Enhanced efficiency fertilizers: a review of formulation and nutrient release patterns. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 1131- 1142, 2014.

TISDALE, L.; NELSON, N.L.; BEATON, J.D. ; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizer : An introduction to nutrient management**. 7ed. New Jersey : Pearson Prentice Hall, 2005. 515p.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, 1.0. **Soil fertility and fertilizers**. 4 ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1984. p. 112-188 754p.

TRENKEL, M.E. **Improving fertilizer use efficiency**: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. Paris: International Fertilizer Industry Association, 1997. 151p.

VAN ES, H.M.; SOGBEDJI, J.M.; SCHINDELBECK, R.R. Effect of manure application timing, crop, and soil type on nitrate leaching. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 35, n. 2, p. 670-679, 2006.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 163 p.

VITOUSEK, P. M. The effects of deforestation on air, soil, and water. In: BOLIN, B.; COOK, R. B. (Eds.). **The major biogeochemical cycles and their interactions**. Chichester: Wiley, 1983. p. 223-245.

VITTI, G.C.; TAVARES Jr, J.R.; LUZ, P.H.C.; FAVARIN, J.L. & COSTA, C.G. Influência da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:663-671, 2002.

von WIREN, N.; LAUTER, F.R.; NINNEMANN, O.; GILLISEN, B.; WALCH-LIU, P.; ENGELS, C; et al. Differential regulation of three functional ammonium transporter genes by nitrogen in root hairs and by light in leaves of tomato. **Plant Journal, Bios Scientific Publishers & Blackwell Scientific**, GB, v.21, p.167-175, 2000.

WALCH-LIU, P.; NEUMANN, G.; ENGELS, C. Response of shoot and root growth to supply of different nitrogen form is not related to carbohydrate and nitrogen status of tobacco plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, Germany, v.164, p.97-103, 2001.