

UFRRJ

**INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

DISSERTAÇÃO

**Bases para Definição de Doses de Ureia em
Experimentos em Casa de Vegetação e Avaliação de
Fertilizantes Nitrogenados com Base na Ureia
Acrescida de Substâncias Húmicas e Zeólita**

Anderson Claiton Ferrari

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**BASES PARA DEFINIÇÃO DE DOSES DE UREIA EM
EXPERIMENTOS EM CASA DE VEGETAÇÃO E AVALIAÇÃO DE
FERTILIZANTES NITROGENADOS COM BASE NA UREIA
ACRESCIDA DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E ZEÓLITA**

ANDERSON CLAITON FERRARI

Sob a Orientação do Professor
Everaldo Zonta

Co-orientação do Professor
José Carlos Polidoro

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Março de 2014

631.841

F375b

T

Ferrari, Anderson Claiton, 1987-

Bases para definição de doses de ureia em experimentos em casa de vegetação e avaliação de fertilizantes nitrogenados com base na ureia acrescida de substâncias húmicas e zeólita / Anderson Claiton Ferrari. – 2014.

63 f.: il.

Orientador: Everaldo Zonta.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2014.

Bibliografia: f. 60-63.

1. Uréia como fertilizante – Teses. 2. Fertilizantes nitrogenados - Teses. 3. Milho – Adubos e fertilizantes – Teses. 4. Substâncias húmicas - Teses. I. Zonta, Everaldo, 1970- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO**

ANDERSON CLAITON FERRARI

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de Concentração em Ciência do Solo.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2014.

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ
(Orientador)

Bruno José Rodrigues Alves. Dr. Embrapa Agrobiologia

Paulo César Teixeira. Dr. Embrapa Solos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a minha família, pois sem seu apoio eu não chegaria até aqui.

Aos amigos, pelo apoio.

À minha namorada Danielle Perez Palermo, meus agradecimentos pela atenção, apoio e carinho em todos os momentos dessa caminhada.

Ao professor e orientador Everaldo Zonta, pelo encaminhamento no desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador e orientador José Carlos Polidoro, pelo apoio técnico concedido.

A Embrapa Solos, pela infraestrutura e materiais disponibilizados.

A UFRRJ, e principalmente ao CPGA-CS.

A CAPES pela concessão da bolsa que permitiram cursar o mestrado.

Agradeço a todos que contribuíram de alguma forma para que esse trabalho fosse concluído.

BIOGRAFIA

Anderson Claiton Ferrari nasceu na cidade de Presidente Castelo Branco – SC, no dia 4 de maio de 1987. Em 2004 concluiu o ensino médio na Escola Agrotécnica Federal de Concórdia. Em 2005 ingressou no curso de graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo em 2011. Em 2012 ingressou no Mestrado no curso de Pós-graduação em Agronomia-Ciência do Solo, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

RESUMO GERAL

FERRARI, Anderson Claiton. **Bases para definição de doses de ureia em experimentos em casa de vegetação e avaliação de fertilizantes nitrogenados com base na ureia acrescida de substâncias húmicas e zeólita.** 2014. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado, contudo, apresenta grandes perdas de nitrogênio através da volatilização de amônia. A aplicação de ureia na cultura do milho pode ocasionar injúrias, principalmente durante o período inicial de desenvolvimento, devido ao efeito salino e a volatilização de amônia. Materiais com elevada CTC e caráter ácido, tem sido relatados na literatura como potenciais redutores de perdas de N via volatilização de amônia. O presente trabalho, tem como objetivo no Capítulo I, avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de ureia calculadas com base na área superficial do vaso, no volume do solo e no número de plantas por vaso, sobre o crescimento inicial do milho até o estágio V8, visando estabelecer um critério para o cálculo de doses de fertilizantes utilizados em casa de vegetação, que sejam equivalentes às aplicadas em campo, permitindo assim estudar os efeitos desta adubação nitrogenada. O Capítulo II objetivou verificar o efeito de redução de perdas de N via NH_3 em decorrência da formulação de fertilizantes contendo substâncias húmicas e zeólita misturados à ureia, bem como, estudar a extração alcalina de substâncias húmicas de turfa, que permita maior rendimento perante menor consumo de extrator. Foram conduzidos dois experimentos de vasos, em casa de vegetação, no Departamento de Solos da UFRRJ, utilizando o híbrido de milho AG1051. Foram realizadas coletas de material vegetal, de solo e amônia volatilizada. No Capítulo I, a maior dose de ureia aplicada, com base no número de plantas, afetou negativamente a germinação e foi responsável por maiores perdas por volatilização. Para o desenvolvimento até V8, a maior quantidade de ureia, obtida considerando o número de plantas e a maior dose de 50 kg N ha^{-1} , proporcionou as maiores perdas de N via volatilização de amônia, mas foi suficiente para fornecer nitrogênio para as plantas. No Capítulo II, as formulações não diferiram entre si quanto à perda de N por volatilização de amônia, cabendo às maiores doses aplicadas a maior influência sobre a perda de N, bem como sobre os demais parâmetros avaliados. Houve tendência de menor perda acumulada por volatilização de N, para as formulações que apresentam em sua composição substâncias húmicas e zeólita. Apesar de reduzidas perdas de N por volatilização, as doses de fertilizante obtidas, considerando a área de solo exposto, não foram suficientes para garantir bom potencial produtivo à cultura, de acordo com a medição indireta de clorofila.

Palavras-chave: Ureia. Amônia. Substâncias húmicas.

GENERAL ABSTRACT

FERRARI, Anderson Claiton. **Basis for definition of urea doses in greenhouse experiments and evaluation of nitrogen fertilizers based on urea added humic substances and zeolite.** 2014. 63p. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

Urea is the most widely used nitrogen fertilizer; however, it has major nitrogen losses through ammonia volatilization. The application of urea in maize can cause injuries, especially during the initial period of development due to the salt effect and volatilization of ammonia. Materials with high CTC and acid character, has been reported in the literature as potential for reducing N loss through ammonia volatilization. This work aims in Chapter I, to evaluate and compare the effects of different doses of urea calculated based on the surface area of the pot, on the soil volume and the number of plants per pot, on the initial growth of maize to the V8 stage, to establish a criterion for calculating fertilizer rates used in the greenhouse, which are equivalent to those applied in the field, thus enabling to study the effects of nitrogen fertilization. Chapter II aimed to verify the loss reduction effect of N NH₃ through fertilizer formulation containing humic substances and zeolite mixed with urea, as well as studying the alkaline extraction of humic peat, which enables higher performance with lower consumption extractor. Two experiments were conducted in pots in a greenhouse, in the Department of Soil Science, UFRRJ, using the maize hybrid AG1051. Collections of plant material, soil and volatilized ammonia were performed. In Chapter I, the largest urea dose applied, based on the number of plants, negatively affected the germination and was responsible for major losses by volatilization. For development up to V8, the largest amount of urea, obtained by taking the number of plants and the highest dose of 50 kg N ha⁻¹ led to higher losses via volatilization, but it was sufficient to provide nitrogen for the plant. In Chapter II, the formulations did not differ with respect to loss by volatilization of ammonia, leaving it to the higher doses applied the greatest influence on the loss of N and on other parameters. There was a trend of lower accumulated loss by volatilization of N, for formulations which had in their composition humic substances and zeolite. Although it reduced losses by volatilization, the obtained fertilizer rates, considering the exposed soil area were not sufficient to ensure a good potential yield for the crop, according to the indirect measurement of chlorophyll.

Keywords: Urea. Ammonia. Humic substances

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização química do solo utilizado no experimento.....	15
Tabela 2 - Detalhamento dos tratamentos aplicados no experimento, em V6 (seis folhas completamente expandidas).....	19
Tabela 3 – Análise de variância do nitrogênio volatilizado total (VolTot), teores de nitrogênio no solo (NS), raiz (NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI), e nitrogênio acumulado na raiz (NAR), parte aérea (NAPA) e folha indicadora (NAFI), em resposta a aplicação de N-ureia de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Forma de aplicação”.....	26
Tabela 4 – Médias de nitrogênio volatilizado total (kg N ha^{-1}) em resposta a quantidades de ureia aplicada em função da interação entre os níveis dos fatores Dose e Forma de cálculo.....	26
Tabela 5 – Médias de teor de nitrogênio (g kg^{-1}) na raiz (NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI) em função dos fatores Dose e Forma de cálculo.....	28
Tabela 6 – Nitrogênio total acumulado na raiz (NAR), parte aérea (NAPA) e folha indicadora (NAFI) em função dos fatores Dose e Forma de cálculo.....	28
Tabela 7 – Análise de variância de valores de massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) de duas plantas de milho em resposta a aplicação de N-ureia de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Forma de aplicação”.....	29
Tabela 8 – Massa seca (g) de parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) de duas plantas de milho em função de Dose.....	29
Tabela 9 – Análise variância de valores de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), clorofila extraível em acetona 80% para clorofila a (CEA), b (CEB) e total (CET) e clorofila total de acordo com Arnon (1948), (CtAr), mensurados em plantas de milho no estágio V8, em resposta a aplicação de ureia de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Forma de aplicação”.....	30
Tabela 10 – Médias de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), mensurados em plantas de milho no estágio V8, em função da aplicação de ureia de acordo com o fatorial Dose x Forma de cálculo x Forma de aplicação.....	31
Tabela 11 – Clorofila extraível em acetona 80% para clorofila a (CEa), b (CEb) e total (CEt) e clorofila total de acordo com Arnon, 1948, (CtAr), mensurados em plantas de milho no estágio V8, em função dos fatores Forma de cálculo x Dose (valores de clorofila expressos em mg L^{-1}).....	32
Tabela 12 – Clorofila extraível em acetona 80% para clorofila a (CEa), b (CEb) e total (CEt) e clorofila total de acordo com Arnon, 1948, (CtAr), mensurados em plantas de milho no estágio V8, em função da forma de aplicação dos tratamentos (valores de clorofila expressos em mg L^{-1}).....	32
Tabela 13 – Descrição dos tratamentos utilizados nos testes de extração e fracionamento de substâncias húmicas utilizando o extrator hidróxido de potássio (KOH).....	42
Tabela 14 – Identificação, composição e percentual de nitrogênio dos fertilizantes formulados utilizados no experimento em casa de vegetação.....	44
Tabela 15 – Caracterização química do solo utilizado no experimento.....	46
Tabela 16 – Detalhamento dos tratamentos, dose de referência em kg N ha^{-1} , composição, teor de nitrogênio e dose aplicada em cada unidade experimental.....	47
Tabela 17 – Rendimento das frações húmica, ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF) obtidas de turfa, por extração alcalina em função da razão turfa/extrator (m/v).....	48
Tabela 18 – Rendimento das frações húmica, ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF) obtidas de turfa por extração alcalina em função da concentração da solução extratora de KOH.....	48

Tabela 19 – Análise de variância do rendimento de ácido húmico (AH) com diferentes razões e concentrações para extração alcalina com solução de hidróxido de potássio (KOH).	49
Tabela 20 – Rendimento de AH extraído de turfa, em função de diferentes razões turfa/solução extratora e concentrações de solução de hidróxido de potássio (KOH). 49	
Tabela 21 – Análise de variância da perda de nitrogênio por volatilização de amônia até 24 dias após a aplicação dos fertilizantes formulados e perda total acumulada, em decorrência dos fatores formulação e dose.	50
Tabela 22 – Perda de nitrogênio (kg N ha^{-1}) por volatilização de amônia para o 1° e 12° dia após a aplicação (DAA), e o total perdido em função da aplicação de diferentes formulações e doses.	51
Tabela 23 – Perda de nitrogênio (kg N ha^{-1}) por volatilização de amônia em função da aplicação de doses de nitrogênio (kg N ha^{-1}) através de diferentes formulações, mensuradas para o 2°, 3°, 4°, 5° e 6° dia após a aplicação.	51
Tabela 24 – Perda de nitrogênio (kg N ha^{-1}) por volatilização de amônia para o 2°, 3°, 6° e 24° dia após aplicação de diferentes formulações de fertilizantes.	51
Tabela 25 – Análise de variância de massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) de duas plantas de milho.	53
Tabela 26 – Massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) de duas plantas de milho, em função das formulações testadas.	54
Tabela 27 – Massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) em função de doses de nitrogênio (kg N ha^{-1}) aplicadas através das formulações.	54
Tabela 28 – Análise de variância dos valores de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), em função dos fatores formulação e dose, mensurados na porção média da última folha expandida em plantas de milho no estágio V9	55
Tabela 29 – Médias de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), em função dos formulações, mensurados na porção média da última folha expandida em plantas de milho no estágio V9	55
Tabela 30 – Valores de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), em função de doses (kg N ha^{-1}), mensurados na porção média da última folha expandida em plantas de milho no estágio V9	55
Tabela 31 – Análise de variância dos teores de nitrogênio na massa seca de raiz (NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI), em função dos fatores Formulação e Dose.	56
Tabela 32 – Teores de N (g kg^{-1}) de massa seca de raiz (NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI) em função de doses aplicadas.	56
Tabela 33 – Análise de variância de valores de nitrogênio acumulado na raiz (N Ac. R), parte aérea (N Ac. PA), folha indicadora (N Ac. FI) e planta inteira (N Ac. Total), em função dos fatores Formulação e Dose.	56
Tabela 34 – Nitrogênio acumulado (em gramas/vaso) na raiz (N Ac. R), parte aérea (N Ac. PA), folha indicadora (N Ac. FI) e planta inteira (N Ac. Total), em função dos tratamentos (formulações).	57
Tabela 35 – Médias dos valores de nitrogênio acumulado (em gramas/vaso) na raiz (N Ac. R), parte aérea (N Ac. PA), folha indicadora (N Ac. FI) e planta inteira (N Ac. Total), em função de doses aplicadas.	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Demanda mundial de nitrogênio (N), fósforo (P ₂ O ₅) e potássio (K ₂ O), no ano de 2012, com previsão para a demanda até 2016 (FAO, 2011).	6
Figura 2 – Demanda de fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas) projetada em termos global e regional (FAO, 2011).	7
Figura 3 – Projeção para a máxima capacidade de fornecimento, demanda total e de N fertilizante e balanço potencial (em milhões de toneladas) para as Américas, no período compreendido entre os anos de 2012 a 2016 (FAO, 2011).	7
Figura 4 – Consumo mundial de fertilizantes por país, no ano de 2010 (Lupinacci, 2012).	8
Figura 5 – Consumo mundial de nitrogênio, fosforo e potássio, por país em milhões de toneladas no ano de 2010 (adaptado de Lupinacci, 2012).	8
Figura 6 – Formato e dimensões do vaso com capacidade de 7 litros utilizado no experimento.	16
Figura 7 – Esquema da disposição dos componentes de cada unidade experimental, com o coletor SALE instalado. Cada unidade experimental apresenta diâmetro interno (DI) de 24,5 cm, em que: 1 – linha de semeadura com extensão de 24,5 cm e profundidade de 3 cm; 2 – linha de aplicação de fertilizante com extensão de 23 cm e profundidade de 5 cm; 3 – limite ocupado pelo coletor SALE, que apresenta raio igual a 5,25 cm; 4 – afastamento de 4 cm entre as linhas de aplicação de fertilizante e de semeadura; e 5 – limite interno do vaso de cultivo.	16
Figura 8 – (A) detalhe da aplicação de ureia no fundo do sulco, em profundidade de 5 cm, e (B) detalhe da disposição das sementes em sulco com profundidade de 3 cm.	17
Figura 9 – Valores de temperatura máxima, mínima e média mensurados internamente à casa de vegetação no período de 31/03/2013 a 07/04/2013, em dias após a semeadura (DAS).	17
Figura 10 – Valores de umidade relativa máxima, mínima e média mensurados internamente à casa de vegetação no período de 31/03/2013 a 07/04/2013, em dias após a semeadura (DAS).	18
Figura 11 – Detalhe do coletor SALE instalado na unidade experimental.	18
Figura 12 – Variação da temperatura interna da casa de vegetação até 47 dias após semeadura (DAS), compreendido no período de 31/03/2013 à 17/05/2013.	20
Figura 13 – Variação da umidade relativa interna da casa de vegetação até 47 dias após semeadura (DAS), compreendido no período de 31/03/2013 à 17/05/2013.	20
Figura 14 – Condutividade elétrica do solo em resposta as diferentes doses ¹ de ureia aplicadas na ocasião da semeadura.	22
Figura 15 - Germinação das sementes de milho em decorrência da aplicação dos tratamentos ¹	23
Figura 16 - Perdas diárias de nitrogênio pela volatilização de NH ₃ proveniente da ureia aplicada em função dos tratamentos ¹	24
Figura 17 - Perda total de nitrogênio (mg vaso ⁻¹) devido à volatilização de NH ₃	24
Figura 18 - Altura de inserção da primeira folha (AIF), e altura total (AT), devido ao efeito dos tratamentos ¹	25
Figura 19 – Perda acumulada de nitrogênio por volatilização de amônia (em kg N ha ⁻¹), decorrentes da aplicação de quantidades de ureia obtidas de acordo com os fatores Forma de cálculo e Dose. Valores em percentual acima das colunas, representam a perda relativa à dose aplicada.	27
Figura 20 – Detalhe dos fertilizantes utilizados no experimento. 1 – N-Ureia; 2 – N-Ureia + Zeólita (20%); 3 – N-Ureia + Ácido Húmico (15%); 4 – N-Ureia + Ácido Húmico (5%) + Zeólita (15%); 5 – N-Ureia + Ácido Fúlvico; 6 – N-Ureia + Extrato Alcalino	

(pH \approx 5,5); **7** – N-Ureia + Zeólita (20%) + Extrato Alcalino (pH \approx 5,5); **8** – N-Ureia + Turfa (15%). 45

Figura 21 - Perda acumulada de nitrogênio via volatilização de amônia (kg N ha⁻¹) até 24 dias após a aplicação das formulações, em que: C (controle); U (ureia); UAF (ureia + ácido fúlvico); UAH (ureia + ácido húmico 15%); UAHZ (ureia + ácido húmico 5% + zeólita 15%); UEA (ureia + extrato alcalino em pH \approx 5,5); UT (ureia + turfa); UZ (ureia + zeolita 20%) e UZEA (ureia + zeolita 20% + extrato alcalino em pH \approx 5,5).52

Figura 22 – Perda total de nitrogênio (kg N ha⁻¹) por volatilização de amônia em um período de 24 dias, em função da aplicação de diferentes doses das formulações U (ureia); UAF (ureia + ácido fúlvico); UAH (ureia + ácido húmico 15%); UAHZ (ureia + ácido húmico 5% + zeólita 15%); UEA (ureia + extrato alcalino em pH \approx 5,5); UT (ureia + turfa); UZ (ureia + zeolita 20%) e UZEA (ureia + zeolita 20% + extrato alcalino em pH \approx 5,5). Os valores acima das counas indicam as perdas percentuais em relação a dose aplicada..... 53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1	Milho.....	2
2.2	Importância do Nitrogênio para as Plantas	2
2.3	Fertilizantes Nitrogenados	3
2.4	Perdas de Nitrogênio.....	4
2.5	Tecnologias Agregadas à Fertilizantes Nitrogenados.....	5
2.6	Cenário Nacional e Internacional dos Fertilizantes com Ênfase em Fertilizantes Nitrogenados	5
3	CAPÍTULO I: BASES PARA A DEFINIÇÃO DE DOSES DE UREIA PARA ENSAIOS EM CASA DE VEGETAÇÃO	9
3.1	RESUMO	10
3.2	ABSTRACT.....	11
3.3	INTRODUÇÃO	12
3.4	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.5	MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.5.1	Avaliação do crescimento inicial	15
3.5.2	Crescimento do milho até o estágio vegetativo 8 (V8).....	19
3.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.6.1	Avaliação do crescimento inicial	22
3.6.2	Crescimento do milho até o estágio vegetativo 8 (V8).....	25
3.7	CONCLUSÕES	33
4	CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS COM BASE NA UREIA ACRESIDA DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E ZEÓLITA	34
4.1	RESUMO.....	35
4.2	ABSTRACT.....	36
4.3	INTRODUÇÃO	37
4.4	REVISÃO DE LITERATURA	38
4.4.1	Substâncias húmicas.....	38
4.4.2	Efeitos das substâncias húmicas.....	39
4.4.3	Extração e fracionamento de substancias húmicas	40
4.4.4	Zeólitas	40
4.4.5	Efeitos de zeólitas na redução da volatilização de amônia	41
4.5	MATERIAIS E MÉTODOS	42
4.5.1	Extração e fracionamento de substancias húmicas	42
4.5.2	Formulação dos fertilizantes nitrogenados.....	43
4.5.3	Teste de desempenho agrônômico	45
4.6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.6.1	Extração e fracionamento de substancias húmicas	48

4.6.2	Teste de desempenho agronômico	49
4.7	CONCLUSÕES	58
5	CONCLUSÕES GERAIS	59
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO GERAL

O sistema produtivo vigente preconiza grande adição de insumos, que ocorre devido à grande demanda impulsionada pelo crescimento populacional, que exige, em termos globais, alimentos em quantidade e qualidade.

É necessário focar no uso racional de insumos, para que a produção de alimentos ocorra de forma mais eficiente, e com menor impacto sobre os recursos naturais. Entre os insumos, merecem destaque os fertilizantes nitrogenados que, são indispensáveis para a obtenção de boas produtividades, e normalmente representam uma fração significativa dos custos de produção.

O aumento da eficiência e do aproveitamento dos nutrientes pode ser obtido pela adição de aditivos à formulação destes fertilizantes, que minimizem as transformações do nutriente para formas pouco estáveis, mais sujeitas a perdas.

Além da redução de custos, a produção de fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada objetiva a redução de impactos ambientais.

O presente documento está organizado na forma de capítulos.

No Capítulo 1, intitulado “Bases para a Definição de Doses de Ureia para Ensaio em Casa de Vegetação”, são abordados aspectos relevantes à forma de obtenção de doses equivalentes às praticadas a campo, para estudos com fertilizantes em condição de casa de vegetação.

No Capítulo 2, intitulado “Avaliação de Fertilizantes Nitrogenados com Base na Ureia Acrescida de Substâncias Húmicas e Zeólita”, estão apresentados estudos acerca da extração de ácido húmicos, produção de fertilizantes e teste de desempenho agrônômico dos mesmos, em ambiente de casa de vegetação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Milho

A safra brasileira de milho referente ao ano de 2013 atingiu 81.344,4 mil toneladas que representa um aumento de 11,5% com relação ao ano anterior, sendo a atual safra um recorde de produção (Conab, 2013).

A cotação do milho depende principalmente do valor do dólar, e da produção obtida pelos EUA, que detém a maior produção mundial do cereal. Na atual safra, os EUA, apesar de problemas enfrentados devido à estiagem, projetam um aumento na produção, o que conduz à queda do preço do milho (Conab, 2013). Ainda de acordo com a Conab (2013), a exportação brasileira de milho deve finalizar a safra atual com 17,5 milhões de toneladas, o que garante um volume confortável de milho disponível para fevereiro de 2014, período em que se espera a prática de preços abaixo do registrado no mesmo período de 2013.

A produção nacional de milho prioriza o consumo interno, para alimentação humana, que utiliza uma parcela do total, em forma de óleo, farinha, amido, margarina, xarope de glicose e flocos para cereais, contudo o principal destino da safra é a produção de ração para alimentação animal (MAPA, 2013).

Projeções realizadas pela Assessoria de Gestão Estratégica do MAPA indicam um aumento de 19,11 milhões de toneladas entre a safra de 2008/2009 e 2019/2020, sendo que o Brasil deverá fazer ajustes para garantir o abastecimento interno e obter o excedente para exportação, estimado em 12,6 milhões de toneladas, podendo chegar a 19,2 milhões de toneladas, em 2019/2020 (MAPA, 2013).

O cultivo de milho no Brasil é realizado em diferentes sistemas de produção e em grande extensão territorial, contudo se destacam as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul. O crescimento projetado será obtido por meio de ganhos de produtividade. Enquanto a produção de milho está projetada para crescer 2,67% ao ano nos próximos anos, a área plantada deverá aumentar somente 0,73% (MAPA, 2013).

2.2 Importância do Nitrogênio para as Plantas

O nitrogênio (N) é um importante elemento mineral constituinte de proteínas, ácidos nucléicos e componentes de constituintes celulares dos vegetais. É o elemento mineral requerido em maiores quantidades pelas plantas e o que mais limita o crescimento vegetal. Sua deficiência resulta em clorose uniforme das folhas e redução no crescimento da planta (Fernandes e Souza, 2006).

Ainda que 78% dos gases da atmosfera terrestre sejam constituídos por nitrogênio molecular (N_2) existe baixa disponibilidade deste elemento em formas disponíveis para as plantas, fato que pode ser explicado pela alta estabilidade do N_2 (Fernandes e Souza, 2006).

O maior depósito global de N é a atmosfera, com três quatrilhões de toneladas de nitrogênio (Aduanet al., 2004). O N pode ingressar no sistema solo-planta, por deposições atmosféricas, fixação biológica (simbiótica e associativa), adubações minerais ou orgânicas, e a saída do sistema pode ocorrer por remoção pelas culturas, e por mecanismos como lixiviação e volatilização. O ciclo do N é controlado por fatores físicos, químicos e biológicos e afetado por condições climáticas difíceis de prever e controlar (Cantarella, 2007).

Do ponto de vista agrícola, o N do solo é o mais importante, encontrado predominantemente na forma orgânica (mais de 95% do N total), em compostos com variados graus de recalcitrância, ou em organismos vivos. As formas inorgânicas presentes no solo são compostas principalmente por NO_3^- e NH_4^+ .

De acordo com Cantarella (2007), a ureia é o principal fertilizante sólido em nível mundial, e corresponde a 60 % dos fertilizantes nitrogenados comercializados no Brasil, observando-se uma clara preferência da indústria pela fabricação da ureia em comparação com outras fontes sólidas de nitrogênio, devido principalmente ao menor custo por unidade de N e maior facilidade de produção.

Sob a ótica agrícola, a ureia apresenta vantagens sobre as demais formas de N, como alta solubilidade, menor corrosividade, compatibilidade com um grande número de outros fertilizantes e defensivos e alta taxa de absorção foliar, e principalmente no aspecto econômico, apresentando alta concentração de N e, conseqüentemente, menor preço por unidade, sobretudo pela redução dos custos relativos ao transporte e aplicação.

A principal desvantagem da ureia é a possibilidade de elevadas perdas de N por volatilização de NH_3 , que além de consistir em prejuízo ao usuário, pode ser transferido para outros locais ou ecossistemas, e converter-se em poluentes de águas superficiais, subterrâneas e da atmosfera (Cantarella, 2007).

Conhecendo a grande limitação da produção vegetal ocasionada pela deficiência em nitrogênio, e a baixa disponibilidade deste nos sistemas naturais, para a obtenção de boas produtividades nos sistemas agrícolas se faz necessária à adição deste nutriente por meio de fertilizantes.

2.3 Fertilizantes Nitrogenados

O potencial agrícola brasileiro pode ser atribuído às suas dimensões continentais que possibilitam grandes extensões agricultáveis, bem como pela possibilidade de aumentar a eficiência das áreas já incorporadas. O avanço da fronteira agrícola e a posição do Brasil em destaque no fornecimento de commodities foram determinados principalmente pelo uso de insumos e pelas tecnologias associadas à cultura da soja.

Atualmente, devido a grande demanda de derivados do setor primário, preconiza-se pelo aumento da eficiência de produção das áreas já incorporadas, contribuindo para a produção agrícola nacional, e para tal, é de grande importância a disponibilidade de insumos agrícolas, como fertilizantes, bem como as tecnologias associadas.

O aumento na eficiência do uso dos fertilizantes nitrogenados pode contribuir para reduzir a dependência das importações, diminuindo os riscos que o país pode enfrentar, devido ao fato de China, Índia e EUA, os principais produtores, serem também os maiores consumidores (Lupinacci, 2012).

As emissões globais de N para a atmosfera na forma de NH_3 tem 75% de contribuição antrópica, com grande participação de dejetos da criação de animais (22 Tg ano⁻¹ de N⁻¹), fertilizantes (9 Tg ano⁻¹ de N) e queimadas (6 Tg ano⁻¹ de N) (Cantarella, 2007).

Tecnologias que proporcionem o aumento da eficiência de fertilizantes nitrogenados estão em acordo com o Plano Nacional de Fertilizantes proposto pelo Ministério da Agricultura, que objetiva diminuir a dependência externa da agricultura brasileira por matérias-primas, com maior produção interna, até o final de 2019 (MAPA, 2013).

O uso eficiente do nitrogênio pode ser obtido pela adoção de práticas relacionadas ao manejo do solo, da água, das culturas, e do próprio fertilizante, que permitirão maior absorção do nutriente pelas culturas, minimização das perdas e manutenção dos níveis de nitrogênio nativo do solo. O manejo adotado deve permitir, em primeiro momento, maior aproveitamento do nutriente no período de desenvolvimento da cultura, em que o nutriente é fornecido, e, em segundo momento, menor perda, que proporcionará maior potencial de recuperação do nitrogênio residual pelas culturas subsequentes (Ladha et al., 2005).

2.4 Perdas de Nitrogênio

O ciclo do nitrogênio compreende a passagem deste elemento nos distintos compartimentos que compõem o globo terrestre, principalmente entre biosfera e atmosfera.

O advento da fixação industrial de N por meio do processo Haber-Bosch, permitiu grande entrada de formas biodisponíveis de nitrogênio no sistema, muito maior que o observado até aquela ocasião, que derivava principalmente da fixação biológica e de deposições atmosféricas (Heriemanet al., 2008).

A enzima urease é conhecida por aumentar a velocidade de hidrólise da ureia à amônia e dióxido de carbono em 10^{14} vezes, comparado à reação não catalisada (Upadhyay, 2012).

Na agricultura, a alta atividade da urease associada à aplicação da ureia fertilizante, leva a perdas elevadas de amônia para a atmosfera, causando problemas ambientais e econômicos. A volatilização de amônia ocasiona prejuízos às plantas, devido a menor disponibilidade do nutriente essencial, e pelos danos ocasionados em função da toxidez por amônia (Upadhyay, 2012).

Para o uso eficiente da ureia fertilizante, o uso de inibidores de urease é uma opção disponível (Upadhyay, 2012).

Inibidores de urease foram extensivamente estudados, devido ao potencial de aplicação na medicina, como terapêuticos contra a urease bacteriana, em técnicas analíticas para a determinação de substâncias que agem como inibidores de enzimas, e na diminuição das perdas de N dos solos via amônia, decorrente da aplicação de ureia fertilizante (Upadhyay, 2012).

De acordo com Upadhyay (2012), os inibidores da urease podem ser classificados em duas categorias: substratos análogos estruturais e inibidores que afetam o mecanismo da reação. Quanto à estrutura química, podem ser divididos em quatro grandes grupos: o primeiro grupo é formado por compostos tiólicos, que reagem diretamente com o centro metálico da urease; o segundo grupo é composto pelo ácido hidroxâmico e derivados, que competem com a ureia por ligações com o sítio ativo da urease; o terceiro grupo representa o mais efetivo dos inibidores, como o fósforo diamidato substituído; e o quarto grupo consiste em ligantes e quelantes de níquel, principalmente o fluoreto.

A amônia é emitida por muitas atividades, como queima de biomassa, uso de combustíveis fósseis, dejetos humanos, dentre muitos outros, mas as atividades agropecuárias respondem pela maior parte das emissões, e derivam principalmente de excrementos de animais e seu subsequente manejo, contudo o uso de fertilizantes contribui significativamente para o processo (Hyde et al., 2003). A baixa eficiência do uso desses insumos leva a perdas consideráveis de N, com problemas econômicos e ambientais associados.

O sistema de criação de animais em confinamento merece atenção especial pela magnitude das perdas de amônia por volatilização resultantes desta atividade que, além de ocasionar redução na qualidade dos dejetos, também significam impacto para o ambiente (Shiet al., 2001). Nesse sentido são avaliados produtos que possam atuar na redução das perdas de N por volatilização.

Melhoradores químicos, como alumínio e cloreto de cálcio foram propostos como alternativa para a diminuição das perdas por volatilização, devido a redução no pH do solo no local da aplicação do fertilizante (Shi et al., 2001).

Perdas indesejadas dos sistemas agrícolas podem ser reduzidas com a melhor compreensão da ciclagem do N no solo, como a retenção de NH_3 e NH_4^+ , as reações que ocorrem entre ureia e solos para formar NH_3 e NH_4^+ e a fixação e liberação de NH_4^+ por argilas do solo (Kisselet al., 2008).

Existem muitos exemplos de reações ácido base de nitrogênio amoniacal no solo, mas a mais importante é a reação de NH_3 com a capacidade tampão do solo, em que o amônio pode

ser considerado um ácido fraco em equilíbrio, e tem NH_3 e H^+ como produtos de dissociação (Kissel et al., 2008).

O valor do pKa para a reação a 25°C é 9,25, porém, a dissociação é sensível à mudança de temperatura, o que leva a variação nas espécies de N amoniacal na faixa de pH de 5 a 10, contudo em pH inferior a 7, há predomínio de amônio independente da temperatura (Kissel et al., 2008).

2.5 Tecnologias Agregadas à Fertilizantes Nitrogenados

A maior eficiência da ureia fertilizante é buscada por meio do manejo na aplicação e de tecnologias agregadas ao produto final. Dentre estas, destacam-se a mistura com produtos acidificantes (H_3PO_4 , HNO_3 e H_2SO_4). Outra opção é a produção de ureia de solubilização lenta com a adição de formaldeído, e da ureia de solubilização controlada, com adição de inibidor de urease ou recobrimento com polímeros termoplásticos. A forma de acabamento no processo de granulação pode interferir na eficiência dos fertilizantes. Há a predominância no mercado atual, da ureia com grânulos de 1 a 2 mm, denominada perolada, contudo, recentemente, surgiu no mercado a ureia com grânulos maiores, de 2 a 4 mm, entretanto, as formas de ureia granulada e perolada, independente do pH do solo proporcionam quantidades totais de NH_3 volatilizada equivalentes (Guimarães et al., 2010).

Alguns compostos podem ser utilizados como aditivos no processo de produção dos fertilizantes com o objetivo de diminuir a volatilização de amônia em decorrência da sua aplicação ao solo. São objetos do atual estudo, as substâncias húmicas e zeólita.

Pertencente às substâncias húmicas, os ácidos húmicos quando aplicados com à ureia reduzem potencialmente a volatilização de amônia, devido à elevada CTC, ao caráter ácido e elevado poder tampão (Weil & Magdoff, 2004 apud Guimarães, 2011), que promovem a formação e adsorção de NH_4^+ .

Os grupos carboxílicos e fenólicos são os sítios ionizáveis mais abundantes nos ácidos húmicos e determinam o caráter ácido, a CTC, e capacidade tampão da acidez (Masini et al., 1998).

Zeólitas são minerais naturais, que quando desidratadas apresentam elevada CTC e estrutura cristalina estável, que devido à existência de canais permite que apresente baixa densidade. Internamente aos canais, devido à elevada CTC, ocorre a adsorção de cátions, que no caso do NH_4^+ , fica protegido de reações que possam transformá-lo em espécies facilmente perdidas no solo (Rezende & Monte, 2005).

2.6 Cenário Nacional e Internacional dos Fertilizantes com Ênfase em Fertilizantes Nitrogenados

As quantidades fertilizantes disponibilizados no mercado são ajustadas conforme previsões que estimam o consumo mundial. As projeções de consumo e demanda são realizadas com base em considerações agronômicas e estimativas realizadas pelas indústrias do setor, contudo não consideram problemas logísticos, calamidades naturais, que podem comprometer a distribuição do planejado (FAO, 2011).

De acordo com FAO (2011), é previsto o crescimento anual em taxa de 1,3, 2,0 e 3,7%, respectivamente, na demanda mundial de nitrogênio, fósforo e potássio, para uso como fertilizantes, entre 2012 e 2016, como exposto na Figura 1.

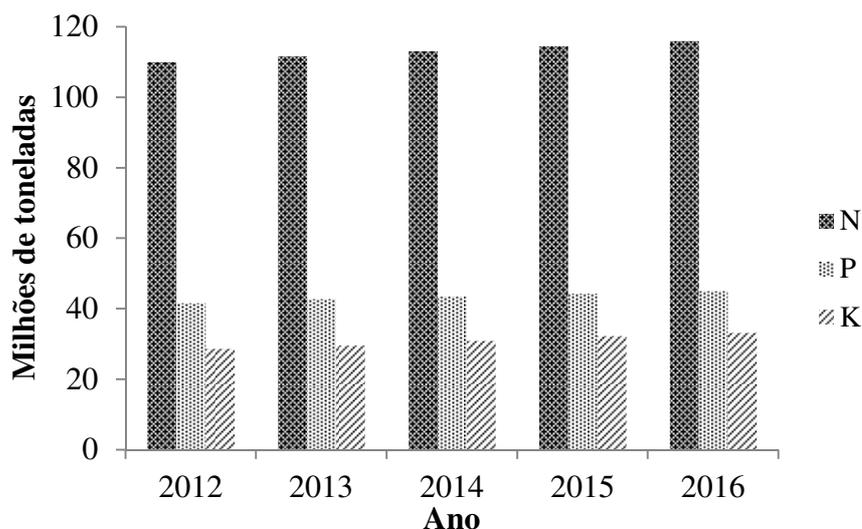


Figura 1 – Demanda mundial de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O), no ano de 2012, com previsão para a demanda até 2016 (FAO, 2011).

Relacionado à demanda específica de fertilizantes nitrogenados, em termos globais, houve um crescimento de 108,8 milhões de toneladas em 2011 para 109,9 milhões de toneladas em 2012, numa taxa de crescimento de 1,6%. Em 2016 a demanda prevista será de 116 milhões de toneladas com taxa de crescimento de 1,3% ao ano (Figura 1). O montante de 6 milhões de toneladas previsto, correspondente ao crescimento de 2012 a 2016 será partilhado entre Ásia com 60%, América com 19%, Europa com 13%, África com 7% e Oceania com 1% (FAO, 2011).

Na América, o maior aumento é esperado na América Latina (14%), principalmente no Brasil, Argentina, Colômbia e México (FAO, 2011).

Na Figura 2 pode-se observar a projeção da demanda de fertilizantes nitrogenados em termos mundial e regional, enfatizando a grande demanda da Ásia. A demanda global de nitrogênio considerando o uso para fertilizantes e não fertilizantes é prevista para 147 milhões de toneladas em 2016. Contudo é previsto um balanço negativo no fornecimento do nutriente, como mostrado na Figura 3.

Em termos de amônia, após considerar as taxa de operação, para o ano de 2012 o valor foi fixado em 140,8 milhões de toneladas. No período de 2012 a 2016, espera-se um incremento de 17,7 milhões de toneladas, totalizando 158,5 milhões de toneladas para 2016. Os maiores aumentos na produção de amônia ocorrerão na Ásia, África e na América Latina (FAO, 2011).

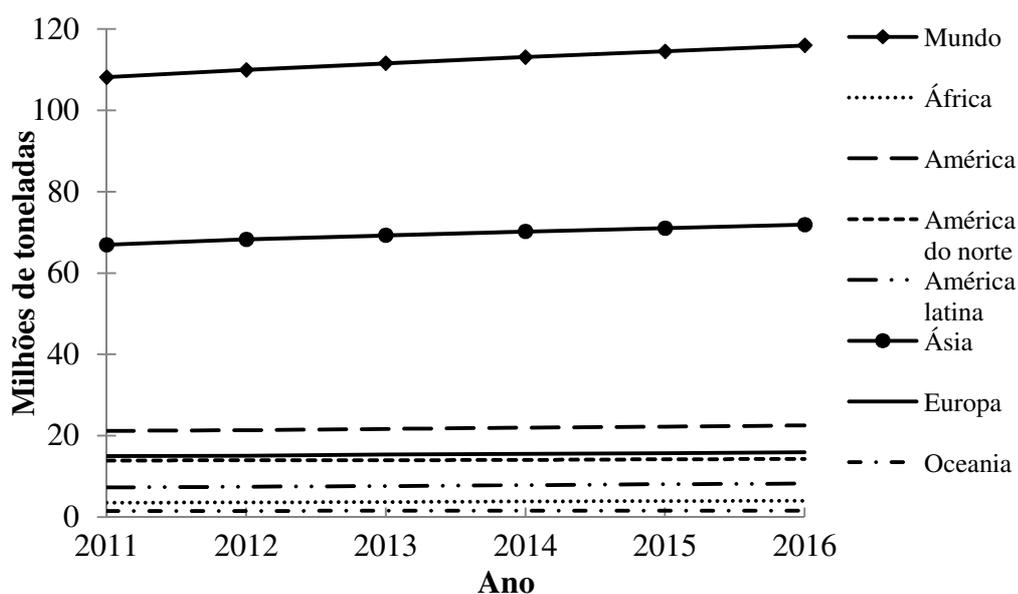


Figura 2 – Demanda de fertilizantes nitrogenados (em milhões de toneladas) projetada em termos global e regional (FAO, 2011).

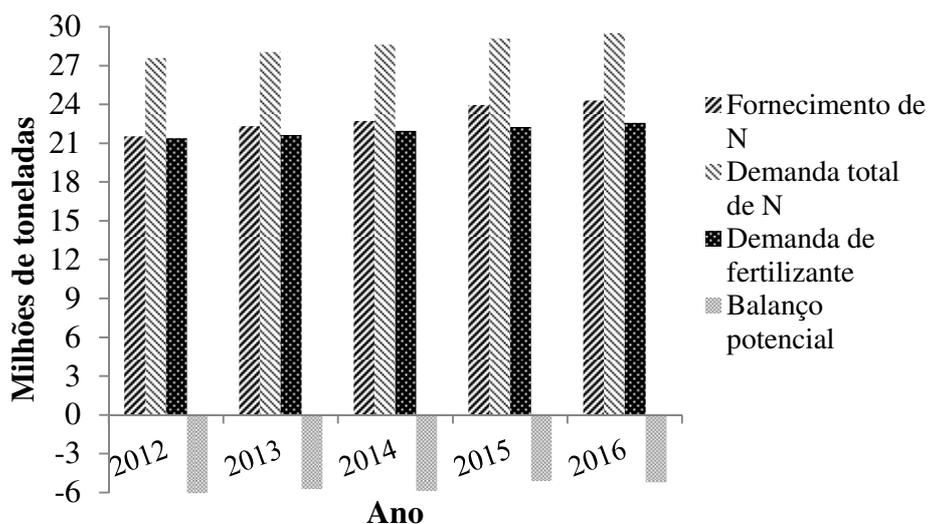


Figura 3 – Projeção para a máxima capacidade de fornecimento, demanda total e de N fertilizante e balanço potencial (em milhões de toneladas) para as Américas, no período compreendido entre os anos de 2012 a 2016 (FAO, 2011).

A participação da América Latina e Caribe no consumo mundial de nitrogênio é de 6,7%. O crescimento anual em demanda de nitrogênio deverá ser de 2,7%, entre 2012 e 2016. Brasil, Argentina, México e Colômbia constituem os principais usuários de fertilizantes na região. O potencial de fornecimento de nutrientes de fertilizantes sobre a demanda indica que a região se tornaria um potencial fornecedor de nitrogênio em 2015, enquanto sua dependência de importação de potássio e fósforo iria continuar durante o período de previsão (FAO, 2011).

No ano de 2010, o Brasil ocupava a quarta posição em consumo de fertilizantes no mundo, consumindo 5,9% do total, ficando atrás de China, Índia e EUA, com respectivos consumos de 29,8%, 16,3% e 11,8%, como mostra a Figura 4 (Lupinacci, 2012).

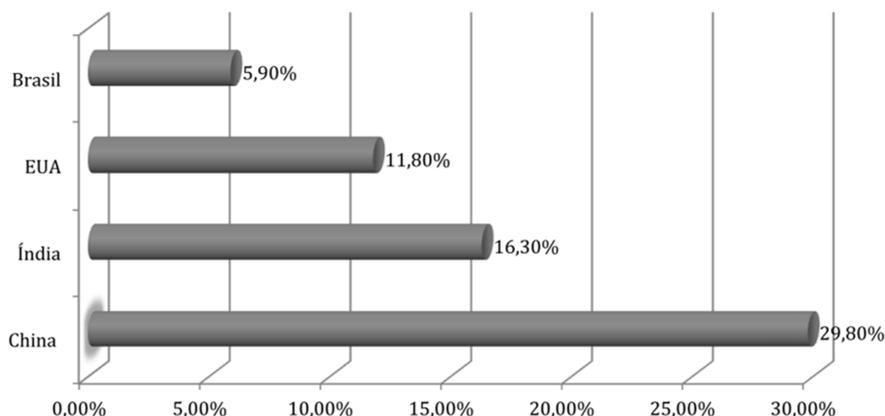


Figura 4 – Consumo mundial de fertilizantes por país, no ano de 2010 (Lupinacci, 2012).

Observando o consumo de nitrogênio, fósforo e potássio dos maiores consumidores mundiais, para o ano de 2010 (Figura 5), percebe-se uma defasagem na quantidade de N em relação aos demais nutrientes consumidos no Brasil. No cenário nacional, a cultura que se destaca pela elevada demanda por fertilizantes nitrogenados é o milho, seguido pela cana de açúcar. A soja, por sua vez, apesar de exigir pouco ou nenhum nitrogênio, demanda maiores quantidades dos demais adubos (Lupinacci, 2012).

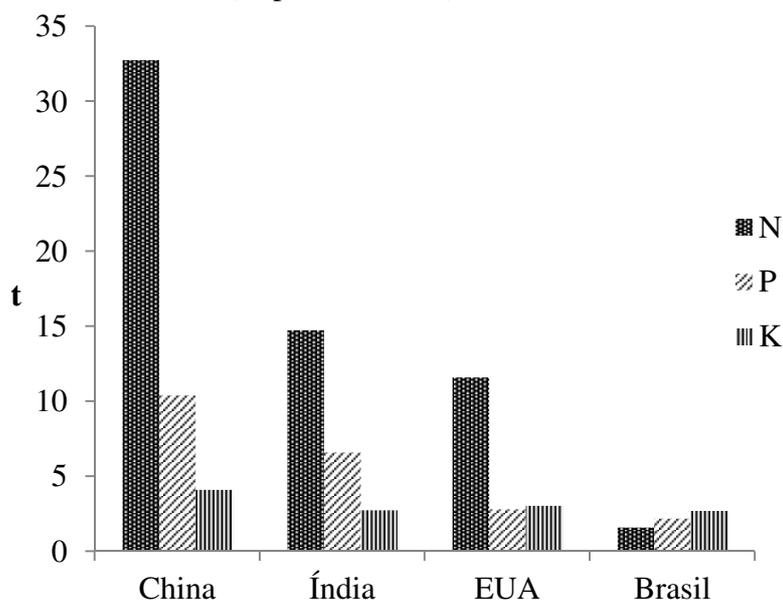


Figura 5 – Consumo mundial de nitrogênio, fósforo e potássio, por país em milhões de toneladas no ano de 2010 (adaptado de Lupinacci, 2012).

Em relação aos fertilizantes nitrogenados, as plantas instaladas no Brasil estão longe de atender a demanda interna, visto que se importa no país 86% da demanda por sulfato de amônio, 73% de ureia, 72% de nitrato de amônio, 90% de sulfato monoamônio (MAP) e 100% de sulfato diamônio (DAP) (Lupinacci, 2012), ainda que existam previsões de saldo positivo para o nitrogênio em 2015 (FAO, 2011). O N é o nutriente com maior perspectiva de aumento de oferta doméstica, por causa de projetos envolvendo gás natural, em curso no país. Entretanto, questões como o preço do gás e a tendência de utilização preferencial do recurso como fonte energética, podem interferir no seu uso pelo setor de fertilizantes.

3. CAPÍTULO I:

BASES PARA A DEFINIÇÃO DE DOSES DE UREIA PARA ENSAIOS EM CASA DE VEGETAÇÃO

3.1 RESUMO

A aplicação de ureia na cultura do milho (*Zea mays* L.), pode ocasionar injúrias, principalmente durante o período inicial de desenvolvimento, devido ao efeito salino e a volatilização de amônia. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de ureia, calculadas com base na área superficial do vaso, no volume do solo e no número de plantas por vaso, sobre o crescimento inicial do milho, até o estágio V8, visando estabelecer um critério para o cálculo de doses de fertilizantes utilizados em casa de vegetação, que sejam equivalentes às aplicadas em campo, permitindo assim estudar os efeitos desta adubação nitrogenada. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da UFRRJ, em vasos plásticos preenchidos com sete kg de solo. Para este experimento, foram realizadas duas avaliações distintas, que apresentam delineamentos estatísticos próprios. A primeira consistiu na avaliação do crescimento inicial, durante o período de uma semana após a semeadura. A segunda compreendeu o crescimento do milho até o estágio vegetativo oito (V8), a partir de uma semana após a semeadura. Durante os sete primeiros dias, foram mensuradas a germinação, condutividade elétrica e volatilização de NH_3 , assim como altura total e altura de inserção da primeira folha. A partir de uma semana após a semeadura, foram realizadas avaliações de perda de N por volatilização de NH_3 , pigmentos fotossintéticos, massa seca, teor e N total acumulado, até o estágio V8, durante o período de 40 dias. A dose calculada com base no número de plantas afetou negativamente a germinação e foi responsável por maiores perdas por volatilização. Para o desenvolvimento até V8, a maior quantidade de ureia, obtida considerando o número de plantas e a maior dose de 50 kg N ha^{-1} , proporcionou as maiores perdas de N via volatilização de amônia, mas foi suficiente para fornecer nitrogênio para as plantas.

Palavras-chave: Ureia. *Zea maiz* L. Nitrogênio.

3.2 ABSTRACT

The application of urea in maize (*Zea maiz* L.) may cause injuries, especially during the initial period of development due to the salt effect and volatilization of ammonia. This study aimed to evaluate and compare the effects of different doses of urea calculated based on the surface area of the pot, on the soil volume and the number of plants per pot, on the initial growth of maize, up to the V8 stage, aiming to establish a criterion for calculating fertilizer rates used in the greenhouse, which are equivalent to those applied in the field, which enables to study the effects of nitrogen fertilization. The experiment was conducted in a greenhouse of Soil Department of the UFRRJ in plastic pots filled with seven kg of soil. For this experiment, there were two separate assessments, which have their own statistical designs. The first consisted in evaluating the initial growth during the period of one week after sowing. The second included the maize growth up to the eight vegetative stage (S8), from one week after sowing. During the first seven days, there were measured germination, electrical conductivity and NH₃ volatilization, as well as the total height and height of insertion of the first leaf. From one week after sowing, there were reviews of loss by volatilization of NH₃, photosynthetic pigments, dry matter, content and total N uptake, to the V8 stage, during the period of 40 days. The dose calculated based on the number of plants negatively affected the germination and was responsible for major losses by volatilization. For the development up to V8, the largest amount of urea, obtained by taking the number of plants and the highest dose of 50 kg N ha⁻¹ led to higher losses via volatilization, but it was sufficient to provide nitrogen for the plant.

Keywords: Urea. *Zea maiz* L. Nitrogen.

3.3 INTRODUÇÃO

O estudo da adubação passou a receber maior atenção devido à importância dos fertilizantes na produção mundial de alimentos. A avaliação agronômica dos fertilizantes tem início com experimentos em casa de vegetação, onde é possível controlar fatores capazes de interferir na produção, para identificar pontos críticos que comprometem a eficiência daquele sistema.

O efeito nocivo da superdosagem de fertilizantes no estabelecimento das culturas em casa de vegetação, assim como a redução no aproveitamento de nutrientes são relatados na literatura.

Na semeadura, é comum a adubação ser realizada próxima à linha de deposição de sementes, principalmente em cultivo de grãos, que pode levar prejuízos na germinação, com decorrente perda de estande e produtividade. Variáveis como a dose e fonte do fertilizante, a distância entre o fertilizante e a semente, a espécie cultivada e aspectos edafoclimáticos regem a aplicação segura do fertilizante próximo à linha de semeadura.

A aplicação de ureia incorporada concomitante à semeadura consiste em uma maneira de diminuir as perdas de N, porém, a dose aplicada pode afetar a germinação e o estabelecimento das plântulas. Quando a ureia é utilizada no parcelamento da adubação nitrogenada e aplicada na superfície do solo, favorece as perdas de N.

Quantidades de ureia equivalentes às aplicadas a campo, podem ser obtidas para experimentos em casa de vegetação de acordo com: a área superficial; o volume de substrato e o número de plantas cultivadas em cada unidade experimental.

Portanto, o efeito adverso de fertilizantes verificado em condição de casa de vegetação pode ser proveniente da forma de obtenção de doses, já que não existe um critério definido para que a equivalência de doses seja calculada.

3.4 REVISÃO DE LITERATURA

Aproximadamente 50% da produção mundial de alimentos são obtidos graças ao uso de fertilizantes, cabendo ao setor agrícola a execução eficiente das práticas de adubação (Roberts, 2009).

As Boas Práticas para o Uso Eficiente de Fertilizantes (BPUFs) preconizam a aplicação da fonte correta do fertilizante, no momento adequado, na época e em locais corretos, para que a oferta de nutrientes seja adequada às necessidades das culturas, minimizando suas perdas no campo (Casarin & Stipp, 2013).

A avaliação agrônômica dos fertilizantes tem início com experimentos em ambiente controlado, onde é possível isolar, ou controlar fatores capazes de interferir na produção, como os ambientais e, adicionar variáveis de estudo, devido ao baixo custo quando comparado a experimentos conduzidos em nível de campo. Desta forma, é possível compreender e modelar o fenômeno estudado, para, posteriormente, experimentá-lo em condição de campo, onde será definitivamente avaliado.

No processo científico, a compreensão do todo de um fenômeno é condição essencial para que seja estabelecido um modelo que permita, não apenas constatá-lo, mas principalmente prevê-lo, evitando assim experimentos de campo, normalmente exaustivos (Novais et al., 1991).

A deposição de fertilizantes próxima à linha de semeadura é comum no cultivo de grãos e culturas de grande extensão. A prática permite bom rendimento operacional, contudo, estudos com doses de fertilizantes realizados em condição de ambiente controlado reportam efeitos negativos de elevadas doses, principalmente na redução do percentual de germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas.

A segurança da aplicação do fertilizante próximo à linha de semeadura depende da cultura, da fonte e dose de fertilizante, do espaço entre as linhas de semeadura e adubação e questões relacionadas a fatores edafoclimáticos (IPNI, 2012).

Algumas culturas são mais susceptíveis a injúrias por fertilização próxima a linha de semeadura. Sementes de oleaginosas são particularmente sensíveis, não sendo recomendada esta prática. As grandes culturas mais sensíveis a este manejo são assim ordenadas da maior para a menor susceptibilidade: soja>sorgo>milho>pequenos grãos (IPNI, 2012).

A maioria dos fertilizantes é composta por sais, que podem afetar a absorção de água pelas sementes, podendo até causar injúrias mais severas, como lesão nos tecidos. Os fertilizantes também diferem quanto à salinidade, sendo os potássicos e nitrogenados normalmente mais salinos que os fosfatados (IPNI, 2012).

A alta concentração de sais próximo às sementes pode inibir a absorção de água pelas plantas, devido à redução do potencial hídrico (Taiz e Zeiger, 2006), afetando também o desenvolvimento radicular e vegetativo (Silva et al., 2011; Fernandes e Souza et al., 2006).

A redução do estande, e a limitação ao desenvolvimento inicial em função do índice salino são prejudiciais, pois, de acordo com Sangoi et al., (2011), dentre os cereais de importância econômica, o milho apresenta a menor capacidade de perfilhamento, portanto, fatores que possam intervir na população final da lavoura, terão interferência sobre o seu rendimento.

No Brasil, a cultura do milho totalizou 53,2 milhões de toneladas na safra 2009/2010, sendo o terceiro maior produtor mundial do cereal, que tem como destino principal a produção de ração para animais (MAPA, 2013). Estes valores evidenciam a importância da cultura do milho para a cadeia produtiva nacional.

A ureia é o principal fertilizante sólido em nível mundial, e corresponde a 60 % dos fertilizantes nitrogenados comercializados no Brasil, devido principalmente ao menor custo por unidade de N e maior facilidade de produção (Cantarella, 2007).

De acordo com Catarella (2007), a principal desvantagem da ureia é a possibilidade de altas perdas de N por volatilização de NH_3 , que além de consistir em prejuízo ao usuário, polui águas superficiais, subterrâneas e a atmosfera. Dessa forma, a melhoria no manejo do nitrogênio aplicado às culturas colabora no sentido de minimizar o total de perdas de N.

A amônia liberada pela ureia, além de consistir em prejuízo econômico e ambiental, pode ocorrer em quantidade suficiente para atingir níveis de toxidez e comprometer a germinação e o desenvolvimento das plântulas, como observado por Sangoi et al. (2009).

A liberação de amônia em decorrência da aplicação de dejetos de aves e suínos reduziu a germinação de sementes de *Brassica parachinensis* como relatado por Wong et al. (1983). De acordo com Qiet al. (2012), a aplicação de ureia na semeadura de arroz cultivado em sequeiro, levou a redução na germinação, e no crescimento inicial das plântulas, enfatizando que o efeito ocorreu sem o contato direto da ureia com as plântulas avaliadas, já que a aplicação ocorreu em recipiente separado, próximo ao leito de semeadura.

O cálculo da quantidade de ureia equivalente à aplicada a campo pode ser obtido para experimentos em casa de vegetação de acordo com: o volume de substrato contido no recipiente; a área de substrato exposta; e o número de plantas, para cada unidade experimental.

A recomendação de doses de ureia pode ser interpretada de maneiras distintas, originando resultados diferentes no total efetivamente aplicado na unidade experimental. Exemplificando, podemos citar a situação em que num experimento, utilizando vasos com capacidade para 10 litros de solo, que expõe uma área superficial equivalente a 530 cm^2 , em que serão cultivadas duas plantas de milho, a aplicação de 50 kg N ha^{-1} na forma de ureia pode ter as seguintes interpretações: 1 – considerando o volume de solo, a dose equivalente a ser aplicada em cada unidade experimental é de 0,55 g de ureia; 2 – considerando a área de solo exposta, a dose equivalente é de 0,59 g de ureia, e 3 – adotando o número de plantas (tendo como base 60.000 plantas por hectare), a dose equivalente é de 3,7g de ureia.

Assim, os efeitos mensurados em estudos de doses de fertilizantes, podem ser provenientes do critério utilizado para o cálculo da quantidade a ser aplicada.

Para a experimentação com fertilizantes, outro fator importante a ser observado é a forma de aplicação, que pode ser: em sulco, em um ou dois lados da planta, com diferentes profundidades; em cobertura, em faixas ou a lanço, dentre outras (Gomes & Conagin, 1991).

No presente trabalho objetivou-se avaliar o efeito de doses de ureia calculadas com base na área superficial do vaso, no volume de solo e no número de plantas por vaso sobre o crescimento inicial, e até o estágio V8 da cultura do milho em condição de casa de vegetação.

3.5 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada em Seropédica, RJ, que está situada a 22°45' de latitude sul e 43°41' de longitude oeste e altitude de 33 metros.

O solo utilizado no experimento foi coletado próximo ao Instituto de Agronomia, sendo classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO (textura arenosa), coletado em profundidade de 20 cm. O solo foi seco, passado em peneira com malha de 4 mm, e incubado com calcário dolomítico conforme Stafanato (2009), havendo estabilização do pH em valor de 6,2. Foi realizada a caracterização química (Tabela 1), salientando que o potássio, com disponibilidade de 39,3 mg L⁻¹ no solo foi corrigido para produtividade esperada de 6 a 8 ton. ha⁻¹ (Ribeiro et al. 1999), misturando cloreto de potássio (KCl) no momento em que o mesmo foi incubado. Cada unidade experimental foi constituída de vasos plásticos (Figura 7), preenchidos com 7 kg de solo.

Para este experimento, foram realizadas duas avaliações distintas, que apresentam delineamentos estatísticos próprios. A primeira consistiu na avaliação do crescimento inicial, durante o período de uma semana após a semeadura. A segunda compreendeu o crescimento do milho até o estágio vegetativo 8 (V8), a partir de uma semana após a semeadura.

3.5.1 Avaliação do crescimento inicial

O híbrido empregado foi o AG1051, utilizando-se seis sementes por vaso, semeadas em profundidade de 3 cm, em 31/03/2013 (Figura 8).

O delineamento empregado foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 12 repetições. Os tratamentos consistiram na aplicação de doses de ureia distintas, obtidas a partir da recomendação de 20 kg N ha⁻¹ (Ribeiro et al. 1999), em que as doses equivalentes foram calculadas com base na área superficial de solo exposto, de 471,4 cm² (A), no volume do vaso, preenchido com 7 litros de solo (V) e no número de 2 plantas definitivamente cultivadas (P), resultando em: T1 – controle, sem adição de ureia; T2 – 0,2093g de ureia (A); T3 – 0,1675g de ureia (V) e T4 – 1,4815g de ureia (P).

A adubação nitrogenada foi realizada com ureia em grânulos (45% N), aplicada a uma profundidade de 5 cm, e 4 cm ao lado da linha de semeadura, nas doses referentes aos tratamentos (Figura 7 e Figura 8).

Tabela 1 – Caracterização química do solo utilizado no experimento.

Na	Ca	Mg	H+Al	Al	S	T	V	m*	n**	pH	P	K
-----cmol/dm ³ -----							-----%-----		1:2,5	---mg/L---		
0,05	2,33	1,41	1,91	0	3,9	5,81	65	0	1	6,2	57,9	39,3

* saturação por Al, ** saturação por Na.

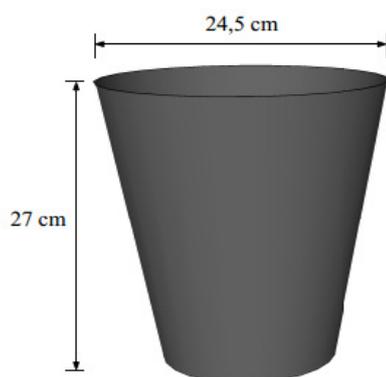


Figura 6 – Formato e dimensões do vaso com capacidade de 7 litros utilizado no experimento.

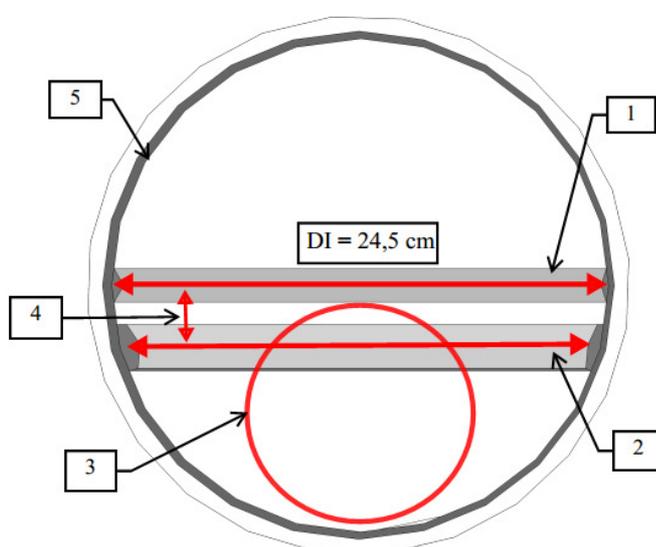


Figura 7 – Esquema da disposição dos componentes de cada unidade experimental, com o coletor SALE instalado. Cada unidade experimental apresenta diâmetro interno (DI) de 24,5 cm, em que: 1 – linha de semeadura com extensão de 24,5 cm e profundidade de 3 cm; 2 – linha de aplicação de fertilizante com extensão de 23 cm e profundidade de 5cm; 3 – limite ocupado pelo coletor SALE, que apresenta raio igual a 5,25 cm; 4 – afastamento de 4 cm entre as linhas de aplicação de fertilizante e de semeadura; e 5 – limite interno do vaso de cultivo.

Durante o período experimental, o solo contido no vaso, sem perfuração inferior, foi mantido com umidade próxima a 70% da capacidade de campo, corrigida diariamente por meio de pesagem diária de 10% dos vasos.

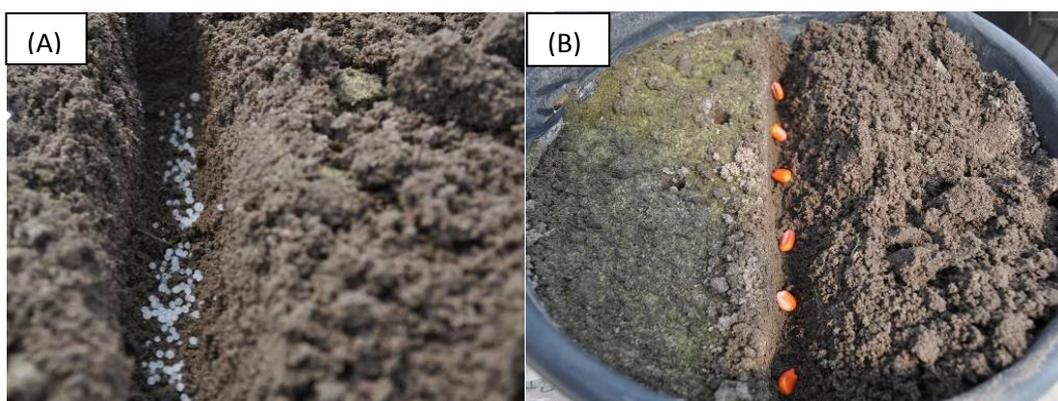


Figura 8 – (A) detalhe da aplicação de ureia no fundo do sulco, em profundidade de 5 cm, e (B) detalhe da disposição das sementes em sulco com profundidade de 3 cm.

Os valores de temperatura e umidade foram monitorados por meio de estação meteorológica instalada na casa de vegetação, com o registro das temperaturas máxima, média e mínima (Figura 9) e valores de umidade máxima, média e mínima (Figura 10).

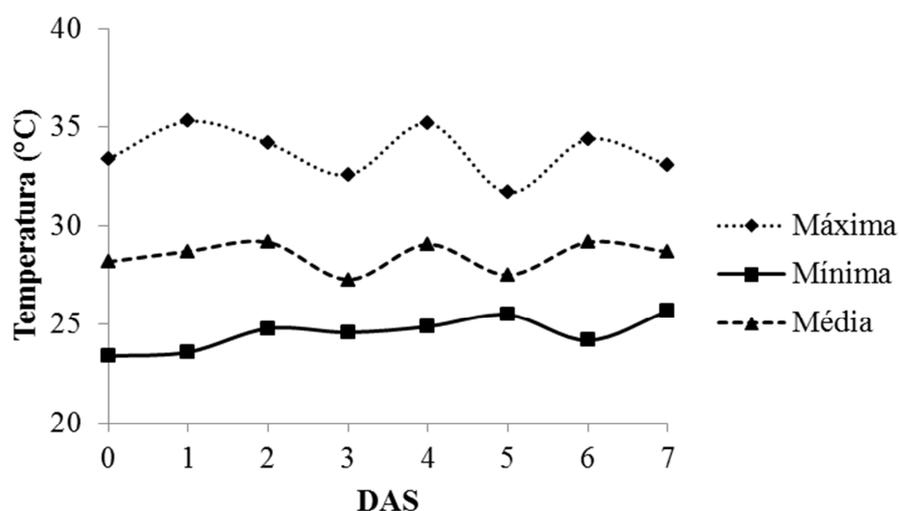


Figura 9 – Valores de temperatura máxima, mínima e média mensurados internamente à casa de vegetação no período de 31/03/2013 a 07/04/2013, em dias após a semeadura (DAS).

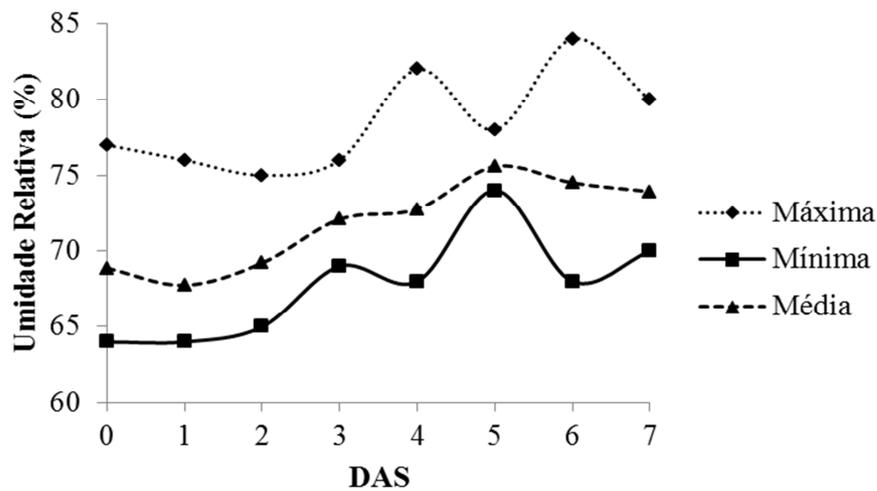


Figura 10 – Valores de umidade relativa máxima, mínima e média mensurados internamente à casa de vegetação no período de 31/03/2013 a 07/04/2013, em dias após a semeadura (DAS).

As leituras de condutividade elétrica (CE) do solo foram realizadas diariamente, desde a semeadura até sete DAS, através de medições em profundidade de aproximadamente 4 cm, em quatro pontos distintos, utilizando-se o condutivímetro HANNA HI 993310, equipado com eletrodo para medição direta em solo.

Realizou-se também uma estimativa da quantidade de nitrogênio perdido por meio do processo de volatilização de amônia, através da determinação do nitrogênio retido nas armadilhas ácidas do sistema coletor semi aberto livre estático (SALE), (Figura 11), descrito por Araújo et al. (2009). As câmaras coletoras foram instaladas imediatamente após a aplicação do fertilizante, e as espumas dos coletores foram trocadas diariamente, até o sétimo dia de avaliação, e acondicionadas em potes de 50 mL.

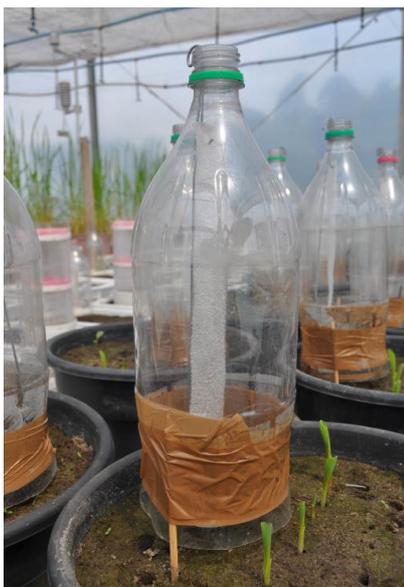


Figura 11 – Detalhe do coletor SALE instalado na unidade experimental.

Foi realizada a contagem das sementes germinadas diariamente, até seteDAS, ocasião em que as plantas foram avaliadas com determinação da altura de inserção da primeira folha e altura total considerando a folha de maior extensão. Ambas as medições foram realizadas a partir da superfície do solo.

3.5.2 Crescimento do milho até o estágio vegetativo 8 (V8)

A partir de sete DAS, foi realizado o desbaste, mantendo duas plantas por vaso, sendo estas cultivadas até 47DAS (dias após semeadura), em que 50% das plantas, ou mais, apresentavam o estágio V8 de desenvolvimento (8 folhas totalmente expandidas).

A avaliação foi realizada no esquema fatorial 3x2x3, resumindo-se a duas formas de aplicação da ureia (em linha – em que o fertilizante foi aplicado abaixo e ao lado da linha de semeadura, e em área total – onde o fertilizante foi distribuído de forma homogênea na superfície do solo), três formas de cálculo das doses (área – considerando a área de solo exposto em cada vaso, volume – considerando o volume de solo utilizado em cada vaso, e planta – dose calculada considerando duas plantas cultivadas por vaso), e três doses de ureia (0, 20 e 50 kg N ha⁻¹), com três repetições, totalizando 54 unidades experimentais.

Os tratamentos foram aplicados quando 50% ou mais das plantas de milho se encontrava no estágio V6 de desenvolvimento (seis folhas totalmente expandidas), conforme detalhado na Tabela 2.

Tabela 2 - Detalhamento dos tratamentos aplicados no experimento, em V6 (seis folhas completamente expandidas).

Tratamentos	Forma de cálculo da dose de ureia	Dose de ureia (kg N ha ⁻¹)	Forma de aplicação	Quantidade de ureia aplicada (g)
Controle	-	-	-	-
T1	Área (A)	20	Linha	0,2093
T2	Área (A)	20	Superfície	0,2093
T3	Área (A)	50	Linha	0,5233
T4	Área (A)	50	Superfície	0,5233
T5	Volume (V)	20	Linha	0,1675
T6	Volume (V)	20	Superfície	0,1675
T7	Volume (V)	50	Linha	0,4188
T8	Volume (V)	50	Superfície	0,4188
T9	Planta (P)	20	Linha	1,4814
T10	Planta (P)	20	Superfície	1,4814
T11	Planta (P)	50	Linha	3,7037
T12	Planta (P)	50	Superfície	3,7037

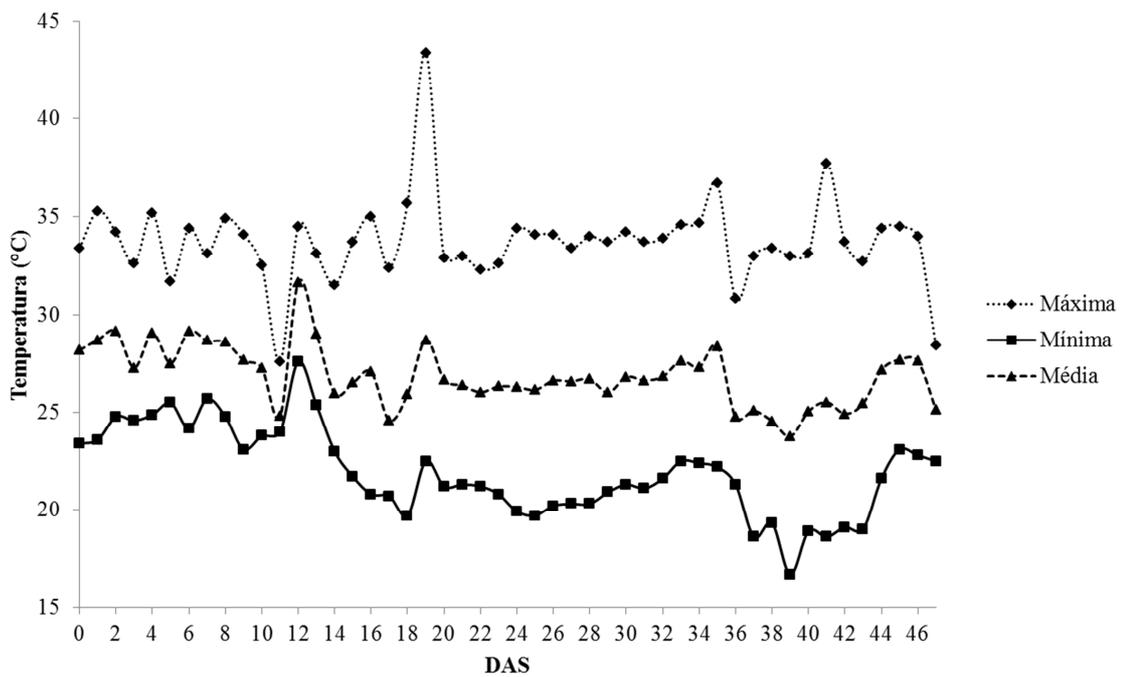


Figura 12 – Variação da temperatura interna da casa de vegetação até 47 dias após semeadura (DAS), compreendido no período de 31/03/2013 à 17/05/2013.

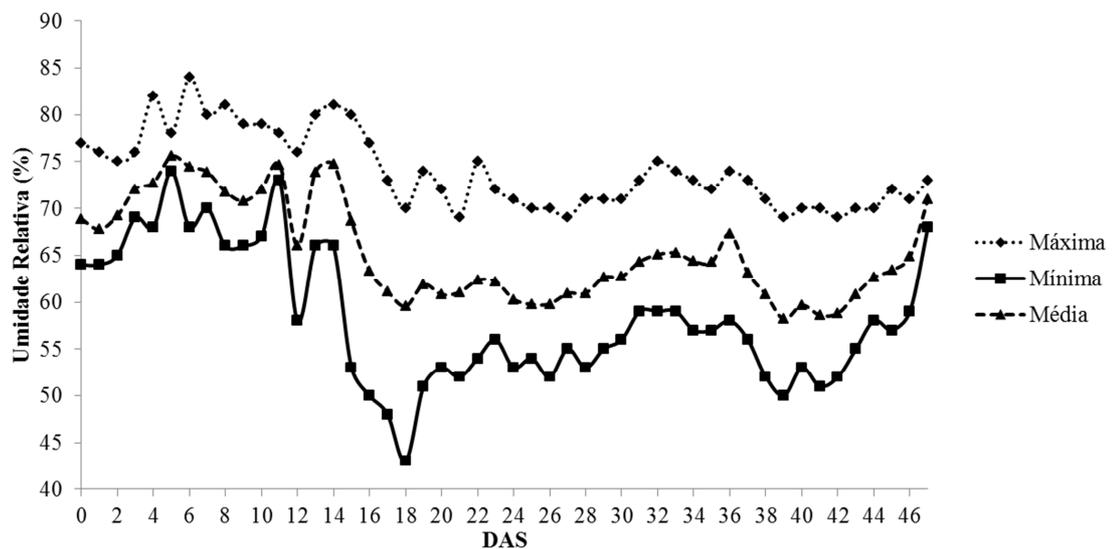


Figura 13 – Variação da umidade relativa interna da casa de vegetação até 47 dias após semeadura (DAS), compreendido no período de 31/03/2013 à 17/05/2013.

Após a adubação foram instalados coletores do tipo SALE, para estimar a quantidade de nitrogênio perdido através da volatilização de amônia. As coletas foram diárias até o sétimo dia, e posteriormente a cada três dias, totalizando um período de avaliação de 16 dias.

Aos 47 DAS e aos 17 dias após a adubação realizada no estádio V6, foi realizada a medição indireta do teor de clorofila, com auxílio de um medidor eletrônico de clorofila da marca clrofiLOG® modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola, em que os resultados são expressos em Índice de Clorofila Falker (ICF). Foram realizadas cinco leituras na porção média da folha totalmente expandida (Falker, 2008), de cada planta, totalizando 480 leituras.

Na mesma ocasião, foram coletados três discos com área de 78,53 mm² cada, na porção média da folha totalmente expandida de cada planta, totalizando seis discos por unidade experimental. Os discos coletados foram acondicionados em 20 mL de solução extratora de acetona 80% em frascos âmbar, e mantidos por três dias no escuro. Decorridos três dias, foram realizadas as leituras de absorvância em espectrofotômetro, conforme descrito por Arnon, (1949).

Na mesma ocasião as plantas foram coletadas e separadas em raiz, folha indicadora (última folha totalmente expandida) e parte aérea. O material foi seco em estufa em temperatura de 65°C até massa constante e preparadas as amostras para as determinações de teor e acúmulo de nitrogênio.

3.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.6.1 Avaliação do crescimento inicial

Analisando a Figura 14 que apresenta os resultados referentes às médias da condutividade elétrica, observa-se que houve efeito significativo dos tratamentos a partir do segundo dia de avaliação, em que a dose aplicada calculada com base no número de plantas (T4) proporcionou os maiores valores.

A alta concentração de sais próximo às sementes pode inibir a absorção de água pelas plantas, devido à redução do potencial hídrico (Taiz e Zeiger, 2006). Foi observada a ocorrência da maior CE no terceiro dia após a semeadura para a maior dose de ureia aplicada (Figura 14), sendo a provável causa da redução do percentual de germinação para o respectivo tratamento (Figura 15), devido à elevação na concentração de eletrólitos na solução do solo próximo a região fertilizada.

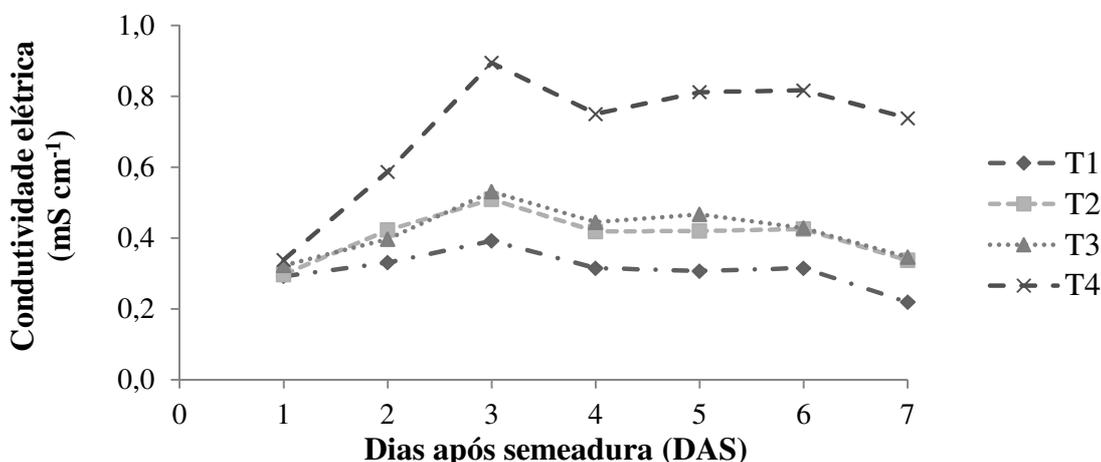


Figura 14 – Condutividade elétrica do solo em resposta as diferentes doses¹ de ureia aplicadas na ocasião da semeadura.

¹(T1 – controle, sem adição de ureia; T2 – 0,2093g de ureia, calculada considerando a área superficial do solo contido no vaso; T3 – 0,1675g de ureia, considerando o volume de solo contido no vaso; e T4 – 1,4815g de ureia, considerando o cultivo de duas plantas definitivas por vaso)

O percentual de germinação das sementes apresentou diferença significativa no quarto dia após a semeadura, devido a maior dose de ureia aplicada (T4), como pode ser observado na Figura 15, contudo, apesar de não haver diferença estatística no terceiro DAS, houve tendência de maior germinação nos tratamentos T1 e T2. Em condição de campo, o menor percentual de sementes germinadas, pode comprometer a população final da lavoura, supondo a adversidade das condições ambientais, resultando em redução de produtividade.

O solo de textura arenosa, utilizado no experimento, pode ter contribuído para a redução na germinação, de acordo com Sangoi et al. (2009). Os autores não observaram prejuízos à germinação mesmo com dose de 200 kg N ha⁻¹ em solos com alto teor de argila e matéria orgânica, provavelmente devido ao alto poder tampão, que permite a adsorção eletrostática do amônio, enquanto que solos com baixos teores de argila e matéria orgânica apresentaram redução na germinação avaliada aos sete dias após a semeadura em decorrência do uso de dose superior a 50 kg N ha⁻¹ na forma de ureia.

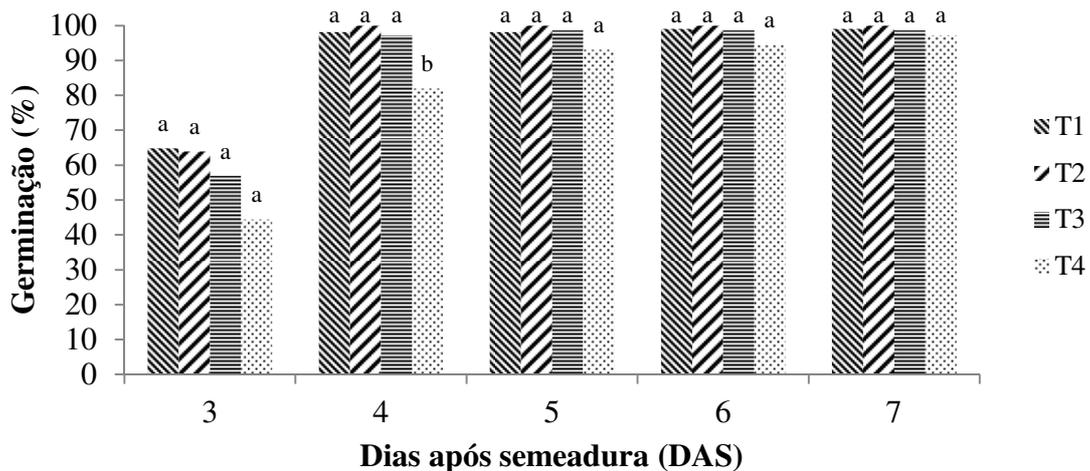


Figura 15 - Germinação das sementes de milho em decorrência da aplicação dos tratamentos¹.

¹T1-controle, sem adição de ureia; T2-0,2093g de ureia, calculada considerando a área superficial do solo contido no vaso; T3-0,1675g de ureia, considerando o volume de solo contido no vaso; e T4-1,4815g de ureia, considerando o cultivo de duas plantas definitivas por vaso.

Médias diárias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

As perdas de nitrogênio via volatilização de amônia apesar de não terem sido elevadas, conforme pode ser observado nas Figura 16 e Figura 17, foram significativas para a maior dose de ureia aplicada, representada pelo tratamento 4 (T4), que pode ser explicado pela provável elevada concentração de amônio no solo no mesmo período, dada a elevada CE.

O efeito da amônia volatilizada sobre a germinação, foi relatado por Wong et al. (1983), que observou a redução na germinação de sementes de *Brassicaparachinensis*, devido a aplicação de estrume de aves e suínos.

Segundo Qiet al. (2012), a aplicação de ureia na semeadura de arroz cultivado em sequeiro, reduziu a germinação, e o crescimento inicial das plântulas. O mesmo autor relata que o efeito da amônia ocorreu sem o contato direto da ureia com as plântulas avaliadas.

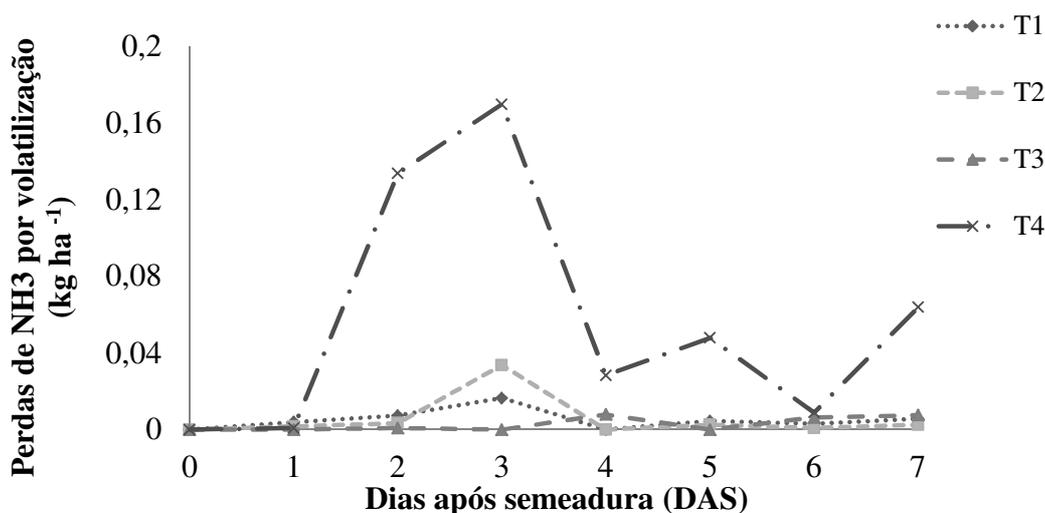


Figura 16 - Perdas diárias de nitrogênio pela volatilização de NH_3 proveniente da ureia aplicada em função dos tratamentos¹

¹(T1 – controle, sem adição de ureia; T2 – 0,2093g de ureia, calculada considerando a área superficial do solo contido no vaso; T3 – 0,1675g de ureia, considerando o volume de solo contido no vaso; e T4 – 1,4815g de ureia, considerando o cultivo de duas plantas definitivas por vaso)

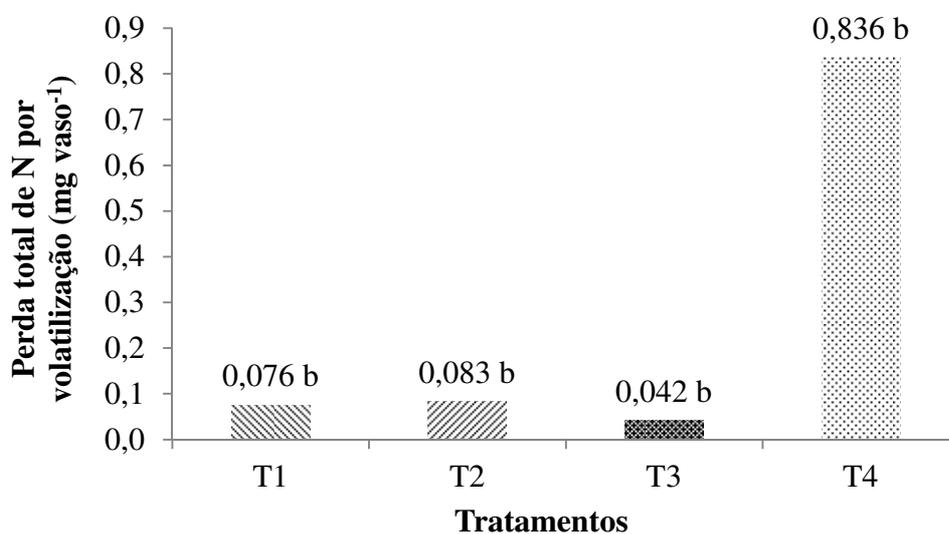


Figura 17 - Perda total de nitrogênio (mg vaso^{-1}) devido à volatilização de NH_3 .

¹(T1 – controle, sem adição de ureia; T2 – 0,2093g de ureia, calculada considerando a área superficial do solo contido no vaso; T3 – 0,1675g de ureia, considerando o volume de solo contido no vaso; e T4 – 1,4815g de ureia, considerando o cultivo de duas plantas definitivas por vaso).

Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %.

A altura total das plantas não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos, tendo como valor médio, 14 cm. A altura de inserção da primeira folha apresentou diferença

significativa, como observado na Figura , evidenciando o efeito da maior dose de ureia avaliada.

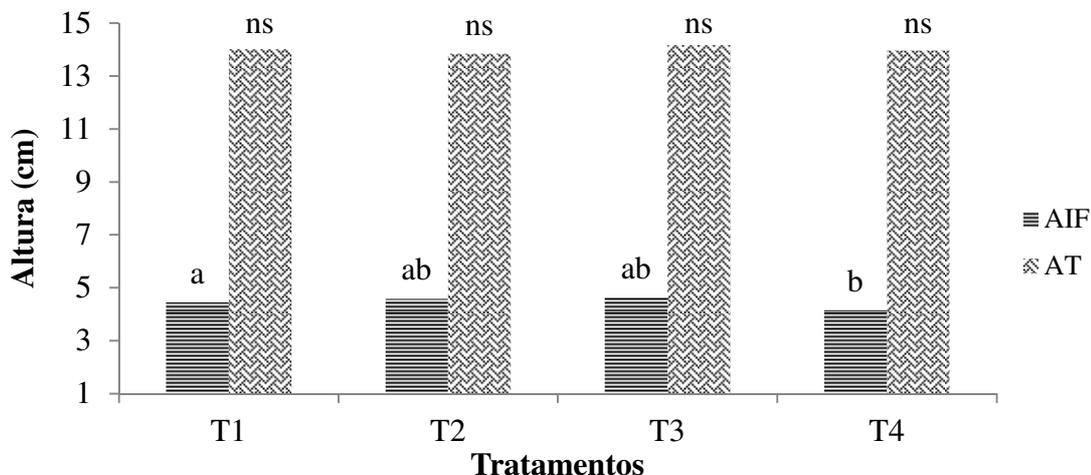


Figura 18 - Altura de inserção da primeira folha (AIF), e altura total (AT), devido ao efeito dos tratamentos¹.

¹T1-controle, sem adição de ureia; T2-0,2093g de ureia, calculada considerando a área superficial do solo contido no vaso; T3-0,1675g de ureia, considerando o volume de solo contido no vaso; e T4-1,4815g de ureia, considerando o cultivo de duas plantas definitivas por vaso.

Médias seguidas de mesma letra, em cada característica avaliada, não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

3.6.2 Crescimento do milho até o estágio vegetativo 8 (V8)

- **Nitrogênio perdido por volatilização, teores e acumulado.**

Foram observadas interações significativas entre os fatores Forma de cálculo e Dose para todas as variáveis, com exceção o teor de nitrogênio no solo (NS), que vale ressaltar não ter sido significativo para todos os fatores testados. Os tratamentos não influenciaram o teor de nitrogênio avaliado no solo, devido à característica de rápida dinâmica do nutriente em sistemas de cultivo (Tabela 3).

A forma de aplicação da ureia não interferiu na quantidade de N perdido por volatilização, bem como, no teor e acúmulo mensurados no tecido de plantas de milho.

Tabela 3 – Análise de variância do nitrogênio volatilizado total (VolTot), teores de nitrogênio no solo (NS), raiz (NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI), e nitrogênio acumulado na raiz (NAR), parte aérea (NAPA) e folha indicadora (NAFI), em resposta a aplicação de N-ureia de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Forma de aplicação”.

FV	GL	Quadrado médio							
		VolTot	NS	NR	NPA	NFI	NAR	NAPA	NAFI
Forma de cálculo (FC)	2	1543*	0,302 ^{ns}	771,9*	2584*	3457*	0,097*	2,7*	0,046*
Dose (D)	2	947,8*	0,719 ^{ns}	505,3*	1389*	2910*	0,17*	2,2*	0,049*
Forma de aplicação (FA)	1	106,9 ^{ns}	0,00012 ^{ns}	32,9 ^{ns}	0,096 ^{ns}	103,5 ^{ns}	0,0021 ^{ns}	0,0047 ^{ns}	0,00040 ^{ns}
FC x D	4	578,8*	0,37 ^{ns}	297,9*	605,5*	1075*	0,028*	0,64*	0,014*
FC x FA	2	81,19 ^{ns}	0,024 ^{ns}	10,89 ^{ns}	5,59 ^{ns}	124,9 ^{ns}	0,0041 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,0024 ^{ns}
D x FA	2	53,66 ^{ns}	0,094 ^{ns}	45,04 ^{ns}	22,67 ^{ns}	22,9 ^{ns}	0,00038 ^{ns}	0,038 ^{ns}	0,00021 ^{ns}
FC x D x FA	4	27,95 ^{ns}	0,063 ^{ns}	84,03 ^{ns}	46,43 ^{ns}	9,73 ^{ns}	0,0069 ^{ns}	0,048 ^{ns}	0,00061 ^{ns}
Resíduo	36	31,96	0,58	34,38	30,34	38,92	0,010	0,057	0,0009

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O nitrogênio volatilizado total foi afetado pelo nível planta do fator Forma de cálculo, havendo diferença significativa entre os níveis do fator Dose. O nível 50 kg N ha⁻¹ proporcionou as maiores perdas de N por volatilização de amônia. Os demais níveis do fator Forma de cálculo apresentaram médias de nitrogênio volatilizado total estatisticamente iguais, para todos os níveis do fator Dose (Tabela 4).

Tabela 4– Médias de nitrogênio volatilizado total (kg N ha⁻¹) em resposta a quantidades de ureia aplicada em função da interação entre os níveis dos fatores Dose e Forma de cálculo.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Forma de cálculo		
	Planta	Área	Volume
0	0,31 Ca	0,17 Aa	0,29 Aa
20	15,26 Ba	1,35 Ab	0,80 Ab
50	37,26 Aa	3,60 Ab	3,05 Ab

Letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Na Figura 19, é possível verificar a magnitude das perdas de N por volatilização a partir de quantidades de ureia obtidas de acordo com os fatores Forma de cálculo e Dose. Observa-se o comportamento similar entre os níveis área e volume do fator Forma de cálculo, independente do nível do fator Dose, proporcionando perdas de 4 a 7 % do total aplicado. Quando a quantidade de ureia foi obtida a partir do nível planta do fator Forma de cálculo, observa-se grande aumento de perda, chegando a valores próximos a 75%, independente do nível do fator Dose considerado.

Os valores observados estão de acordo com o relatado por Alves et al. (2007), em que as perdas por volatilização podem chegar a 80% do N aplicado. A não diferenciação entre a volatilização decorrente da ureia incorporada e aquela aplicada na superfície do solo pode ser explicada pela baixa CTC e textura arenosa do solo utilizado, não favorecendo a conversão e adsorção de NH₃ em NH₄⁺, bem como por possíveis variações na umidade do solo.

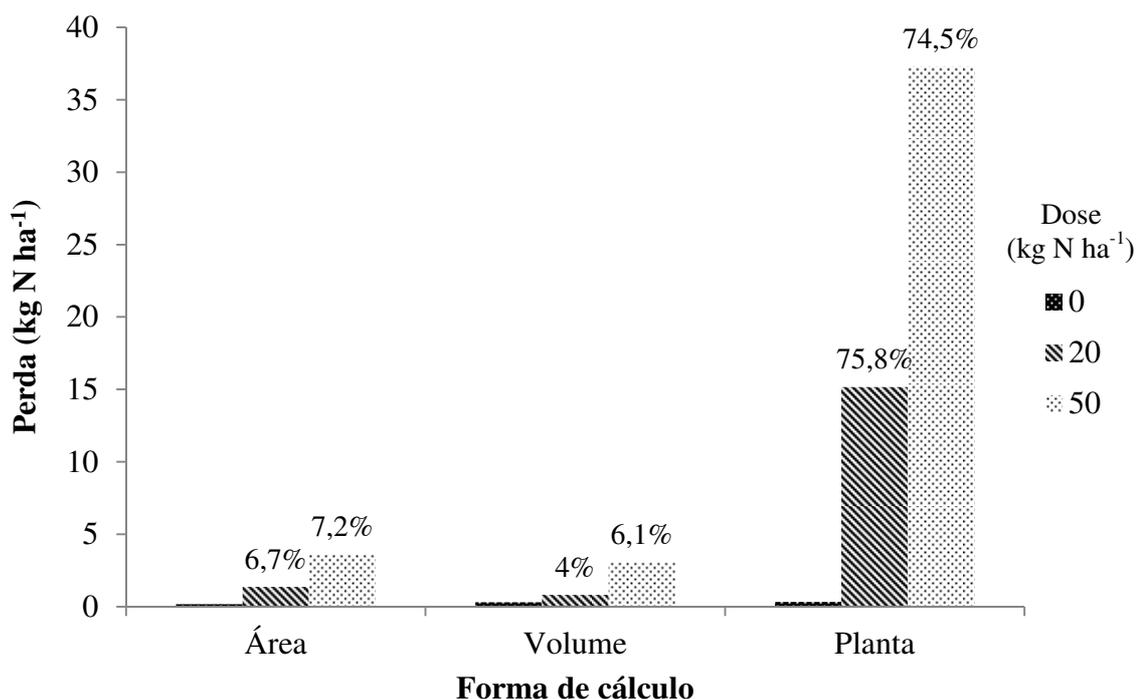


Figura 19 – Perda acumulada de nitrogênio por volatilização de amônia (em kg N ha⁻¹), decorrentes da aplicação de quantidades de ureia obtidas de acordo com os fatores Forma de cálculo e Dose. Valores em percentual acima das colunas, representam a perda relativa à dose aplicada.

Os teores de nitrogênio avaliados na raiz (NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI) foram significativamente alterados pela interação entre os fatores Forma de cálculo e Dose, como apresentado na Tabela 5.

O teor de nitrogênio na raiz (NR) verificado para o nível planta do fator Forma de cálculo e os níveis 20 e 50 kg N ha⁻¹ do fator Dose não diferiam, entretanto foram superiores ao teor observado na ausência de adubação. Para o teor de nitrogênio na parte aérea (PA) o nível planta do fator Forma de cálculo apresentou as maiores médias, que diferiram entre todos os níveis do fator Dose. O teor de nitrogênio da folha indicadora (NFI), maiores médias foram obtidas para o nível planta do fator Forma de cálculo, associado aos maiores níveis do fator Dose. O nível volume do fator Forma de cálculo apresentou medias iguais para os níveis 20 e 50 do fator Dose, diferindo da ausência de adubação.

O maior nível do fator Dose avaliado, correspondendo a 50 kg N ha⁻¹ associado ao nível planta do fator Forma de cálculo proporcionaram as maiores médias para os teores de N avaliados.

Tabela 5 – Médias de teor de nitrogênio (g kg^{-1}) na raiz(NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI) em função dos fatores Dose e Forma de cálculo.

Dose (kg N ha^{-1})	Forma de cálculo		
	Planta	Área	Volume
	NR		
0	16,86 Ba	20,17 Aa	17,91Aa
20	36,37 Aa	21,64 Ab	21,54 Ab
50	42,47 Aa	21,05 Ab	21,14 Ab
	NPA		
0	20,36 Ca	19,72 Aa	19,27 Aa
20	51,07 Ba	22,33 Ab	23,23 Ab
50	58,52 Aa	25,61 Ab	25,83 Ab
	NFI		
0	28,32 Ca	32,05 Aa	29,46 Ba
20	70,87 Ba	38,87 Ab	35,43 Ab
50	81,38 Aa	40,45 Ab	41,16 Ab

Letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

O nitrogênio total acumulado na raiz(NAR), parte aérea (NAPA) e na folha indicadora (NAFI) diferiram em função dos fatores Forma de cálculo e Dose, como apresentado na Tabela 6.

Para NAR, os níveis planta e área do fator Forma de cálculo proporcionaram médias superiores para os níveis 20 e 50 kg N ha^{-1} do fator Dose. Contudo, as maiores médias foram observadas no nível planta do fator Forma de cálculo, sendo iguais entre os níveis 20 e 50 kg N ha^{-1} do fator Dose.

O nitrogênio total da parte aérea (NTPA) e de folha indicadora (NTFI) apresentaram maiores médias para o nível planta do fator Forma de cálculo, não diferindo entre os níveis 20 e 50 kg N ha^{-1} do fator Dose.

A quantidade de ureia aplicada considerando o nível planta do fator Forma de cálculo, ainda que tenha proporcionado a maior perda de N por volatilização, levou os maiores teores e totais acumulados observados para nitrogênio no tecido das frações avaliadas.

Tabela 6 – Nitrogênio total acumulado na raiz (NAR), parte aérea (NAPA) e folha indicadora (NAFI) em função dos fatores Dose e Forma de cálculo.

Dose (kg N ha^{-1})	Forma de cálculo		
	Planta	Área	Volume
	NAR		
0	0,191 Ba	0,219 Ba	0,189 Aa
20	0,443 Aa	0,312 Ab	0,266 Ab
50	0,528 Aa	0,382 Ab	0,267 Ab
	NAPA		
0	0,468 Ba	0,479 Aa	0,426 Aa
20	1,653 Aa	0,668 Ab	0,661 Ab
50	1,784 Aa	0,784 Ab	0,768 Ab
	NAFI		
0	0,076 Ba	0,090 Ba	0,078 Ba
20	0,248 Aa	0,128 Ab	0,111 Ab
50	0,275 Aa	0,128 Ab	0,136 Ab

Letras iguais maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

- **Massa seca**

Os fatores estudados não apresentaram efeito significativo sobre a massa seca de raiz (MSR), (Tabela 7). A massa seca de parte aérea (MSPA) diferiu significativamente em função do fator Dose (Tabela 8), apresentando médias iguais para os níveis 20 e 50 kg N ha⁻¹, sendo o mesmo comportamento verificado para a massa seca de folha indicadora (MSFI).

Tabela 7– Análise de variância de valores de massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) de duas plantas de milho em resposta a aplicação de N-ureia de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Forma de aplicação”.

FV	GL	Quadrado médio		
		MSR	MSPA	MSFI
Forma de cálculo (FC)	2	2,8	18,34	0,078
Dose (D)	2	21,97	325,76*	1,69*
Forma de aplicação (FA)	1	30,2	3,75	0,005
FC x D	4	2,63	9,96	0,14
FC x FA	2	17,18	14,09	0,039
D x FA	2	0,53	29,2	0,477
FC x D x FA	4	16,04	35,95	0,11
Resíduo	36	11,88	17,89	0,14

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 8 – Massa seca (g) de parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) de duas plantas de milho em função de Dose.

Dose(kg N ha ⁻¹)	Médias	
	MSPA	MSFI
0	22,80 b	2,65b
20	30,29 a	3,32 a
50	30,04 a	3,28 a

Letras iguais na coluna não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

- **Pigmentos fotossintéticos**

Houve interação entre os fatores Forma de cálculo, Dose e Forma de aplicação para os Índices de Clorofila Falker®, para clorofila a (ICFa), clorofila b (ICFb) e total (ICFtot) como apresentado na Tabela 9, com as médias detalhadas na Tabela 10.

Os teores de clorofila extraível em acetona para clorofila a (CEa), clorofila b (CEb) e clorofila total (CEt), forma influenciados pelos fatores Forma de cálculo e Dose como demonstrado na Tabela 9 e em maiores detalhes na Tabela 11.

A forma de aplicação apresentou efeito significativo sobre os resultados de clorofila extraível em acetona 80% para clorofila a (CEa), b (CEb) e total (CEt) e clorofila total de acordo com Arnon, 1948, (CtAr), (Tabela 9 e Tabela 12).

Tabela 9– Análise variância de valores de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), clorofila extraível em acetona 80% para clorofila a (CEA), b (CEB) e total (CET) e clorofila total de acordo com Arnon (1948), (CtAr), mensurados em plantas de milho no estágio V8, em resposta a aplicação de ureia de acordo com o fatorial “Forma de cálculo x Dose x Forma de aplicação”.

FV	GL	Quadrado médio						
		ICFa	ICFb	ICFtot	CEa	CEb	CET	CtAr
Forma de cálculo (FC)	2	53,02*	220,76*	487,52*	35,0*	0,69*	45,28*	55,08*
Dose (D)	2	28,51*	46,48*	147,74*	51,32*	1,74*	71,94*	87,38*
Forma de aplicação (FA)	1	0,05	0,97	1,47	5,08*	0,24*	7,54*	9,15*
FC x D	4	5,88*	14,28*	38,07*	9,4*	0,37*	13,54*	16,44*
FC x FA	2	3,77	2,06	11,42	0,8	0,027	1,13	1,37
D x FA	2	115,39*	172,64*	569,75*	1,16	0,064	1,76	2,14
FC x D x FA	4	14,61*	48,11*	114,42*	1,49	0,075	2,23	2,71
Resíduo	36	2	3,43	9,55	0,95	0,037	1,37	1,66

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Para todas as variáveis avaliadas (ICFa, ICFb e ICFtot), como apresentado na Tabela 10, a aplicação em linha apresentou maiores médias, mostrando que a localização da ureia próximo a linha de semeadura proporciona maior aproveitamento.

As menores médias observadas no nível 20 do fator Dose para todos os níveis do fator Forma de cálculo, para as variáveis ICFa, ICFb e ICFtot, quando a ureia foi aplicada em superfície, pode ser resultado da maior perda por volatilização de amônia que comprometeu os níveis de pigmentos fotossintéticos. Para o nível 50 do fator Dose, a inexistência de diferença entre as formas de aplicação para todos os níveis do fator Forma de cálculo, considerando as mesmas variáveis avaliadas (ICFa, ICFb e ICFtot), pode ser atribuída a maior dose aplicada, que mesmo havendo perdas de nitrogênio via amônia, foi suficiente para a não diferenciação das médias.

Observa-se uma tendência de as maiores médias para as variáveis ICFa, ICFb e ICFtot serem obtidas no nível planta do fator Forma de cálculo, com aplicações realizadas na linha, associadas ao nível 50 do fator Dose.

A aplicação de 45 kg N ha⁻¹ na cultura do milho em estágio V4 proporcionou valores de ICFtot variando de 45 a 50, mensurados em V7, e a aplicação de dose equivalente em estágio V9 proporcionou rendimento de grãos igual a 8400 kg ha⁻¹ (Falker, 2008).

As maiores médias para ICFtot mensuradas em V8 apresentaram valor próximo a 44, e resultaram da aplicação de ureia considerando o nível planta do fator Forma de cálculo, associado ao nível 50 kg N ha⁻¹ do fator Dose. Estes resultados mostram que a aplicação de ureia considerando o número de plantas, com dose de 50 kg N ha⁻¹ apresenta bom potencial produtivo.

Tabela 10 – Médias de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), mensurados em plantas de milho no estágio V8, em função da aplicação de ureia de acordo com o fatorial Dose x Forma de cálculo x Forma de aplicação.

Dose(kg N ha ⁻¹)	Forma de cálculo	Forma de aplicação	
		Linha	Superfície
ICFa			
0	Planta	17,25 B	26,06 A
	Área	19,36 B	20,07 A
	Volume	17,08 B	21,09 A
20	Planta	25,28 aA(a)	18,02 aB(b)
	Área	22,79bA(a)	17,32 aB(b)
	Volume	21,68 bA(a)	18,06 aB(b)
50	Planta	26 aA(a)	25,44 aA(a)
	Área	20,45 bB(a)	22,33 bA(a)
	Volume	19,36 bB(a)	21,4 bA(a)
ICFb			
0	Planta	5,77 B	19,43 A
	Área	6,48 A	7,57 B
	Volume	5,52 B	8,77 A
20	Planta	17,17 aA(a)	6,32 aB(b)
	Área	10,36 bA(a)	5,63 aB(b)
	Volume	9,7 bA(a)	6,36 aA(b)
50	Planta	18,46 aA(a)	17,18 aA(a)
	Área	8,11 bA(a)	10,26 bA(a)
	Volume	7,34 bB(a)	9,81 bA(a)
ICFtot			
0	Planta	23,03 B	45,49 A
	Área	25,85 B	27,64 B
	Volume	22,60 B	29,86 A
20	Planta	42,46 aA(a)	24,34 aB(b)
	Área	33,15 bA(a)	22,96 aB(b)
	Volume	31,38 bA(a)	24,43 aB(b)
50	Planta	44,46 aA(a)	42,63 aA(a)
	Área	28,56 bB(a)	32,59 bA(a)
	Volume	26,7 bB(a)	31,21 bA(a)

Letras iguais minúsculas dentro de doses (colunas), maiúsculas dentro de formas de cálculo (colunas) e entre parênteses dentro de formas de aplicação (linhas) não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Para a clorofila extraível em acetona, todas as variáveis avaliadas (CEa, CEB, CET e CART), a aplicação dos níveis 20 e 50 do fator Dose diferiu da ausência de fertilização em todos os níveis do fator Forma de cálculo.

As maiores médias forma observadas para o nível planta do fator Forma de cálculo, que apresentou médias estatisticamente iguais para os níveis 20 e 50 do fator Dose.

Para as variáveis CEa, CEB, CET e CART, a aplicação de ureia em linha proporcionou médias estatisticamente maiores que as obtidas com a aplicação em superfície (Tabela 12), denotando o maior aproveitamento do fertilizante.

Tabela 11 – Clorofila extraível em acetona 80% para clorofila a (CEa), b (CEb) e total (CEt) e clorofila total de acordo com Arnon, 1948, (CtAr), mensurados em plantas de milho no estágio V8, em função dos fatores Forma de cálculo x Dose (valores de clorofila expressos em mg L⁻¹).

Dose(kg N ha ⁻¹)	Planta	Forma de cálculo	
		Área	Volume
		CEa	
0	3,370 Ba	3,511Ba	3,339 Ba
20	8,332 Aa	4,771 Ab	5,119 Ab
50	9,143 Aa	5,28 Ab	5,18 Ab
		CEb	
0	0,203 Ba	0,425 Ba	0,297 Ba
20	1,154 Aa	0,647 Ab	0,644 Ab
50	1,304 Aa	0,716 Ab	0,602 Ab
		CEt	
0	3,574 Ba	3,937 Ba	3,637 Ba
20	9,487 Aa	5,41 Ab	5,76 Ab
50	10,448 Aa	5,997 Ab	5,783 Ab
		CTAr	
0	3,947 Ba	4,344 Ba	4,014 Ba
20	10,462 Aa	5,976 Ab	6,358 Ab
50	11,522 Aa	6,613 Ab	6,38 Ab

Letras iguais maiúsculas na colunae minúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Tabela 12 – Clorofila extraível em acetona 80% para clorofila a (CEa), b (CEb) e total (CEt) e clorofila total de acordo com Arnon, 1948, (CtAr), mensurados em plantas de milho no estágio V8, em função da forma de aplicação dos tratamentos(valores de clorofila expressos em mg L⁻¹).

Variável	Formas de aplicação	
	Linha	Superfície
CEa	5,645 a	5,032 b
CEb	0,733 a	0,599 b
CEt	6,379 a	5,631 b
CtAr	7,036 a	6,212 b

Letras iguais na linha não diferem significativamente pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Em geral, o conteúdo de pigmentos fotossintéticos foi favorecido pelas maiores quantidades de ureia aplicadas considerando o nível planta do fator Forma de cálculo.

3.7 CONCLUSÕES

Não é recomendado o uso de doses de ureia calculadas considerando o número de plantas por vaso, para avaliações de fertilizantes nitrogenados baseados na ureia, aplicadas no desenvolvimento inicial da cultura do milho em condições de casa de vegetação, devido a efeitos de redução do percentual de germinação, como também do vigor das plântulas. Estes efeitos podem ser equivocadamente atribuídos ao tratamento testado.

A CE e a volatilização de NH_3 foram os fatores que proporcionaram redução na germinação das sementes de milho do híbrido AG 1051.

Para avaliações além da fase de germinação, se estendendo até o estágio V8, a ureia aplicada calculada em função do número de plantas por unidade experimental, para a dose de 50 kg N ha^{-1} , apesar de apresentar a maior perda de N por volatilização, permitiu prever bom potencial produtivo para a cultura de acordo com a medição indireta de clorofila, bem como pelos maiores teores de nutrientes analisados.

4. CAPÍTULO II:

AVALIAÇÃO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS COM BASE NA UREIA ACRESCIDA DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E ZEÓLITA

4.1 RESUMO

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado, contudo apresenta grandes perdas de nitrogênio através da volatilização de amônia. Materiais, com elevada CTC, e caráter ácido tem sido relatados na literatura, como potenciais redutores de perdas de N via volatilização. Assim, o objetivo deste trabalho é verificar o efeito de redução de perdas de N via NH_3 , em decorrência da mistura de substâncias húmicas e zeólita à ureia, bem como, estudar a extração alcalina de substâncias húmicas de turfa, que permita maior rendimento, com menor consumo de extrator. Foi conduzido um ensaio prévio em laboratório, em que foram testadas concentrações (0,05; 0,1; 0,25 e 0,5 mol L^{-1}) e razões turfa/extrator (1/5, 1/10 e 1/20 m/v), para extração alcalina de substâncias húmicas de turfa com solução de KOH. A partir de ácido húmico, ácido fúlvico e extrato alcalino, adicionados de turfa bruta e zeólita, foram formulados os fertilizantes com base na ureia moída, pelo processo de pelotização, obtendo-se as seguintes formulações: U (ureia); UAF (ureia + ácido fúlvico); UAH (ureia + ácido húmico 15%); UAHZ (ureia + ácido húmico 5% + zeólita 15%); UEA (ureia + extrato alcalino em pH $\approx 5,5$); UT (ureia + turfa); UZ (ureia + zeólita 20%) e UZEA (ureia + zeólita 20% + extrato alcalino em pH $\approx 5,5$). As formulações obtidas, foram aplicadas na cultura do milho em experimento conduzido em vasos como unidades experimentais, onde foram cultivadas duas plantas do híbrido AG1051, em casa de vegetação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito formulações, três doses, e três repetições, adicionados de um controle. Os tratamentos (formulações) foram aplicados quando mais de 50% das plantas de milho se encontravam no estágio de desenvolvimento cinco (V5), em doses equivalentes a 50, 100 e 150 kg N ha^{-1} , considerando para tal, a área superficial de 471,4 cm^2 de cada unidade experimental. Os tratamentos foram aplicados em cobertura, e na sequência foram instaladas as câmaras coletoras SALE (câmara semiaberta livre estática), procedendo-se com coletas diárias durante seis dias subsequentes à adubação, e posteriormente as coletas foram realizadas a cada seis dias, totalizando nove coletas durante 24 dias de avaliação. Foi avaliada a perda de N por volatilização, massa seca de plantas, e teor e acúmulo de N. As formulações não diferiram entre si, quanto à perda de N por volatilização, cabendo às maiores doses aplicadas, a maior influência sobre a perda de N, bem como sobre os demais parâmetros avaliados. Houve tendência de menor perda acumulada por volatilização de N, para as formulações que apresentam em sua composição, substâncias húmicas e zeólita. Apesar de reduzidas perdas de N por volatilização, as doses de fertilizante obtidas considerando a área de solo exposto, não foram suficientes para garantir bom potencial produtivo à cultura, de acordo com a medição indireta de clorofila.

Palavras-chave: Ureia. Substâncias húmicas. Zeólita.

4.2 ABSTRACT

Urea is the most widely used nitrogen fertilizer, but has major nitrogen losses through ammonia volatilization. Materials with high CTC, and acid character has been reported in the literature as potential reducing N loss via volatilization. The objective of this study is to evaluate the effect of reducing N losses through NH_3 due to the blend of humic substances and zeolite to urea, as well as study the alkaline extraction of humic substances of peat, which enables higher performance with lower consumption extractor. A previous study was conducted in the laboratory, where concentrations were tested (0.05, 0.1, 0.25 and 0.5 mol L⁻¹) and reasons peat/extractor (1/5, 1/10 and 1/20 m/v) to alkaline extraction of humic peat with KOH solution. From humic acid, fulvic acid and alkaline extract added crude peat and zeolite were formulated fertilizer based on urea milled, by pelletization process to yield the following formulations: U (urea); UAF (urea + fulvic acid); UAH (urea + humic acid 15%); UAHZ (urea + humic acid + 5% zeolite 15%); UEA (urea + alkaline extract at pH \approx 5.5); UT (urea + peat); UZ (urea + 20% zeolite) and UZEA (urea + 20% + zeolite alkaline extract at pH \approx 5.5). The obtained formulations were applied in maize in an experiment conducted in pots as experimental units, where two plants of AG1051 hybrid, were cultivated in the greenhouse. The experimental design was completely randomized with eight formulations, three doses, and three repetitions, added a control. The treatments (formulations) were applied as more than 50% of the maize plants were in the five developmental stage (V5) at rates of 50, 100 and 150 kg ha⁻¹, whereas to this, the surface area of 471,4cm² of each experimental unit. The treatments were applied in coverage, and following were installed the collecting chambers SALE (semi-open static-free camera), proceeding with daily collections during six days after fertilization and then the samples were taken every six days, totaling nine collections during 24 days of evaluation. Were evaluated the loss by volatilization, dry mass of plants, and content and accumulation of N. The formulations did not differ with regard to loss by volatilization, leaving it to the higher doses applied, the greatest influence on the loss of N and on other parameters. There was a trend of lower accumulated loss by volatilization of N, for formulations that feature in its composition, humic substances and zeolite. Although reduced losses by volatilization, the fertilizer rates obtained considering the exposed soil area were not sufficient to ensure good yield potential culture, according to the indirect measurement of chlorophyll.

Keywords: Urea. Humic substances. Zeolite.

4.3 INTRODUÇÃO

Um dos principais entraves relacionado ao uso da ureia é a alta propensão à perda de nitrogênio por volatilização de amônia.

As perdas podem ser diminuídas mediante a incorporação da ureia ao solo, adição de compostos acidificantes e utilização de tecnologias que retardem a liberação do nutriente. Porém, limitações de âmbito operacional e econômico requerem formulações alternativas, que permitam menor custo e maior aproveitamento do fertilizante aplicado.

Alguns compostos como zeólitas e substâncias húmicas tem se mostrado favoráveis na diminuição de perdas de N via volatilização de NH_3 , devido às características que apresentam, principalmente a elevada capacidade de troca de cátions e tamponamento em torno do local de aplicação da ureia.

Neste capítulo é apresentada a avaliação da dinâmica do nitrogênio proveniente da ureia em formulações contendo substâncias húmicas e zeólita, em cultivo de milho (*Zeamays* L.) em experimento de vasos, objetivando verificar o comportamento das perdas de N via NH_3 . Será abordada a extração alcalina de substâncias húmicas de turfa que permita maior rendimento, perante menor consumo de extrator.

4.4 REVISÃO DE LITERATURA

4.4.1 Substâncias húmicas

Substâncias húmicas (SH) referem-se ao grupo de biomoléculas identificáveis, de grande dimensão com estrutura complexa e variável, produzidas principalmente pela ação microbiana, e compõe de 60 a 80% da matéria orgânica do solo, enquanto 20 a 30% do húmus do solo consistem em substâncias não húmicas que são facilmente atacadas por microorganismos.

As substâncias húmicas são geralmente amorfas, de cor escura, e com peso molecular variando de 2.000 a 300.000 g mol⁻¹. Devido à complexidade, o material humificado é muito resistente ao ataque microbiano, como mostrado por estudos isotópicos que mostram que o carbono orgânico incorporado ao húmus há milhares de anos ainda permanece no solo. As moléculas das substâncias húmicas absorvem grande parte dos comprimentos de onda da luz visível, o que proporciona a cor escura característica (Brady, 2013).

O húmus e a matéria macrorgânica (3-20 %) compõem a matéria orgânica não vivente, que contribui com aproximadamente 98% do carbono (C) em formas orgânicas (C orgânico) total (COT) do solo.

Um meio importante para estabilização da matéria orgânica do solo consiste na interação com minerais de argila, de forma que a matéria orgânica é protegida por microporos formados pelas partículas de argila, ficando inacessível ao ataque de microorganismos decompositores (Brady, 2013).

Substâncias húmicas (SH) são os principais componentes da matéria orgânica encontrados no solo e na água, bem como nos depósitos orgânicos geológicos, como turfa, lagos sedimentares, carvão e xisto. São componentes importantes para os solos, melhorando as propriedades químicas e físicas, como também a fertilidade dos mesmos. Em sistemas aquosos, como rios, cerca de 50% dos materiais orgânicos dissolvidos são substâncias húmicas que afetam o pH e alcalinidade, e por consequência a produtividade destes ambientes (IHSS, 2007). Ecossistemas onde a queima é um processo natural, e ocorre há milhões de anos, como nos Cerrados, o carvão originado da queima tem recebido atenção nos estudos referentes à matéria orgânica do solo (Silva e Mendonça, 2007).

Substâncias húmicas afetam a química, ciclagem e bioatividade dos elementos químicos, bem como o transporte e degradação de compostos químicos naturais e xenobióticos em sistemas aquáticos e terrestres. Consistem em misturas complexas e heterogêneas de materiais polidispersos formados por reações químicas e bioquímicas durante as transformações de restos de plantas e microorganismos, num processo denominado humificação. Lignina e produtos da transformação como polissacarídeos, melanina, cutina, proteínas, lipídeos, ácidos nucleicos, partículas finas de carvão, dentre outros, são importantes componentes, participantes deste processo (IHSS, 2007).

As substâncias húmicas e não húmicas encontram-se associadas ao ambiente edáfico e não são totalmente separadas pelos processos tradicionais de fracionamento, sendo difícil definir seus limites. Não existe um método de extração ideal para as substâncias húmicas, o qual deveria: possibilitar o isolamento do material orgânico na forma não alterada; permitir a extração de compostos orgânicos sem contaminação com outras substâncias inorgânicas, tais como cátions e argilas; favorecer a extração completa, garantindo assim, a representatividade do material extraído em relação a todas as demais frações de diferentes tamanhos, e finalmente, ser um método universalmente aplicável em todos os solos (Silva e Mendonça, 2007).

Nos solos e sedimentos as substâncias húmicas podem ser divididas em três frações principais: ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina. Os AH e AF são extraídos do solos ou de outra fonte em fase sólida, usando uma base forte (NaOH ou KOH). Ácidos húmicos são insolúveis em baixos valores de pH, e são precipitados pela adição de ácido forte (com pH próximo a 1, com adição de HCl). A fração humina não é solubilizada com a adição de ácido ou base forte (IHSS, 2007).

As propriedades específicas de determinada amostra de substância húmica depende da fonte, bem como das condições em que foi extraída, contudo, as propriedades médias de AH, AF e humina de diferentes fontes são notavelmente similares (IHSS, 2007).

O estudo das SH progrediu consideravelmente nas últimas três décadas, devido ao desenvolvimento de novas metodologias e equipamentos, contudo as rotas de origem das SH e métodos para determinação do grau de humificação ainda são tema de discussão, pois não existe um modelo específico para a estrutura química das frações humificadas da MOS (Primo et al., 2011).

De acordo com Primo et al. (2011), os estudos das SHs vão desde os métodos de extração, fracionamento e purificação até a caracterização por métodos espectroscópicos. Os métodos de extração mais utilizados são Kononova, Dabin, Danneberg & Ullah, Schnitzer, Swift, Benites e os de purificação consistem no uso de ácido fluorídrico (HF), resina DAX-8, diálise e liofilização. A caracterização é feita por técnicas espectroscópicas, sendo as espectroscopias na região do ultravioleta-visível (UV), na região do infravermelho (IV), fluorescência, ressonância magnética nuclear (RMN) e ressonância paramagnética eletrônica (RPE) as mais utilizadas ultimamente.

4.4.2 Efeitos das substâncias húmicas

Durante milhões de anos de evolução, as plantas interagiram dinamicamente e continuamente com o componente orgânico do solo, desenvolvendo novas rotas de sinalização celular, mudanças genéticas e bioquímicas, inicialmente importantes para a diversificação e disseminação das plantas no planeta, posteriormente assumiram um papel fundamental na adaptação das plantas do ambiente selvagem para o domesticado que teve curso com o desenvolvimento da agricultura. Além de fornecer nutrientes as plantas, e condicionar as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do ambiente, a matéria orgânica humificada estabelece uma inter-relação íntima e complexa com a planta e seu metabolismo (Canellas & Santos, 2005).

Braz et al. (2010), avaliando as alterações na morfogênese de raízes de plântulas de *Arabidopsis thaliana* provocadas pela adição de ácidos húmicos isolados de vermicomposto, em comparação com o efeito do ácido indol-3-acético (AIA), observaram que os ácidos húmicos conduziram a um aumento quadrático no número de raízes laterais emitidas, bem como aumento significativo do comprimento principal da raiz na dose de 40 mg L⁻¹. Dessa forma os ácidos húmicos apresentam efeito similar às auxinas, mas novos estudos são necessários para elucidar os mecanismos atuantes na bioatividade de ácidos húmicos em plantas.

Silva et al. (2011), avaliando a bioatividade de substâncias húmicas alcalino solúveis (SH), ácidos húmicos (AH) e fúlvicos (AF), isolados de turfeiras, sobre plântulas de tomate concluíram que os AH foram mais bioativos, enquanto a maioria dos AF não promoveu o crescimento radicular.

Guimarães (2011) obteve redução na volatilização de amônia com uso de AH isolado de carvão vegetal de 44,5 % em decorrência da granulação de ureia com 15% de AH e redução de 28,7 % devido ao revestimento com 20 % de AH, em comparação a aplicação de ureia sem aditivos.

Yusuffet al. (2009), obtiveram redução de 36,7 % na volatilização de amônia com o tratamento da ureia com ácido húmico obtido de turfa, comparado com ureia sem aditivos.

4.4.3 Extração e fracionamento de substancias húmicas

As substancias húmicas são fracionadas em função de sua solubilidade em diferentes valores de pH, em: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina.

Ainda que muitas substâncias tenham sido utilizadas para extração das substâncias húmicas do solo, as mais frequentemente adotadas tem sido as soluções alcalinas, principalmente o NaOH (Cunha et al. 2000).

O método proposto pela International Humic Substances Society (IHSS) permite resultados satisfatórios para a maioria dos solos e é possível de ser executado na maioria dos laboratórios. Este método realiza o procedimento de extração em 4 horas, com solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹ à temperatura ambiente, com a razão solo/extrator de 1:10 (m/v) sob atmosfera de nitrogênio (IHSS, 2013).

De acordo com IHSS (2013), é estabelecido que o método proposto não é recomendado ou aprovado, contudo, tornou-se ferramenta de comparação entre laboratórios, por proporcionar rendimentos relativamente elevados e devido a facilidade de implantação da metodologia.

De acordo com Rosa et al. (2000), o rendimento da extração de ácidos húmicos de solo, com KOH nas concentrações de 0,1; 0,5 e 1,0 mol l⁻¹, foi maior com o aumento da concentração do extrator. Em comparação com soluções de NaOH nas mesmas concentrações, o KOH obteve maior rendimento nas concentrações de 0,5 e 1,0 mol l⁻¹, como também proporcionou menor extração e material inorgânico.

Com relação a razão turfa/extrator, Rosa et al. (2000), obtiveram maior rendimento de material orgânico extraído utilizando a razão 1:20 (m/v), sendo que em razões maiores, ocorreu apenas o aumento do conteúdo de material inorgânico extraído. Segundo os mesmos autores, o tempo de extração além de 4 horas não aumenta o rendimento da extração, e a menor granulometria da turfa utilizada (0,21 mm), favoreceu a extração de maior teor de matéria orgânica, devido à maior superfície de contato.

As melhores condições encontradas por Rosa et al. (2000), para extração de substancias húmicas a partir de turfa consiste em: solução extratora de KOH (0,5 mol L⁻¹); tempo de extração de 4 horas; razão turfa/extrator de 1:20 (m/v); temperatura ambiente (25 – 30 °C); sob atmosfera de nitrogênio; com agitação mecânica e granulometria de 0,21 mm.

O extrator não deve conter elementos nocivos ao desenvolvimento vegetal, de forma que o hidróxido de sódio (NaOH), largamente empregado nos métodos de extração e fracionamento não deve ser utilizado devido a adição de sódio, decorrente da formação de humatos de sódio (Santos Júnior, 2003). Extratores como o hidróxido de potássio (KOH), que além de apresentar boa eficiência na separação das diferentes frações de substancias húmicas, que condiciona a formação de humatos e fulvatos de potássio, não oferecendo risco quanto à adição de elementos nocivos ao produto final.

4.4.4 Zeólitas

O *Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names*, de acordo com Coombs et al. (1997), considera como zeólita toda substância cristalina com estrutura caracterizada por um arcabouço de tetraedros interligados, cada um consistindo de quatro átomos de oxigênio envolvendo um cátion. A estrutura contém cavidades abertas, que são normalmente ocupadas por moléculas de água e cátions que em geral são trocáveis. As dimensões dos canais são suficientes para permitir a passagem de certos elementos. Em fases hidratadas, a desidratação

ocorre na maioria das vezes a temperaturas abaixo de 400°C, sendo quase sempre reversível. O arcabouço pode ser interrompido por grupos de OH e F, que ocupam os vértices de tetraedros não compartilhados com tetraedros adjacentes.

As zeólitas são minerais de ocorrência natural constituídas predominantemente por silício e alumínio, ainda que a atual classificação permita a presença de outros cátions na estrutura (Rezende & Monte, 2005).

De acordo com Rezende & Monte (2005), de forma semelhante aos feldspatos, nas zeólitas, ocorre substituição de parte do Si^{4+} por Al^{3+} , gerando uma deficiência de carga positiva, que é balanceada pela incorporação de cátions monovalentes ou divalentes em sua estrutura.

Uma mesma espécie de zeólita permite a substituição livre de cátions, havendo restrição apenas no quesito balanço de carga, de forma que 2 Na^+ pode substituir 1 Ca^{2+} , ou 2 NH_4^+ pode substituir 1 Sr^{2+} , sendo possível por uma simples lavagem a substituição dos cátions ligados a estrutura. São características importantes, pois permitem a obtenção de concentrados zeolíticos homoiônicos (Rezende & Monte, 2005).

As zeólitas destacam-se por apresentarem, quando desidratadas, baixa densidade e grande volume de vazios, com canais relativamente uniformes, além de manterem sua estrutura cristalina estável, e pela elevada CTC (Rezende & Monte, 2005). De acordo com os mesmos autores, apresentam as mais diversas aplicações, dentre as quais: sua utilização na área ambiental; como condicionador de solos; em fertilizantes; no tratamento de águas poluídas; no controle de odores, principalmente relacionado à criação de animais; na nutrição animal; filtragem de ar; aquicultura e construção civil.

Gholamhoseini et al. (2013), observaram que a adição de zeólita a composto de esterco reduziu a lixiviação de fósforo, entretanto o efeito sobre a lixiviação de nitrato não obteve a mesma redução em estudo conduzido em solo arenoso. A mistura de 21% de zeólita (clinoptilolita) com composto de esterco obteve a maior redução na lixiviação de nitrato da zona radicular.

De acordo com Gholamhoseini et al., (2013), a diminuição da lixiviação ocorreu em consequência da capacidade de armazenamento e por sua vez, proteção, dos íons amônio, em função do tamanho dos canais, que não permitem a entrada de bactérias nitrificantes.

Portanto, quando o amônio está disponível no solo, a zeólita adsorve seletivamente, tornando-o indisponível às bactérias nitrificantes que por sua vez estão ativas em solos arenosos bem aerados. Assim a transformação de amônio para nitrato é diminuída com a adição de zeólita, e conseqüentemente a perda de nitrato por lixiviação (Mumpton, 1999).

4.4.5 Efeitos de zeólitas na redução da volatilização de amônia

A alta capacidade de troca catiônica permite à zeólita diminuir o conteúdo de amônio em solução, estando menos propenso a reações que podem levar a perda de N.

Alves et al. 2007 verificaram que a adição de 25% de zeólita à ureia proporcionou as menores perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, sendo inclusive a mais apropriada economicamente. A adição de 25% de zeólita também foi avaliada por Bernardi et al. (2007), onde foi verificado aumento da produção de matéria seca de milho e melhor uso do N para as maiores doses de ureia avaliadas.

4.5 MATERIAIS E MÉTODOS

4.5.1 Extração e fracionamento de substâncias húmicas

Para a determinação da eficiência de extração e fracionamento de turfa, com hidróxido de potássio para a obtenção dos ácidos orgânicos, utilizados na formulação dos fertilizantes, foi conduzido um experimento no Laboratório de Estudos das Relações Solo-Planta do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

Adotou-se como extrator, o hidróxido de potássio (KOH), que além de apresentar boa eficiência na separação das diferentes frações de substâncias húmicas, não oferece riscos de adição de elementos nocivos ao desenvolvimento das plantas.

Foram testadas as condições de extração e fracionamento de substâncias húmicas com solução alcalina de hidróxido de potássio (KOH), em três razões turfa/solução extratora (1/5, 1/10 e 1/20 em m/v), e em quatro concentrações da solução extratora (0,05; 0,1; 0,25 e 0,5 mol L⁻¹ de KOH).

O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, com 12 tratamentos (três razões e quatro concentrações) e quatro repetições (Tabela 13). Para o procedimento, a turfa foi seca em estufa a 45°C por uma hora, e peneirada em malha de 65 mesh.

Objetivou-se o maior rendimento em ácidos húmicos, uma vez que consiste na fração de maior dificuldade de obtenção em quantidade suficiente para a formulação dos fertilizantes. Entretanto, foram também utilizadas as demais frações extraídas, como o ácido fúlvico, o extrato alcalino (ácidos húmicos + ácidos fúlvicos – obtido após centrifugação da turfa tratada com solução alcalina), e a própria turfa *in natura*.

Tabela 13 – Descrição dos tratamentos utilizados nos testes de extração e fracionamento de substâncias húmicas utilizando o extrator hidróxido de potássio (KOH).

Tratamentos	Relação turfa/solução extratora (m/v)	Concentração da solução extratora (mol L ⁻¹)
T1	1/5	0,05
T2	1/5	0,1
T3	1/5	0,25
T4	1/5	0,5
T5	1/10	0,05
T6	1/10	0,1
T7	1/10	0,25
T8	1/10	0,5
T9	1/20	0,05
T10	1/20	0,1
T11	1/20	0,25
T12	1/20	0,5

As unidades experimentais constituíram tubos tipo Falcon com capacidade de 50 mL, onde foram desenvolvidas as etapas descritas a seguir: **a)** foi adicionado aproximadamente um grama (1g) de turfa em cada tubo tipo Falcon, **b)** foi adicionada a solução extratora (KOH) nas razões turfa/solução extratora de 1:5, 1:10 e 1:20, e nas concentrações de 0,05; 0,1; 0,25 e 0,5 mol L⁻¹, **c)** a turfa foi misturada à solução extratora manualmente por agitação, e permaneceu em repouso por duas horas, **d)** os tubos foram centrifugados por 30 minutos a 3577 g (5000 rpm), e o sobrenadante (extrato alcalino 1) foi recolhido em outro tubo tipo Falcon, **e)** sobre o precipitado foi adicionada a solução extratora como descrito no item a), que foi misturado a mesma com auxílio de espátula, e permaneceu em repouso por uma hora, **f)**

foi realizado o procedimento do ítem d), sendo obtido o sobrenadante (extrato alcalino 2), **g**) o precipitado foi reservado e seco em estufa a 45 °C por 24 horas, **h**) o pH do extrato alcalino (misturados extratos alcalinos 1 e 2), foi ajustado para valor entre 1 e 2, com adição de H₂SO₄5% e permaneceu em repouso por 16 horas, **i**) decorridas as 16 horas, foi realizada a centrifugação a 3577 g (5000 rpm) por 30 minutos, onde foi obtido o sobrenadante contendo a fração de ácidos fúlvicos e o precipitado, contendo os ácidos húmicos.

4.5.2 Formulação dos fertilizantes nitrogenados

O processo de pelotização dos fertilizantes foi realizado Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes da Embrapa Solos (CNPQ), utilizando-se um disco pelotizador de prato (diâmetro de 40 cm).

Inicialmente, os materiais utilizados na formulação dos fertilizantes foram moídos e peneirados, para permitir melhor homogeneidade da mistura final e facilitar a pelotização, ou seja, a formação de pelotas regulares a partir de materiais com granulometria fina.

As misturas foram preparadas utilizando ureia moída, combinada com os produtos propostos, a saber: ácido húmico, turfa bruta, extrato alcalino (líquido e acidificado para pH ≈ 5,5), ácido fúlvico (líquido) e zeólita, em diferentes proporções. Foram realizadas misturas físicas, com auxílio de peneiras, de forma a facilitar a homogeneização dos componentes sólidos. A adição dos ingredientes em estado líquido foi realizada por borrifação sobre o ingrediente sólido previamente adicionado ao disco pelotizador durante o processo de pelotização. O resumo das formulações pode ser observado na Tabela 14.

Durante a granulação, foi necessário intervir na inclinação e na velocidade de rotação do prato, de acordo com cada mistura. O fertilizante, ao ser retirado do prato foi classificado quanto à dimensão dos grânulos, e estando entre 2 e 4 mm seguia para secagem em temperatura de 45°C, em estufa de circulação forçada.

Todos os fertilizantes foram produzidos pelo processo de pelotização, conforme descrito a seguir:

- **Ureia (U)** – Obtida a partir da pelotização de ureia moída, previamente homogeneizada em peneira de 0,5mm. Apilotização foi realizada adicionando-se água destilada por borrifação.
- **Ureia + Zeólita 20% (UZ)** – Consiste na mistura física de ureia moída (U) e zeólita em proporção de 20% m/m, misturada e homogeneizada com auxílio de peneira de 0,5 mm e a pelotização foi realizada adicionando-se água destilada à mistura.
- **Ureia + Ácido Húmico 15% (UAH)** – Consiste na mistura física de ureia moída (U) e ácido húmico em proporção de 15% m/m, misturada e homogeneizada com auxílio de peneira de 0,5 mm, sendo a pelotização realizada adicionando-se água destilada à mistura.
- **Ureia + Ácido Húmico 5% + Zeólita 15% (UAHZ)** – Consiste na mistura física de ureia moída (U), ácido húmico em proporção de 5% m/m e zeólita em proporção de 15% m/m. Os componentes foram misturados com auxílio de peneira de 0,5 mm, para facilitar a homogeneização e a pelotização realizada adicionando-se água destilada à mistura.
- **Ureia + Ácido Fúlvico (UAF)** – Obtido pela pelotização da ureia moída (U), em que a pelotização foi realizada adicionando-se ácido fúlvico, por borrifação.
- **Ureia + EA (UEA)** – Obtido da pelotização da ureia moída (U) borrifada com extrato alcalino, que atuou como agente aglutinante.

- **Ureia + Zeólita 20% + EA (UZEA)** – Consiste na mistura física de ureia moída (U) e zeólita em proporção de 20% m/m, misturada e homogeneizada com auxílio de peneira de 0,5 mm, com extrato alcalino, que desempenhou o papel de aglutinante.
- **Ureia + Turfa 15% (UT)** – Consiste na mistura física de ureia moída (U) e turfa moída na proporção de 15% m/m misturada e homogeneizada com auxílio de peneira de 0,5 mm, sendo utilizada água como agente aglutinante.

Os fertilizantes obtidos pelo processo de pelotização estão apresentados na Figura 20, onde é possível visualizar o aspecto final. O teor de nitrogênio determinado em Analisador de Nitrogênio (Rapid N Cube – Elementar Analysen systeme®) é apresentado na Tabela 14.

Tabela 14–Identificação, composição e percentual de nitrogênio dos fertilizantes formulados utilizados no experimento em casa de vegetação.

Nº	Identificação	Composição	Nitrogênio (%)
1	U	N-Ureia	45,56
2	UZ	N-Ureia + Zeólita (20%)	36,98
3	UAH	N-Ureia + Ácido Húmico (15%)	38,90
4	UAHZ	N-Ureia + Ácido Húmico (5%) + Zeólita (15%)	37,38
5	UAF	N-Ureia + Ácido Fúlvico	44,73
6	UEA	N-Ureia + Extrato Alcalino (pH ≈ 5,5)	44,27
7	UZEA	N-Ureia + Zeólita (20%) + Extrato Alcalino (pH ≈ 5,5)	36,89
8	UT	N-Ureia + Turfa (15%)	38,99



Figura 20 – Detalhe dos fertilizantes utilizados no experimento. **1** – N-Ureia; **2** – N-Ureia + Zeólita (20%); **3** – N-Ureia + Ácido Húmico (15%); **4** – N-Ureia + Ácido Húmico (5%) + Zeólita (15%); **5** – N-Ureia + Ácido Fúlvico; **6** – N-Ureia + Extrato Alcalino (pH \approx 5,5); **7** – N-Ureia + Zeólita (20%) + Extrato Alcalino (pH \approx 5,5); **8** – N-Ureia + Turfa (15%).

4.5.3 Teste de desempenho agrônômico

O material de solo utilizado no experimento foi originado de solo classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO, sendo coletado em área pertencente à UFRRJ. O mesmo foi seco e peneirado em malha de 4 mm, sendo incubado com calcário para a correção do pH, como proposto por Stafanato (2009). As unidades experimentais foram vasos plásticos preenchidos com sete litros de solo.

Tabela 15 – Caracterização química do solo utilizado no experimento.

Na	Ca	Mg	H+Al	Al	S	T	V	m*	n**	pH	P	K	
			-----cmol _c /dm ³ -----						-----%-----			1:2,5	---mg/L---
0,01	1,99	0,42	3,72	0	2,49	6,20	55	0	0	6,2	3,0	23, 9	

*saturação por Al, ** saturação por Na.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito formulações, três doses, e três repetições, adicionados de um controle. Os tratamentos foram compostos pela combinação entre as formulações e doses, como apresentado na Tabela 16.

No momento da semeadura, foi realizada a adubação nitrogenada, aplicando-se em cada vaso com 0,0471 m² de área superficial exposta, 0,2 g de ureia (45% N), correspondendo à dose de 20 kg N ha⁻¹.

Foram cultivadas duas plantas de milho, do híbrido AG1051 por vaso, semeadas em 26/07/2013. Os tratamentos (Tabela 16) foram aplicados quando a maioria das plantas se encontravam no estágio de desenvolvimento 5 (V5), no dia 31/08/2013, constatado pela presença de 5 folhas completamente expandidas. Vale ressaltar que as quantidades de ureia aplicadas, equivalentes às doses de 50, 100 e 150 kg N ha⁻¹, como apresentado na Tabela 16 foram obtidas considerando a área superficial média de solo exposto em cada unidade experimental, de 471,4 cm².

Os fertilizantes foram aplicados em cobertura, e na sequência foram instaladas as câmaras coletoras SALE (câmara semiaberta livre estática) conforme Araújo et al. (2009). Procedeu-se com coletas diárias durante seis dias subsequentes à adubação, e posteriormente, as coletas foram realizadas a cada seis dias, totalizando nove coletas durante 24 dias de avaliação.

A umidade do solo nas unidades experimentais foi mantida em torno de 70% da capacidade de campo, mediante pesagem de 10% dos vasos.

Tabela 16 – Detalhamento dos tratamentos, dose de referência em kg N ha⁻¹, composição, teor de nitrogênio e dose aplicada em cada unidade experimental.

Tratamento		Composição	Nitrogênio (%)	Dose aplicada (gramas)
Formulação	Dose (kg N ha ⁻¹)			
Controle	0	-	0	0
U	50	N-Ureia	45,56	0,516
	100			1,033
	150			1,550
UZ	50	N-Ureia + Zeólita (20%)	36,98	0,636
	100			1,273
	150			1,910
UAH	50	N-Ureia + Ácido Húmico (15%)	38,90	0,605
	100			1,210
	150			1,816
UAHZ	50	N-Ureia + Ácido Húmico (5%) + Zeólita (15%)	37,38	0,630
	100			1,260
	150			1,890
UAF	50	N-Ureia + Ácido Fúlvico	44,73	0,526
	100			1,053
	150			1,579
UEA	50	N-Ureia + Extrato Alcalino (pH ≈ 5,5)	44,27	0,532
	100			1,063
	150			1,595
UZEA	50	N-Ureia + Zeólita (20%) + Extrato Alcalino (pH ≈ 5,5)	36,89	0,638
	100			1,276
	150			1,915
UT	50	N-Ureia + Turfa (15%)	38,99	0,604
	100			1,208
	150			1,812

Foram realizadas leituras para medição indireta do teor de clorofila utilizando o medidor eletrônico de clorofila da marca clrofiLOG® modelo CFL 1030, produzido pela Falker Automação Agrícola quando as plantas apresentavam 9 folhas completamente expandidas (um dia antes da coleta das plantas). Foram realizadas cinco leituras na porção média da folha totalmente expandida de cada planta.

Ao final do experimento as plantas foram seccionadas em raiz, parte aérea e folha indicadora (última folha completamente expandida), e secas em estufa com circulação forçada de ar a 65°C. O material seco foi pesado para determinação de massa seca de raiz, parte aérea e folha indicadora, processado em moinho e posteriormente foram realizadas as determinações do teor e total acumulado de nitrogênio.

4.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.6.1 Extração e fracionamento de substâncias húmicas

Como apresentado na Tabela 17 a razão turfa/solução extratora resultou em diferentes rendimentos de humina, ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF). A razão de 1/20 obteve o maior rendimento em ácidos húmicos (AH). Houve aumento no rendimento da fração AH, em decorrência da diminuição da razão turfa/extrator.

O rendimento de humina foi menor para a razão 1/20, já que esta razão proporcionou maior rendimento de AH, denotando maior efetividade na remoção dos ácidos orgânicos pouco associados à fração mineral. As variações de razão não ocasionaram variações no rendimento de AF.

Tabela 17 – Rendimento das frações humina, ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF) obtidas de turfa, por extração alcalina em função da razão turfa/extrator (m/v).

Razão turfa/extrator (m/v)	Rendimento (%)		
	Humina	AH	AF
1/5	78,73 a	17,48 c	4,12 a
1/10	75,57 a	20,67 b	3,99 a
1/20	70,54 b	24,98 a	5,19 a

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

A concentração da solução extratora de KOH proporcionou diferentes rendimentos de humina, ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF), como exposto na Tabela 18.

O rendimento de humina não apresentou diferença estatística, embora os maiores rendimentos sejam verificados para as concentrações extremas. A fração AF apresentou maior rendimento com as menores concentrações testadas. Para AH, observa-se aumento no rendimento quando a concentração passa de 0,05 para 0,1 mol L⁻¹, não havendo ganhos significativos com o uso de soluções mais concentradas, como observado na Tabela 18.

Tabela 18 – Rendimento das frações humina, ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF) obtidas de turfa por extração alcalina em função da concentração da solução extratora de KOH.

Concentração da solução extratora (mol L ⁻¹)	Rendimento (%)		
	Humina	AH	AF
0,05	77,7 a	16,08 c	6,2 a
0,1	72,34 b	21,13 b	6,51 a
0,25	73,64 ab	24,17ab	3,74 ab
0,5	73,97ab	26,0a	0,82 b

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

Considerando somente o rendimento de AH, houve interação entre a razão turfa/solução extratora e a concentração da solução extratora como se pode observar na Tabela 19.

Tabela 19 – Análise de variância do rendimento de ácido húmico (AH) com diferentes razões e concentrações para extração alcalina com solução de hidróxido de potássio(KOH).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio
Razão	2	213,67*
Concentração	3	152,84*
Razão x Concentração	6	56,10*
Resíduo	30	4,08
CV (%)		9,45

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

O aumento da concentração da solução extratora para as razões 1/10 e 1/20 proporciona aumento significativo no rendimento de AH, diferentemente da razão 1/5, que não mostra alteração de rendimento.

O efeito das razões é observado exceto para a concentração de 0,25 mol L⁻¹, que não diferiu estatisticamente. Para a concentração de 0,05 mol L⁻¹ as razões proporcionaram efeito significativo, sendo a menor média observada para a razão 1/10, e a maior para 1/20 (m/v).

Verifica-se na concentração de 0,1 mol L⁻¹ diferença significativa entre todas as razões estudadas, com o maior rendimento com 1/20.

Adotou-se a combinação entre solução extratora de solução de hidróxido de potássio (KOH) com concentração de 0,1 mol L⁻¹, com a razão turfa/solução extratora de 1/20 (m/v) apresenta-se favorável para a extração de AH com maior rendimento, pois não foram observados aumentos significativos com o uso de maiores concentrações.

As condições de extração adotadas permitem o melhor aproveitamento dos recursos, fato que otimiza a operação principalmente considerando a sua realização em larga escala.

Tabela 20 – Rendimento de AH extraído de turfa, em função de diferentes razões turfa/solução extratora e concentrações de solução de hidróxido de potássio (KOH).

Razão (m/v)	Concentração (mol L ⁻¹)			
	0,05	0,1	0,25	0,5
1/5	17,40 bA	15,19 cA	20,64 aA	16,7 bA
1/10	9,84 cC	21,97 bB	24,13 aAB	26,76 aA
1/20	21,0 aB	26,24 aA	25,10 aA	27,56 aA

Letras minúsculas iguais nas colunas e maiúsculas iguais nas linhas não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%.

4.6.2 Teste de desempenho agrônômico

- **Perda de nitrogênio por volatilização de amônia**

Houve interação significativa entre a formulação e a dose do fertilizante aplicado, para o 1° e 12° dia e para o total acumulado, nas quantidades de nitrogênio volatilizado via amônia, como pode ser observado na Tabela 21.

No início do período avaliado, representado pelo 1° DAA (1° dia após a adubação) a interação entre as formulações e as doses utilizadas não expressa o fenômeno, já que o mesmo comportamento não foi observado no decorrer do tempo, exceto para o 12° DAA.No que se refere à interação observada para o 12° DAA, a oscilação da volatilização, bem como a magnitude dos resultados implica em menor importância desta, já que não se apresentou significativa durante a maior parte do tempo em que o comportamento foi avaliado.

Os fatores fórmula e dose foram significativos para o nitrogênio total volatilizado ao final do período de 24 dias. Observa-se grande influência do comportamento avaliado no 1º DAA, sobre o resultado obtido no final do período avaliado.

Avaliando os efeitos simples, observa-se que o fator dose nas condições avaliadas exerceu maior influência sobre a volatilização de amônia, em detrimento a fórmula aplicada, como apresentado na Tabela 21, já que influi na volatilização desde o 1º DAA até o 12º DAA, ininterruptamente.

O tratamento controle diferiu significativamente para os valores de N volatilizado no 2º, 3º e 12º dia, e para o total volatilizado. A diferença observada no 2º e 3º dia remete ao pico de volatilização, que acarreta em diferença no valor total, pelo mesmo motivo.

A não diferenciação entre os tratamentos e o controle aconteceu nos dias em que a volatilização de NH₃ atingiu valores baixos, como observado a partir do 4º dia até o final do período avaliado.

Tabela 21 – Análise de variância da perda de nitrogênio por volatilização de amônia até 24 dias após a aplicação dos fertilizantes formulados e perda total acumulada, em decorrência dos fatores formulação e dose.

FV	GL	Quadrado médio (dias após aplicação)									
		1º	2º	3º	4º	5º	6º	12º	18º	24º	TOTAL
Formulação (F)	8	2,98 ^{***}	13,93 ^{**}	2,82 ^{***}	0,044	0,015	0,0099 [*]	0,019 [*]	0,0011	0,0053 [*]	35,21 ^{***}
F x fat.	2	3,029 ^{**}	8,48	0,54	0,043	0,028	0,012 [*]	0,0021	0,0014	0,0043	30,54 [*]
F x adi.	1	0,24	29,68 ^{**}	18,53 ^{***}	0,092	0,016	0,0099	0,043 [*]	0,000027	0,0030	101,25 ^{***}
Dose (D)	2	11,76 ^{***}	68,05 ^{***}	8,37 ^{***}	0,72 ^{***}	0,16 ^{**}	0,012 [*]	0,136 ^{***}	0,0010	0,0031	262,67 ^{***}
F x D	14	1,61 ^{**}	6,36	0,60	0,020	0,0078	0,0024	0,021 ^{**}	0,00053	0,0035	13,48 [*]
Resíduo	50	0,57	3,56	0,48	0,039	0,0089	0,0036	0,0066	0,0013	0,0019	6,37
CV (%)		40,76	40,65	46,7	55,72	49,67	33,97	57,46	106,75	96,66	28,23

Significativo a ^{***} 0,1; ^{**} 1 e ^{*} 5 % de probabilidade pelo teste F.

De acordo com a Tabela 22, para o 1º DAA (1º dia após a aplicação dos fertilizantes), as formulações não diferiram entre si para as doses de 50 e 100 kg N ha⁻¹. Já a dose de 150 kg N ha⁻¹ proporcionou às formulações UZ (ureia + zeólita 20%), UEA (ureia + extrato alcalino em pH ≈ 5,5) e UT (ureia + turfa 15%) maiores médias. As formulações UEA e UT diferiram entre as doses, apresentando maiores perdas quando aplicadas na dose de 150 kg N ha⁻¹. Enquanto a formulação UAF (ureia + ácido fúlvico) apresentou maior perda com a aplicação de 100 kg N ha⁻¹.

No 12º DAA, as maiores perdas foram observadas para aplicação de 150 kg N ha⁻¹ das formulações UAH (ureia + ácido húmico) e UEA.

Não houve diferença para o total volatilizado entre as formulações para as doses 50 e 100 kg N ha⁻¹. Na dose 150, UEA e UAH apresentaram as maiores perdas.

A formulação UZEA (ureia + zeólita 20% + extrato alcalino em pH ≈ 5,5) obteve a menor perda, apresentando também diferença entre as doses aplicadas.

Tabela 22 – Perda de nitrogênio (kg N ha⁻¹) por volatilização de amônia para o 1º e 12º dia após a aplicação (DAA), e o total perdido em função da aplicação de diferentes formulações e doses.

Dose (kg N ha ⁻¹)	Formulação							
	U	UZ	UAH	UAHZ	UAF	UEA	UZEa	UT
1º DAA								
50	1,6Aa	1,8Aa	1,11Aa	0,9Aa	0,83Ab	1,47Ab	0,97Aa	0,96Ab
100	1,97Aa	2,88Aa	1,25Aa	1,52Aa	3,16Aa	1,4Ab	1,31Aa	1,46Ab
150	2,41Ba	2,98ABa	1,88Ba	1,59Ba	2,34Ba	4,93Aa	1,66Ba	3,06Ba
12º DAA								
50	0,046Aa	0,077Aa	0,095Ab	0,14Aa	0,053Aa	0,066Ab	0,049Aa	0,11Aa
100	0,094Aa	0,13Aa	0,092Ab	0,11Aa	0,15Aa	0,11Ab	0,12Aa	0,16Aa
150	0,17BCa	0,12Ca	0,36Ba	0,18Ca	0,17Ca	0,50Aa	0,14Ca	0,15Ca
total								
50	5,57Ab	5,05Ab	5,74Ab	5,32Ab	4,29Ab	7,9Ab	4,92Aa	7,2Aa
100	9,98Aa	9,88Aa	9,23Ab	8,47Aab	10,53Aa	7,2Ab	9,2Aa	9,46Aa
150	10,75Ba	11,14Ba	16,79Aa	11,43Ba	9,19Ba	17,98Aa	9,75Ba	11,84Ba

Letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

A dose aplicada afetou as médias de N volatilizado para o 2º até o 6º dia após a aplicação dos tratamentos. A dose de 150 kg N ha⁻¹ proporcionou as maiores médias (Tabela 23).

As formulações afetaram significativamente a volatilização no 2º, 3º, 6º e 24º dia. Observa-se, porém, apenas diferença entre as médias do 3º e 24º dia, em que houve maior perda de N para UAH e UZEa, respectivamente (Tabela 24).

Tabela 23– Perda de nitrogênio (kg N ha⁻¹) por volatilização de amônia em função da aplicação de doses de nitrogênio (kg N ha⁻¹) através de diferentes formulações, mensuradas para o 2º, 3º, 4º, 5º e 6º dia após a aplicação.

Doses	Dias após aplicação				
	2º	3º	4º	5º	6º
50	2,99 c	0,89 c	0,20c	0,11c	0,15b
100	4,85 b	1,6 b	0,33b	0,19b	0,18ab
150	6,35 a	2,07 a	0,54a	0,27a	0,19a

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

Tabela 24 – Perda de nitrogênio (kg N ha⁻¹) por volatilização de amônia para o 2º, 3º, 6º e 24º dia após aplicação de diferentes formulações de fertilizantes.

Tratamentos	Dias após aplicação			
	2º	3º	6º	24º
U	4,63a	1,37b	0,14a	0,0067b
UAF	3,75a	1,13b	0,20a	0,046ab
UAH	5,47a	2,64a	0,19a	0,054ab
UAHZ	4,44a	1,6ab	0,19a	0,052ab
UEA	6,27a	1,08b	0,22a	0,040ab
UT	5,36a	1,36b	0,16a	0,064ab
UZ	3,55a	1,77b	0,14a	0,017b
UZEa	4,40a	1,32b	0,15a	0,087a

Letras iguais minúsculas na coluna não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

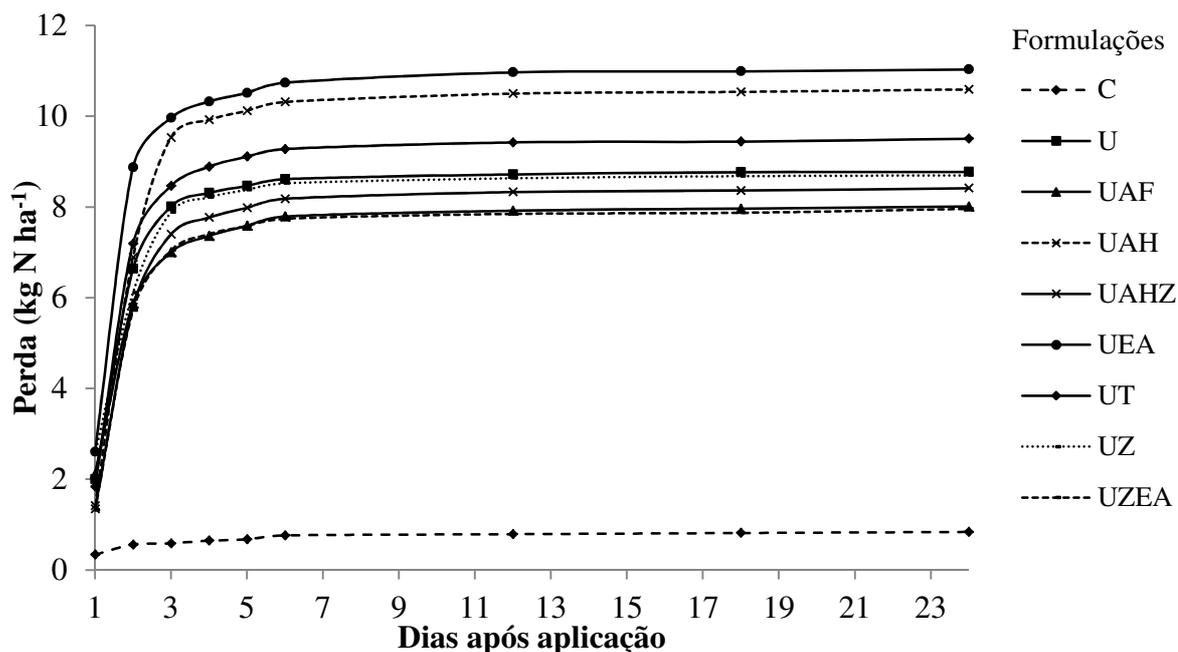


Figura 21 - Perda acumulada de nitrogênio via volatilização de amônia (kg N ha^{-1}) até 24 dias após a aplicação das formulações, em que: C (controle); U (ureia); UAF (ureia + ácido fúlvico); UAH (ureia + ácido húmico 15%); UAHZ (ureia + ácido húmico 5% + zeólita 15%); UEA (ureia + extrato alcalino em $\text{pH} \approx 5,5$); UT (ureia + turfa); UZ (ureia + zeólita 20%) e UZEA (ureia + zeólita 20% + extrato alcalino em $\text{pH} \approx 5,5$).

Para a perda total de nitrogênio por volatilização de amônia em função das formulações testadas, ainda que não apresentem diferença estatística significativa, é possível observar que as formulações UAF (ureia + ácido fúlvico), UAHZ (ureia + ácido húmico 5% + zeólita 20%) e UZEA (ureia + zeólita 20% + extrato alcalino em $\text{pH} \approx 5,5$) tenderam a valores totais de N perdido inferiores à ureia (U) (Figura 21). Pode-se inferir que formulações combinando dois aditivos tendem a ser mais efetivas na redução da volatilização de amônia, como constatado quando da utilização de zeólita com ácido fúlvico e extrato alcalino.

A perda total de N verificada ao final do período de 24 dias, em termos percentuais (Figura 22) foi muito reduzida considerando que podem chegar a 80% do N aplicado (Alves et al., 2007). Provavelmente o fato esteja associado à elevada umidade do solo, em torno de 70% da capacidade de campo, mantida durante a condução do experimento.

A elevada umidade mantida no solo desfavoreceu a volatilização de amônia, assim, não é possível concluir a respeito do comportamento das formulações perante condições em que a volatilização é favorecida.

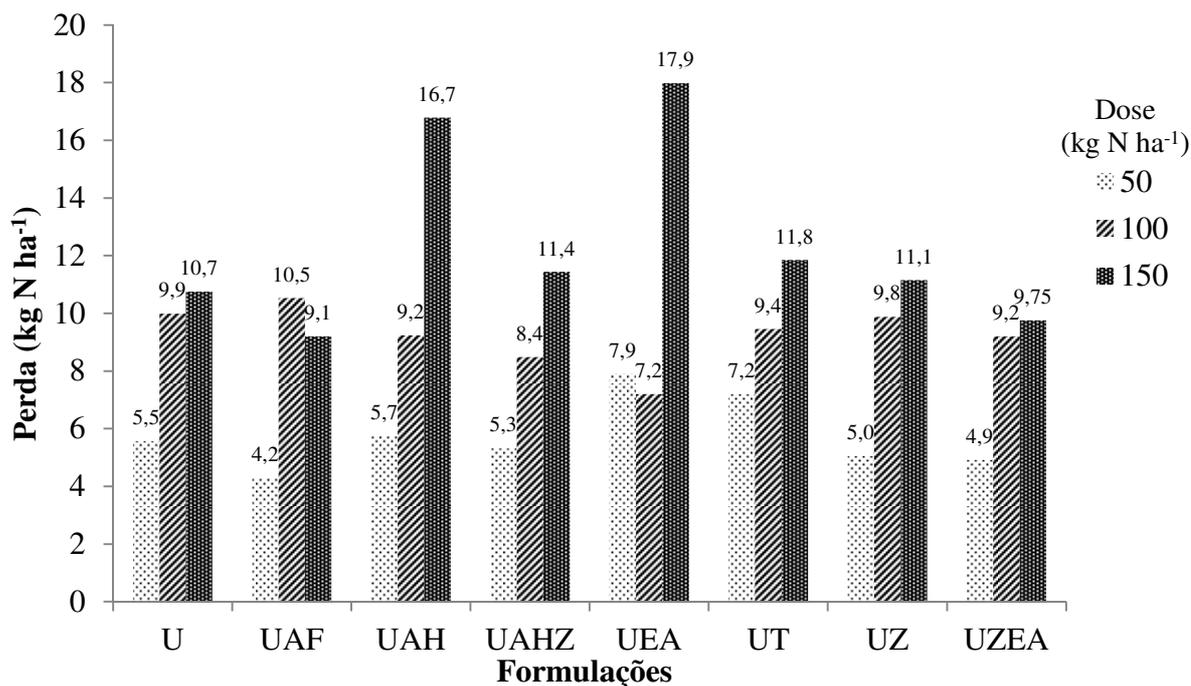


Figura 22 – Perda total de nitrogênio (kg N ha^{-1}) por volatilização de amônia em um período de 24 dias, em função da aplicação de diferentes doses das formulações U (ureia); UAF (ureia + ácido fúlvico); UAH (ureia + ácido húmico 15%); UAHZ (ureia + ácido húmico 5% + zeólita 15%); UEA (ureia + extrato alcalino em $\text{pH} \approx 5,5$); UT (ureia + turfa); UZ (ureia + zeólita 20%) e UZEA (ureia + zeólita 20% + extrato alcalino em $\text{pH} \approx 5,5$). Os valores acima das counas indicam as perdas percentuais em relação a dose aplicada.

- **Massa seca**

Não houve interação entre a formulação e a dose dos fertilizantes testados em relação às massas secas analisadas, como apresentado na Tabela 25.

Isoladamente, tanto a formulação quanto a dose apresentaram efeito significativo sobre as massas secas avaliadas, contudo, as médias obtidas em função dos tratamentos diferiram apenas quando comparado com os controles, não havendo diferença entre as formulações testadas, com apresentado na Tabela 26.

Tabela 25 – Análise de variância de massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) de duas plantas de milho.

FV	GL	Quadrado médio		
		MSR	MSPA	MSFI
Formulação (F)	8	43,03**	161,72***	0,44***
F x fat.	2	96,73**	290,09***	0,46**
F x adi.	1	20,97	269,93**	0,63**
Dose (D)	2	10,11	7,53	0,0031
F x D	14	16,70	25,68*	0,18**
Resíduo	50	12,36	12,47	0,064
CV (%)		20,78	8,92	9,38

Significativo a *** 0,1; ** 1 e * 5 % de probabilidade pelo teste F.

Tabela 26 – Massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) de duas plantas de milho, em função das formulações testadas.

Formulações	MSR	MSPA	MSFI
		g/vaso	
U	15,18 a	31,56 a	2,50 a
UAF	16,69 a	29,91 a	2,54 a
UAH	15,61 a	30,91 a	2,31 a
UAHZ	15,59 a	30,57 a	2,36 a
UEA	18,08 a	29,96 a	2,27 a
UT	14,89 a	30,81 a	2,40 a
UZ	16,38 a	31,79 a	2,40 a
UZEA	16,30 a	30,31 a	2,36 a

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

Todas as massas secas avaliadas obtiveram incremento significativo com a adição de ureia. A dose de 150 kg N ha⁻¹ proporcionou o maior incremento em massa seca de raiz em comparação as doses de 50 e 100 kg N ha⁻¹. A MSPA e MSFI obtiveram maiores médias com as doses de 100 e 150 kg N ha⁻¹ em comparação com a dose de 50 kg N ha⁻¹.

Tabela 27 – Massa seca de raiz (MSR), parte aérea (MSPA) e folha indicadora (MSFI) em função de doses de nitrogênio (kg N ha⁻¹) aplicadas através das formulações.

Doses	MSR	MSPA	MSFI
		g/vaso	
50	14,09 b	26,66 b	2,12 b
100	15,77 b	32,17 a	2,47 a
150	18,41 a	33,36 a	2,58 a

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

Houve efeito significativo devido a dose de nitrogênio aplicada, sobre o ICF (Índice de Clorofila Falker) para clorofila total (ICFtot), como apresentado na Tabela 28. As formulações apresentaram efeito significativo para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot).

A formulação UT (ureia + turfa 15%) apresentou maior média para todos os índices de clorofila avaliados (Tabela 29). Houve diferença entre todas as doses avaliadas, para todos os índices de clorofila (Tabela 30).

Em cultivo de milho, a aplicação de 45 kg N ha⁻¹ em V4, levou a ICFtot de 45 a 50 em medição realizada em V7, que com aplicação de dose equivalente em V9, obteve-se rendimento de grãos de 8400 kg ha⁻¹ (Falker, 2008).

Apesar de haver incremento devido a aplicação dos tratamentos, as maiores médias observadas para clorofila total (ICFtot) mensuradas em V9, apresentaram valores próximos a 22, que são considerados muito abaixo do estabelecido para a cultura do milho. Este resultado mostra que, apesar de as perdas baixas de N por volatilização, as plantas apresentam baixo potencial produtivo.

Tabela 28 – Análise de variância dos valores de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), em função dos fatores formulação e dose, mensurados na porção média da última folha expandida em plantas de milho no estágio V9.

FV	GL	Quadrado médio		
		ICFa	ICFb	ICFtot
Formulação (F)	8	5,13	1,25	11,42
F x fat.	2	16,89**	3,97**	37,24**
F x adi.	1	2,87	0,70	6,43
Dose (D)	2	7,68	3,72*	22,07*
F x D	14	2,70	0,96	6,79
Resíduo	50	2,46	0,76	5,89
CV (%)		7,38	13,13	8,66

Significativo a *** 0,1; ** 1; * 5 % de probabilidade pelo teste F.

Tabela 29 – Médias de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), em função dos formulações, mensurados na porção média da última folha expandida em plantas de milho no estágio V9 .

Formulação	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila Total
U	15,04 b	4,55 b	19,60 b
UAF	14,79 b	4,52 b	19,32 b
UAH	14,80 b	4,57 b	19,38 b
UAHZ	15,39 b	4,91 b	20,31 b
UEA	14,63 b	4,43 b	19,07 b
UT	16,64 a	5,83 a	22,48 a
UZ	15,27 b	4,71 b	19,98 b
UZEA	15,44 b	4,97 b	20,41 b

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

Tabela 30 – Valores de ICF (Índice de Clorofila Falker®) para clorofila a (ICFa), b (ICFb) e total (ICFtot), em função de doses (kg N ha⁻¹), mensurados na porção média da última folha expandida em plantas de milho no estágio V9 .

Doses	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila Total
50	13,90 c	4,11 c	18,02 c
100	15,33 b	4,80 b	20,14 b
150	16,52 a	5,53 a	22,05 a

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

Os teores de nitrogênio da parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI), de acordo com a Tabela 31, foram significativos para o fatorial, em que as maiores doses aplicadas apresentaram as maiores médias (Tabela 32).

Tabela 31 – Análise de variância dos teores de nitrogênio na massa seca de raiz (NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI), em função dos fatores Formulação e Dose.

FV	GL	Quadrado médio		
		NR	NPA	NFI
Formulação (F)	8	14,62	11,87	28,12
F x fat.	2	28,39	35,72*	56,46*
F x adi.	1	21,15	12,63	18,83
Dose (D)	2	30,58	1,25	24,16
F x D	14	13,23	15,11	46,3
Resíduo	50	13,19	8,99	15,45
CV (%)		17,33	16	10,13

Significativo a *** 0,1; ** 1; * 5 % de probabilidade pelo teste F.

Tabela 32 – Teores de N (g kg^{-1}) de massa seca de raiz (NR), parte aérea (NPA) e folha indicadora (NFI) em função de doses aplicadas.

Doses (kg N ha^{-1})	NR	NPA	NFI
50	19,31 a	16,19 c	22,92 c
100	20,23 a	18,44 b	27,94 b
150	20,50 a	20,17 a	31,59 a

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

O nitrogênio acumulado na raiz (N Ac. R), parte aérea (N Ac. PA), folha indicadora (N Ac. FI) e planta inteira (N Ac. Total), variou em função da dose aplicada (Tabela 33). Ainda que na análise de variância as formulações foram significantes, não afetaram as médias para nitrogênio acumulado (Tabela 34).

Tabela 33 – Análise de variância de valores de nitrogênio acumulado na raiz (N Ac. R), parte aérea (N Ac. PA), folha indicadora (N Ac. FI) e planta inteira (N Ac. Total), em função dos fatores Formulação e Dose.

FV	GL	Quadrado médio			
		N Ac. R	N Ac. PA	N Ac. FI	N Ac. Total
Formulação (F)	8	0,019*	0,066***	0,00065**	0,16***
F x fat.	2	0,045**	0,19***	0,00091**	0,47***
F x adi.	1	0,012	0,025	0,00075*	0,089
Dose (D)	2	0,0099*	0,00092*	0,00012*	0,010*
F x D	14	0,010	0,035	0,00066	0,083
Resíduo	50	0,0071	0,015	0,00071	0,037
CV (%)		21,13	17,61	13,87	14,92

Significativo a *** 0,1; ** 1 e * 5 % de probabilidade pelo teste F.

Tabela 34 – Nitrogênio acumulado (em gramas/vaso) na raiz (N Ac. R), parte aérea (N Ac. PA), folha indicadora (N Ac. FI) e planta inteira (N Ac. Total), em função dos tratamentos (formulações).

Tratamentos	N Ac. R	N Ac. PA	N Ac. FI	N Ac. Total
U	0,317 a	0,587 a	0,0693 a	0,974 a
UAF	0,323 a	0,582 a	0,0691 a	0,974 a
UAH	0,325 a	0,569 a	0,0671 a	0,962 a
UAHZ	0,306 a	0,551 a	0,0681 a	0,926 a
UEA	0,374 a	0,542 a	0,0592 a	0,976 a
UT	0,296 a	0,535 a	0,0675 a	0,899 a
UZ	0,329 a	0,60 a	0,0634 a	0,993 a
UZEA	0,367 a	0,566 a	0,0696 a	1,003 a

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

Tabela 35 – Médias dos valores de nitrogênio acumulado (em gramas/vaso) na raiz (N Ac. R), parte aérea (N Ac. PA), folha indicadora (N Ac. FI) e planta inteira (N Ac. Total), em função de doses aplicadas.

Doses	N Ac. R	N Ac. PA	N Ac. FI	N Ac. Total
50	0,277 c	0,431 c	0,0491 c	0,758 c
100	0,322 b	0,595 b	0,0692 b	0,987 b
150	0,390 a	0,673 a	0,0817 a	1,146 a

Letras iguais nas colunas não diferem significativamente pelo teste de SNK a 5%.

4.7 CONCLUSÕES

As formulações não diferiram entre si, quanto à perda de N por volatilização de amônia, provavelmente, devido à elevada umidade do solo mantida durante a condução do experimento.

As maiores doses aplicadas apresentaram maior influência, sobre a perda de N por volatilização, bem como sobre os demais parâmetros avaliados, que as formulações testadas.

Houve tendência de menor perda acumulada por volatilização de N, para as formulações que apresentam em sua composição, substâncias húmicas e zeólita.

Apesar de reduzidas perdas de N por volatilização, as doses de ureia aplicadas considerando a área de solo exposto, não foram suficientes para garantir bom potencial produtivo à cultura, de acordo com a medição indireta de clorofila.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Doses elevadas de ureia aplicadas no desenvolvimento inicial da cultura do milho, em condições de casa de vegetação, podem reduzir o percentual de germinação e o vigor das plântulas em consequência da elevação da condutividade elétrica do solo e da volatilização de amônia. Equivocadamente, este efeito pode ser atribuído ao tratamento testado.

Para avaliações além da fase de germinação, se estendendo até o estágio V8, a aplicação de ureia conforme o critério do número de plantas mostrou-se adequada, pois permitiu prever bom potencial produtivo para a cultura de acordo com a medição indireta de clorofila, bem como, pelos maiores teores de nutrientes analisados. Entretanto, a adoção do número de plantas como critério para estimar a dose, favorece a perda de nitrogênio por volatilização.

Apesar de as formulações não terem apresentado diferenças quanto à perda por volatilização, provavelmente pela umidade do solo elevada durante a condução do experimento, é importante salientar que novas misturas devem ser testadas, já houve tendência de menor perda para as formulações que contêm em sua composição, substâncias húmicas e zeólita.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADUAN, R.E., VILELA, M. F., REIS JÚNIOR, F.B. Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2004.
- ALVES, A.C., ALVES, T.C., MACEDO, F.B., BERNARDI, A.C.C., OLIVEIRA, P.P.A., ROCHETTI, R.C. Adição de zeólita para redução da volatilização de amônia em solo fertilizado com ureia. Embrapa Pecuária Sudeste (Circular Técnica, 55) São Carlos SP, 2007.
- ALVES, B.J.R.; BAÊTA, A.M.; ALVES, J.V. Protocolo da Embrapa Agrobiologia para Análise de Nitrogênio em Adubos Orgânicos, Solo e Tecidos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 17p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 100), 1999.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, v.24, n.1, p.1-15, 1949.
- BERNARDI, A.C.C., PAIVA, P.R.P., MONTE, M.B.M. Produção de matéria seca e teores de nitrogênio em milho para silagem adubado com ureia misturada a zeólita. Embrapa Pecuária Sudeste (Comunicado Técnico, 77) São Carlos SP, 2007.
- BRADY, N. C. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos / Nyle C. Brady, Ray R. Weil; tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- BRAZ, T.G.S., CANELLAS, L.P., MEDICI, L.O., Bioatividade de ácidos húmicos em *Arabidopsis thaliana*. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; Pág.1, 2010.
- CANELLAS, L.P. SANTOS, G.A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. UENF, 309 p. 2005.
- 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. (eds). Fertilidade do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007.
- CASARIN, V., STIPP, S.R. Manejo 4C – Quatro medidas corretas que levam ao uso eficiente dos fertilizantes. Informações Agrônomicas n° 142, 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo primeiro levantamento, setembro 2013 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2013.
- COOMBS, D.S.; ALBERTI, A.; ARMBRUSTER, T.; ARTIOLI, G.; COLELLA, C.; GALLI, E.; GRICE, J.D.; LIEBAU, F.; MANDARINO, J.A.; MINATO, H.; NICKEL, E.H.; PASSAGLIA, E.; PEACOR, D.R.; QUARTIERI, S.; RINALDI, R.; ROSS, M.; SHEPPARD, R.A.; TILLMANN, E. e VEZZALINI, G. Recommended nomenclature for zeolite minerals: report of the Subcommittee on Zeolites of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. Can. Mineral., 35:1571-1606, 1997.
- CUNHA, T.J.F., MENEGUELLI, N.A., CONCEIÇÃO, M., MACHADO, P.L.O.A., FREIXO, A.A. Avaliação de extratores de substâncias húmicas de um latossolo vermelho distroférico. Rio de Janeiro :Embrapa Solos, 15 p. - (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa ; n. 7) 2000.
- FALKER Automação agrícola. Valores indicativos para o uso do cloroflóg em milho. Nota de aplicação – CFL1030 – n.2, 2008.

FERNANDES, M.S., SOUZA, S.R. Nitrogênio. In: FERNANDES, M.S. (ed.) Nutrição Mineral de Plantas. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, Current world fertilizer trends and outlook to 2016, Rome, 2011.[ftp://ftp.fao.org/ag/agp/docs/cwfto16.pdf](http://ftp.fao.org/ag/agp/docs/cwfto16.pdf).

GHOLAMHOSEINI, M., GHALAVAND, A., KHODAEI-JOGHAN, A., DOLATABADIAN, A., ZAKIKHANI, H., FARMANBAR, E. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil & Tillage Research* 126:193–202, 2013.

GOMES, P.F., CONAGIN, A., Experimentos de Adubação: Planejamento e Análise Estatística. In: OLIVEIRA, A.J.de., GARRIDO, W.E., ARAUJO, J.D.de., LOURENÇO, S. (Coord.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília, DF, Embrapa-SEA, 1991, 392p.

GUIMARÃES, G.G.F., PAIVA, D.M., RENA, F.C., SOUZA, H.N., PEREIRA, C.G., CANTARUTTI, R.B. Volatilização de amônia pela hidrólise da ureia com diferentes formas de acabamento. *Informações Agronômicas*. Nº131. 2010.

GUIMARÃES, G.G.F., Substâncias húmicas como aditivos para o controle da volatilização de amônia proveniente da ureia. 2011. 39p. Dissertação (Pós Graduação em solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

HYDE, B., CARTON, O., O'TOOLE, P., MISSELBROOK, T., A new inventory of ammonia emissions from Irish agriculture. *Atmospheric Environment*.37, 55e 62, 2003.

IHSS - <http://www.humicsubstances.org/>International Plant Nutrition Institute (IPNI). Placing Fertilizer with Seed. Spring 2012, No. 7

KISSEL, D., CABRERA, M., PARAMASIVAM, S. Ammonium, ammonia, and urea reaction in soils. In: SCHEPERS, J., RAUN, W. (Eds.), Nitrogen in Agricultural Systems. American Society of Agronomy, Madison, WI,USA, pp. 101e155, 2008.

LADHA, J. K., PATHAK, H., KRUPNIK, T.J., SIX, J., & C, KESSEL. Efficiency of Fertilizer Nitrogen in Cereal Production: Retrospects and Prospects. *Advances in Agronomy*, Volume 87. 2005.

LUPINACCI, F. Estudo sobre a sazonalidade nas importações de fertilizantes no Brasil e dos valores de frete na rota Santos a Araçatuba. ESALQ-USP.Piracicaba, 2012.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>>acesso em 03 de setembro de 2013.

MASINI, J.C.;ABATE, G.;LIMA, E.C.;HAHN, L.C.;NAKAMURA, M.S.; LICHTIG, J. & NAGATOMY, H.R. Comparison of methodologies for determination of carboxylic and phenolic in humic acids. *Anal. Chim. Acta*, 364:223-233, 1998.

MUMPTON, F.A. La roca magica: uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 96: 3463-3470, 1999.

NOVAIS, R.F., NEVES, J.C.L., BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J., GARRIDO, W.E., ARAUJO, J.D., LOURENÇO, S. (Coord.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília.Embrapa-SEA, 392p. 1991.

- PRIMO, D. C., MENEZES, R. S. C., SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. *Scientia Plena* Vol. 7, n. 5. 2011.
- QI, X., WU, W., SHAH, F., PENG, S., HUANG, J., CUI, K., LIU, H., and NIE, L. Ammonia volatilization from urea application influenced germination and early seedling growth of dry direct-seeded rice. *The Scientific World Journal*, 2012.
- REZENDE, N.G.A.M. & MONTE, M.B.M. Zeolitas Naturais. Rio de Janeiro, CETEM/COPM, 33: 699-720, 2005.
- RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T., ALVAREZ, V.H. (Eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p. :il.
- ROBERTS, T.L. The role of fertilizers in growing the world's food. *Better Crops with Plant Food*, v. 93, n, 2, p.12-15, 2009.
- ROSA, A.H., ROCHA, J.C., FURLAN, M. Substâncias húmicas de turfa: estudo dos parâmetros que influenciam no processo de extração alcalina. *QUÍMICA NOVA*, 23(4), 2000.
- SANGOI, L., ERNANI, P.R., BIANCHET, P. Desenvolvimento inicial do milho em função de doses e fontes de nitrogênio aplicadas na semeadura. *Revista Biotemas*, 22 (4), dezembro de 2009.
- SANGOI, L., SCHWEITZER, C., SILVA, P. R. F., SCHMITT, A., VARGAS, V.P., CASA, R T., SOUZA, C.A.S. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.46, n.6, p.609-616, jun. 2011.
- SANTOS JÚNIOR, L.F. Estudo das frações obtidas no processo de extração alcalina de substâncias húmicas de turfa. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia e Minas, Metalúrgica e de Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- SHI, Y., PARKER, D.B., COLE, N.A., AUVERMANN, B.W., MEHLHORN, J.E. Surface amendments to minimize ammonia emissions from beef cattle feedlots. *Transactions of the ASAE*, vol.44(3), pg 667-682, 2001.
- SILVA, A.C., CANELLAS, L.P., OLIVARES, F.L., DOBBS, L.B., AGUIAR, N.O., FRADE, D.A.R., REZENDE, C.E. & PERES, L.E.P. Promoção do crescimento radicular de plântulas de tomateiro por substâncias húmicas isoladas de turfeiras. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 35, n. 5, 2011.
- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.
- STAFANATO, J.B. Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (*Oriza Sativa*). 2009. 67p. Dissertação (Pós Graduação em Agronomia – Ciência do Solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. RJ, 2009.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- UPADHYAY, L.S.B. Urease inhibitors: A review. *Indian Journal of Biotechnology*. Vol. 11, October 2012, p. 381-388.

WONG, M.H., CHEUNG, Y.H., CHEUNG, C.L. The effects of ammonia and ethylene oxide in animal manure and sewage sludge on the seed germination and elongation of *Brassica parachinensis*. *Environmental Pollution (Series A)* 30 (109-123) 1983.

YUSUFF, M.T.M., AHMED, O.H., AB MAJID, N.M. Effect of Mixing Urea with Humic Acid and Acid Sulphate Soil on Ammonia Loss, Exchangeable Ammonium and Available Nitrate. *American Journal of Environmental Sciences* 5 (5): 588-591, 2009.