

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

DISSERTAÇÃO

**Aplicação de Misturas Granuladas NK
e NS em cultivar de Arroz (*Oryza sativa*)**

Juliano Bahiense Stafanato

2009



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

**APLICAÇÃO DE MISTURAS GRANULADAS NK E NS EM
CULTIVAR DE ARROZ (*ORIZA SATIVA*)**

JULIANO BAHIENSE STAFANATO

Sob a Orientação do Professor
Nelson Mazur

Co-orientação do Professor
Everaldo Zonta

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

Seropédica, RJ
Fevereiro de 2009

631.84 Stafanato, Juliano Bahiense, 1981-
S779a
T

Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (Oriza Sativa) / Juliano Bahiense Stafanato - 2009.

67 f. : il.

Orientador: Nelson Mazur.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Bibliografia: f. 63-67.

1. Fertilizantes nitrogenados - Teses. 2. Nitrogênio - Fixação - Teses. 3. Arroz - Cultivo - Teses. 4. Arroz - Adubos e fertilizantes - Teses. I. Mazur, Nelson, 1955-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. 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**

JULIANO BAHIENSE STAFANATO

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 20/02/2009

Nelson Mazur. Dr. UFRRJ
Orientador

José Carlos Polidoro. Dr. Embrapa Solos

Alberto Carlos de Campos Bernardi. Ph.D. Embrapa Pecuária
Sudeste

DEDICATÓRIA

Ao meu avô Ângelo (in memoriam), segundo pai e meu grande amigo, um exemplo de vida, e que com a sua simplicidade e valores transmitidos foram muito importantes na minha formação, tanto no meu caráter e como pessoa. Pelos seus gestos de carinhos que tanto me alegraram, mesmo em momentos difíceis, como também pela ajuda e apoio irrestrito sempre que precisasse me ensinando sempre de maneira serena o melhor caminho, e o mais importante, sempre de muito bom humor, nunca poderei esquecer as conversas que tivemos, quando nos divertíamos na colheita de café ou no curral cuidando das suas queridas vacas. Te amo muito meu avô, e você sempre estará comigo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Aos meus amados pais, pelo esforço e confiança depositados em mim ao longo desses anos, as minhas queridas irmãs pelo aprendizado e compreensão durante o tempo em que moramos juntos e enquanto perseguia meus objetivos.

A minha companheira, amiga e namorada Sara (neguinha) que me ajudou em um dos momentos mais difíceis da minha vida, pela compreensão por me aturar nos meus constantes momentos de mau-humor e por estar sempre ao meu lado, ao Pedro que aprendi a amar como se fosse um filho, pois sem vocês tenho certeza que tudo seria mais difícil.

As minhas queridas tias Emília, Cássia e Ila, e amada avó Iria, pela ajuda e apoio que me deram ao longo desses anos. E a todos meus familiares que de alguma forma contribuíram não só para a realização deste trabalho, mas também pela minha formação acadêmica.

A Rural, pelos anos de ensinamentos e pelas lições de vida.

Aos amigos que fiz durante todo esse tempo na Rural, pois sem eles não somos nada.

Aos irmãos da República Brasil, Japonês (também conhecido como Fabrício), Sandro (BinLadi), Carlinhos, Leandrão, Alessandro (véi), Patrick, Leo Murucci e aos agregados Dieguinho e a todos que a freqüentavam diariamente para jogar aquele futebol, fazer os melhores churrascos e festas da Universidade!!!!

A Felipe Brasil que me encaminhou na pesquisa, quantas trincheiras cavadas e quantas raízes digitalizadas.

Ao Professor e co-orientador Everaldo Zonta pela grande ajuda e ensinamentos durante a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Nelson Mazur, pela confiança depositado em mim durante a realização deste trabalho.

Aos amigos e estagiários do Laboratório de Fertilidade do Solo que foram muito importantes durante todas as fases de experimentação e de análises de laboratório, principalmente pela ajuda prestada e pelos momentos de descontração, Japonês, Orlando, Fábio, Hugo, Carla Andréia, Nivaldo, Jair, Bruno (Johm Rambo), Daniel (Bagre), Michel (Capitão), Mariana e a todos que de alguma maneira me ajudaram.

Aos funcionários (as), e companheiros de almoço Moraes pela grande ajuda prestada toda vez que precisava ir ao Rio comprar materiais e pela grande ajuda na limpeza das imagens digitalizadas de raízes, a Beth pelos momentos de descontração, aos funcionários “seu Pedro” pelas piadas contadas e Anselmo pela sua ajuda toda vez que solicitado.

Aos funcionários do Labfer, Jair, Bruno, Renato e Irani pela grande ajuda nas realizações das minhas análises químicas que não foram poucas.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo da UFRRJ, quanto aos Coordenadores na pessoa dos Prof. Nelson Moura e Lúcia Helena C. Anjos e aos funcionários Marquinhos, Luciene e Roberto e a todos os professores do Curso pelos ensinamentos recebidos.

A Capes e a Faperj pela bolsa de estudo e a Petrobras pelo financiamento do projeto que resultou neste trabalho.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

E a todos aqueles que por ventura tenha esquecido, peço perdão.

MEUS SINCEROS AGRADECIMENTOS!!

BIOGRAFIA

Juliano Bahiense Stafanato nasceu em Vitória da Conquista – BA, em 12 de maio de 1981. Iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 2000, diplomando-se em 2007. Durante a graduação foi monitor da disciplina Fertilidade do Solo durante 2 anos no Departamento de Solos. Em março de 2007 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo (UFRRJ), sob orientação do Professor Nelson Mazur, onde no primeiro ano foi bolsista Capes e no segundo ano foi bolsista do Programa Bolsa Nota 10 da Faperj.

RESUMO GERAL

STAFANATO, Juliano Bahiense. **Aplicação de misturas granuladas NK e NS em cultivar de arroz (*Oryza sativa*)**. 2009. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

Este trabalho teve como objetivo avaliar misturas granuladas e pastilhadas NK (uréia e cloreto de potássio) e NS (uréia e sulfato de amônio) na cultivar de arroz IAC 202 em solos de diferentes texturas, provenientes de um Planossolo e de um Argissolo. Os estudos foram realizados em casa-de-vegetação com temperatura e umidade controladas, localizada na área experimental do Departamento de Solos da UFRRJ. Foi avaliado o crescimento de plantas de arroz por um período de 40 dias, quanto aos parâmetros morfológicos (altura, massa seca, perfilhos) e ao fornecimento de nutrientes no solo e absorção de N e K pelas plantas. O primeiro experimento teve como objetivo estudar o efeito do biureto contido nos fertilizantes granulados em relação as suas misturas físicas isentas de biureto produzidas a partir das matérias primas utilizadas na produção dos fertilizantes granulados. Quanto aos parâmetros morfológicos, verificou-se que o biureto contido nos granulados retardou e em alguns casos inibiu o crescimento das plantas quando aplicado em maiores quantidades. Em relação aos atributos químicos nos dois tipos de solos, os tratamentos que receberam biureto apresentaram maiores teores de Mg^{2+} em relação as suas misturas físicas, o que provavelmente pode ser em função de inibição na absorção deste elemento pelas plantas. Houve um maior acúmulo nos teores de $NO_3^- + NO_2^-$ nos dois solos que receberam biureto, em função deste interferir na nitrificação, promovendo o acúmulo de nitrito, o mesmo acontecendo quanto a amonificação no solo, já que o biureto aumentou a concentração de NH_4^+ no solo. As aplicações de biureto aumentaram, em parte, os teores foliares de N, o que pode ser em função da alta concentração deste elemento, como também as plantas apresentaram maior absorção de NO_3^- e NH_4^+ , como também uma maior absorção de K^+ em relação as suas misturas. Já o segundo experimento teve como objetivo avaliar o efeito da forma dos fertilizantes (pastilhados, granulados e perolados), do K^+ e do biureto contido nos granulados em relação aos pastilhados com baixos teores deste em sua composição. Quanto ao efeito da forma, os fertilizantes pastilhados apresentaram resultados semelhantes aos fertilizantes comerciais perolados (Super N[®] e Uréia fertilizante). O K^+ contido nos pastilhados NK apresentou um efeito positivo no crescimento das plantas de arroz. E quanto ao efeito do biureto contido nos granulados, verificou-se que os resultados mantiveram um padrão em relação ao primeiro experimento, sendo que o biureto retardou e inibiu o crescimento das plantas.

Palavras-chave: Fertilizante granulado. Fertilizante pastilhado. Biureto.

GENERAL ABSTRACT

STAFANATO, Juliano Bahiense. **Application of NK and NS granular mixtures in a rice (*Oryza sativa*) cultivar.** 2009. 67f. Dissertation (Master Science in Agronomy, Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

This study aimed to evaluate NK (urea and potassium chloride) and NS (urea and ammonium sulfate) fertilizers as granular mixtures and pastilles, in the rice cultivar IAC 202 in soil samples of different textures, from Fragiudult and Udult soils. Experiments were held in a greenhouse with controlled temperature and humidity, located in the experimental area of Soils Department, UFRRJ. The growth of rice plants was evaluated for a period of 40 days, by means of morphological parameters (height, dry weight, tillers) as well as supply of nutrients in soil, and uptake of N and K by plants. The first experiment focused on effect of biuret contained in granular fertilizers, compared to the fertilizers free of biuret and mixed from raw products used in production of fertilizer as pellets. As for the morphological parameters, it was found that the biuret contained in pellets delayed, and in some cases, inhibited the plant growth when applied in large quantities. For the chemical attributes, in the two soil types, the treatments receiving biuret showed highest levels of Mg^{2+} compared to their equivalent mixtures, which may probably be due to inhibition in the absorption of this element by the plants. There was a greatest accumulation of $NO_3^- + NO_2^-$ levels in both soils that received biuret. Possibly, because of biuret interference in nitrification, thus promoting accumulation of nitrite. The same happened for formation of ammonia in the soil, as biuret increased the concentration of soil NH_4^+ . Applications of biuret increased, in part, leaf N levels, which may be due to high concentration of this element, and that plants showed increasing in absorption of NO_3^- and NH_4^+ , as well as greatest uptake of K^+ when compared to the fertilizer mixtures. The second experiment aimed to evaluate effect of K^+ fertilizers form (chips, pellets and pearl), and the biuret contained in pellets compared to pastilles with low levels of biuret. As to the form effect, the pellets fertilizers showed similar results to pearl commercial fertilizers (Super N[®] and Urea fertilizer). The K^+ in the NK chips showed a positive effect on rice plant growth. In relation to effect of biuret contained in the pellets, it was found the same pattern as in the first experiment, where the biuret delayed and inhibited the plant growth.

Key words : Granulated fertilizer. Chips fertilizer. Biuret.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Resultados da análise química dos solos utilizados, onde m-saturação por Al; n-saturação por Na.	13
Tabela 2. Análise granulométrica dos solos.	13
Tabela 3- Caracterização Química dos fertilizantes granulados e das matérias primas em relação aos teores dos nutrientes e quanto a presença de biureto e de metais pesados.....	14
Tabela 4- Quantidades de K e Biureto adicionados em cada fertilizante granulado e suas respectivas misturas físicas referentes aos tratamentos NK e NS em função da dose de 120 kg N ha-1.	19
Tabela 5- Características fenológicas da cultivar de arroz IAC 202 tratadas com os fertilizantes granulados NK com as suas respectivas misturas físicas após 40 dias do plantio em solos de diferentes texturas.	22
Tabela 6- Características fenológicas da cultivar de arroz IAC 202 tratadas com os fertilizantes granulados NS com as suas respectivas misturas físicas após 40 dias do plantio em solos de diferentes texturas.	24
Tabela 7- Resultado das análises químicas dos teores trocáveis entre a forma granulada (Gran) e a mistura física (MF) referentes a cada tratamento dos fertilizantes NK, após 40 dias do plantio no Planossolo.....	26
Tabela 8- Resultado das análises químicas dos teores trocáveis entre a forma granulada (Gran) e a mistura física (MF) referentes a cada tratamento dos fertilizantes NK, após 40 dias do plantio no Argissolo.	27
Tabela 9- Resultado das análises químicas dos teores trocáveis entre a forma granulada (Gran) e a mistura física (MF) referentes a cada tratamento dos fertilizantes NS, após 40 dias do plantio no Planossolo.....	29
Tabela 10- Resultado das análises químicas dos teores trocáveis entre a forma granulada (Gran) e a mistura física (MF) referentes a cada tratamento dos fertilizantes NS, após 40 dias do plantio no Argissolo.	30
Tabela 11- Teores de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($NO_3^-+NO_2^-$) no solo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) NK e das suas respectivas misturas físicas (MF) no Planossolo.	32
Tabela 12- Teores totais de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($NO_3^-+NO_2^-$) no solo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) NK e das suas respectivas misturas físicas (MF) no Argissolo.	33
Tabela 13- Teores totais de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), amônio (NH_4^+), nitrato + nitrito ($NO_3^-+NO_2^-$) no solo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) NS e das suas respectivas misturas físicas (MF) no Planossolo.	34
Tabela 14- Teores totais de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), amônio (NH_4^+), nitrato + nitrito ($NO_3^-+NO_2^-$) no solo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) NS e das suas respectivas misturas físicas (MF) no Argissolo.	35
Tabela 15- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) tratadas com os fertilizantes granulados (Gran) NK com suas respectivas misturas físicas (MF) após 40 dias do plantio no Planossolo.	36
Tabela 16- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) tratadas com os fertilizantes granulados (Gran) NK com suas respectivas misturas físicas (MF) após 40 dias do plantio no Argissolo.	38

Tabela 17- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) tratadas com os fertilizantes granulados (Gran) NS com suas respectivas misturas físicas (MF) após 40 dias do plantio no Planossolo.	39
Tabela 18- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) tratadas com os fertilizantes granulados (Gran) NS com suas respectivas misturas físicas (MF) após 40 dias do plantio no Argissolo...	40
Tabela 19- Caracterização química dos fertilizantes pastilhados e granulados NK e NS, e dos fertilizantes convencionais utilizados como testemunha.	46
Tabela 20- Quantidades de K e Biureto aplicados em cada fertilizante granulado e pastilhado NK e das testemunhas em função da dose de 120 kg N ha^{-1} .	47
Tabela 21- Quantidades de S e Biureto aplicados em cada fertilizante granulado e pastilhado NS em função da dose de 120 kg N ha^{-1} .	47
Tabela 22- Características fenológicas da cultivar de arroz IAC 202 após 40 dias da aplicação das diferentes formas de fertilizantes nitrogenados em dois tipos de solos diferentes.	50
Tabela 23- Teores de nitrogênio (N_{total}), amônio (NH_4^+), $NO_3^-+NO_2^-$ e potássio (K_{total}) após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados NK no Planossolo e no Argissolo quanto a forma do fertilizante.	51
Tabela 24- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) e teor de potássio (K_{total}), tratadas com os diferentes fertilizantes nitrogenados após 40 dias do plantio no Planossolo e no Argissolo.	52
Tabela 25- Efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados sobre as características fenológicas da plantas de arroz após 40 dias do plantio no Planossolo e no Argissolo.	53
Tabela 26- Teores de nitrogênio (N_{total}), amônio (NH_4^+), $NO_3^-+NO_2^-$ e potássio (K_{total}) no Planossolo e no Argissolo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados quanto ao efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados NK.	54
Tabela 27- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) e teor de potássio (K_{total}), após 40 dias do plantio no Planossolo e no Argissolo, quanto ao efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados NK.	55
Tabela 28- Efeito do Biureto contido nos fertilizantes granulados sobre as características fenológicas da plantas de arroz após 40 dias do plantio no Planossolo e no Argissolo.	56
Tabela 29- Teores de nitrogênio (N_{total}), potássio (K_{total}), amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($NO_3^- + NO_2^-$) após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (gran) e pastilhados (past) em solos de diferentes texturas.	57
Tabela 30- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}), potássio (K_{total}), amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($NO_3^- + NO_2^-$) após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) e pastilhados (Past) em solos de diferentes texturas.	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Casa de vegetação onde foram realizados os experimentos.....	12
Figura 2. Local de coleta dos solos, localizado na UFRRJ.....	12
Figura 3- Variação da temperatura (°C) dentro da casa de vegetação.....	15
Figura 4 – Variação da umidade do ar (%) dentro da casa de vegetação.....	16
Figura 5- Tempo de estabilização do pH em função da doses de calcário adicionado ao solo de textura Arenosa.....	17
Figura 6- Tempo de estabilização do pH em função da doses de calcário adicionado ao solo de textura Argilosa.....	17
Figura 7- Sintomas de toxidez causado pela aplicação do fertilizante granulado NK contendo biureto nas plantas de arroz.	24
Figura 8- Variação da temperatura (°C) dentro da casa de vegetação.....	48
Figura 9- Variação da umidade relativa do ar (%) dentro da casa de vegetação.	49

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA GERAL.....	3
2.1	Fertilizantes Nitrogenados	3
2.2	Biureto	4
2.3	Utilização de N pela Cultura do Arroz.....	6
3.	CAPITULO I COMPARAÇÃO DE FERTILIZANTES GRANULADOS NK E NS CONTENDO BIURETO COM SUAS MISTURAS FÍSICAS EM ARROZ (<i>ORYZA SATIVA</i>).....	8
3.1	RESUMO	9
3.2	ABSTRACT.....	10
3.3	INTRODUÇÃO.....	11
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.4.1	Local de realização dos estudos.....	12
3.4.2	Solos utilizados	12
3.4.3	Caracterização química dos fertilizantes granulados.....	13
3.4.4	Condições ambientais	15
3.4.5	Cultivar de arroz	16
3.4.6	Procedimentos experimentais	16
3.4.7	Condução do experimento	18
3.4.8	Análise estatística	20
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.5.1	Parâmetros fenológicos.....	21
3.5.2	Avaliação dos atributos químicos dos solos	25
3.5.3	Teores foliares de nutrientes da planta de arroz	35
3.6	CONCLUSÕES	41
4.	CAPÍTULO II DIFERENTES FORMAS DOS FERTILIZANTES NK E NS E DO BIURETO E POTÁSSIO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE ARROZ EM DOIS TIPOS DE SOLOS	42
4.1	RESUMO	43
4.2	ABSTRACT.....	44
4.3	INTRODUÇÃO.....	45
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	46
4.4.1	Condução do experimento	46
4.4.2	Procedimentos experimentais	47
4.4.3	Condições ambientais	48
4.4.4	Análise química e parâmetros fenológicos	49
4.4.5	Análise estatística	49
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.5.1	Efeito da forma do fertilizante	50
4.5.2	Efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados NK	52
4.5.3	Efeito do biureto sobre o desenvolvimento de plantas de arroz.....	55
4.6	CONCLUSÕES	60

5.	CONCLUSÕES GERAIS	61
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1. INTRODUÇÃO GERAL

Com a necessidade de obtenção de elevadas produtividades e a conseqüente intensificação das práticas agrícolas, a exploração do solo aumentou nos últimos anos. Práticas, como sistemas inadequados de preparo do solo e uso excessivo de agroquímicos, são fatores que aceleram a degradação do solo, diminuindo o seu potencial agrícola. Como os fertilizantes nitrogenados não são suficientemente purificados durante o processo de manufatura, por razões econômicas, eles geralmente contêm diversas impurezas, entre elas, os metais pesados e biureto, sendo estes dependendo da sua concentração classificados como tóxicos.

Na industrialização da uréia, quando ela fica exposta a altas temperaturas e pressão, principalmente no processo de granulação, pode ocorrer a formação de substâncias, que pode ocasionar injúrias no crescimento e desenvolvimento das plantas. Dessa forma nas últimas décadas maiores investimentos foram realizados permitindo que a uréia fertilizante, seja na forma perolada e granulada apresenta-se um teor de biureto abaixo do limite permitido, como também numa faixa que não ocasione danos as plantas.

A adubação nitrogenada é uma prática usada quando o solo possui restrita capacidade em fornecer a quantidade de nitrogênio (N) exigida pela cultura ao longo do seu desenvolvimento. No entanto, somente parte do N suplementado através de fertilizantes é utilizada pela planta. A eficiência agrônômica da adubação nitrogenada depende de condições edáficas e meteorológicas e também de características da planta, como a taxa de absorção e a eficiência de utilização do nutriente (Muurinen et al., 2006). Práticas de manejo, como época e método de aplicação e tipo de adubo, também podem afetar a eficiência agrônômica da adubação nitrogenada em plantas cultivadas (Wanser & Mundstock, 2007). Geralmente a recuperação pelas plantas do nitrogênio fornecido através da adubação mineral é normalmente inferior a 50% (Rao et al., 1992).

De acordo com Raij (1991), o N é o nutriente mineral exigido em maior quantidade pelas culturas e, normalmente, proporciona maior resposta em produtividade; porém, a complexidade dos fatores que afetam o seu aproveitamento pelas plantas faz com que o mesmo seja objeto de um grande número de estudos, a maioria realizada com o objetivo de avaliar seu comportamento no solo e a sua relação com a eficiência da adubação.

No sistema solo-planta, a quantidade mais significativa do N presente é proveniente da atmosfera, reserva inesgotável desse elemento (Melgar et al., 1999). O processo de aquisição do nitrogênio atmosférico no sistema se dá por: (a) descargas elétricas na atmosfera quando o nitrogênio elementar é reduzido a óxidos passando de N_2 para N_2O , NO , NO_2 e NO_3^- (nitrato); (b) fixação biológica do nitrogênio por microorganismos especializados de vida livre ou em associações simbióticas com leguminosas; (c) fixação industrial do N onde, através do processo de síntese de amônia (NH_3) e ácido nítrico (HNO_3) são produzidos os vários tipos de fertilizantes nitrogenados.

A uréia é considerada como um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados devido ao seu baixo custo relativo, à alta solubilidade em água e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Esse fertilizante apresenta, no entanto, limitações quanto às perdas do nitrogênio (N) que podem comprometer sua eficiência. A principal forma de perda de N, através da hidrólise da uréia, é a volatilização da amônia. As práticas de manejo do solo, as condições climáticas e as características do solo são responsáveis pela dinâmica do N. Dentre os fatores do solo que podem influenciar nas perdas gasosas de N, estão o pH, o poder tampão, a textura, a mineralogia da fração argila, a umidade, a capacidade de troca catiônica (CTC), o teor de matéria orgânica, e o potencial redox. Além disso, condições de oxi-redução

ou a presença/adção de potássio que compete pelos sítios de retenção de N-NH_4^+ , são fatores que contribuem para reduzir a sua adsorção, facilitando as perdas por volatilização (Costa et al, 2004). Segundo Melo (1987), a baixa eficiência da uréia aplicada em condições de campo, quando comparada a outras fontes de N, pode ser devido, em parte, às maiores taxas de nitrificação do N desse fertilizante e, conseqüentemente, a uma maior lixiviação de nitrato. O uso de produtos inibidores da ação da urease (enzima que desdobra a molécula de uréia em NH_3 e CO_2) em conjunto com os fertilizantes nitrogenados e a aplicação incorporada têm sido as principais estratégias para evitar as perdas e aumentar a eficiência no uso do nitrogênio.

Esta dissertação teve como hipótese que o uso de fertilizantes granulados e pastilhados NK e NS aumenta o aproveitamento do N e do K pelas plantas de arroz.

Para tal, foram feitos estudos, cujos dados estão organizados em dois capítulos, o primeiro tem como objetivo comparar diversos fertilizantes granulados (NK e NS) contendo biureto com as suas respectivas misturas físicas quanto ao fornecimento de nutrientes e desenvolvimento de plantas de arroz em diferentes tipos de solo. O segundo capítulo tem como objetivo principal avaliar o efeito do processo de produção final dos fertilizantes quanto à sua forma (pastilhada, granulada e perolada) como também do biureto e do potássio contido nestes fertilizantes sobre o crescimento e desenvolvimento de plantas de arroz em solos de diferentes texturas.

2. REVISÃO DE LITERATURA GERAL

2.1 Fertilizantes Nitrogenados

O grande desafio do setor agrícola nas próximas décadas será aumentar a produção de alimentos para atender o crescimento da população mundial. E o Brasil é um dos poucos países com grandes possibilidades de participar desse processo, pois possui tecnologias sustentáveis de produção para atingir incrementos de produtividade em muitas culturas (Lopes & Bastos, 2007).

O Brasil, com os seus 550 milhões de hectares de superfície agrícola potencial, é classificado em 4^o lugar no consumo mundial de fertilizantes NPK, mas em 6^o lugar quando se considera somente o consumo de nitrogênio (N).

Estima-se que o consumo de fertilizantes na agricultura brasileira em 2015 seja de 3,8 milhões de toneladas de N, 5,2 milhões de toneladas de P₂O₅ e 5,8 milhões de toneladas de K₂O. Este aumento no consumo de nutrientes será muito mais resultado do aumento da área plantada – passando de 71,7 milhões de hectares em 2007 para 95,2 milhões de hectares em 2015 – do que do aumento no consumo médio de nutrientes por hectare. Espera-se que uma dose de 144 kg de N-P₂O₅- K₂O por hectare se alcance 156 kg ha⁻¹ em 2015 (Lopes & Bastos, 2007).

No mundo, os cereais arroz, trigo e milho consomem aproximadamente 60% do N total empregado como fertilizante e respondem por cerca de 1/3 da proteína total consumida. Estima-se que em 2050 a população mundial alcance 9,3 bilhões de habitantes e que seja necessário aumentar em 50 a 70% a produção destes cereais. Assim, caso não haja aumento na eficiência de adubação, deverá haver um aumento similar em magnitude no uso de fertilizantes nitrogenados. Decorre daí a necessidade de aumentar a eficiência do uso de N (Boaretto & Muraoka, 2007).

Dessa forma a Petróleo Brasileiro S.A. desempenha importante papel no desenvolvimento da produção de fertilizantes no país, tendo sido pioneira na produção de nitrato de amônio, depois na produção de uréia perolada, e no final de 2007, também na produção de uréia granulada (Facre, 2007).

A uréia é um composto nitrogenado sólido, que se apresenta na forma de grânulos brancos e possui 46% de N na forma amídica. É o fertilizante nitrogenado mais utilizado no mundo. Mais de 90% da produção mundial é destinada para uso como fertilizante. A produção de uréia a partir de amônia e gás carbônico, produzidos numa mesma unidade, torna o produto menos oneroso que os demais fertilizantes nitrogenados, inclusive pelo fato de possuir teor de N bem mais alto, comparada aos demais produtos, o que proporciona um preço mais atrativo por tonelada de N. Assim, a uréia apresenta o mais baixo custo de transporte e estocagem por unidade de N contido.

O sulfato de amônio apresenta algumas vantagens em relação à uréia e a outras fontes nitrogenadas, pois possui baixa tendência de perdas voláteis de N e baixa taxa de nitrificação, além de ser uma fonte econômica de enxofre (24% S). Tais características proporcionam vantagens agrônômicas, levando, com frequência, a rendimentos elevados e à melhoria na qualidade do produto agrícola (Collamer et al., 2007). Outra possível vantagem advinda do uso de sulfato de amônio diz respeito ao aumento da solubilidade do fósforo e do manganês do solo, melhorando o aproveitamento desses nutrientes pelas plantas e aumentando a produtividade das culturas (Collamer et al., 2007).

Alternativas de produtos fertilizantes nitrogenados, com a finalidade de aumentar a eficiência de uso do N, incluem compostos de baixa solubilidade, produtos de liberação lenta por recobrimento por resinas ou outros materiais inorgânicos ou sintéticos, e fertilizantes contendo inibidores de nitrificação ou urease. No Brasil, a opção de novos produtos mais largamente testada é a uréia contendo inibidor da urease (Cantarella, 2007).

Os produtos denominados inibidores ou de estabilização reduzem as perdas de N por retardarem a conversão das formas originais do fertilizante em formas que podem ser facilmente perdidas. Os denominados de liberação lenta protegem o N por adiarem sua disponibilidade através da necessidade de decomposição bioquímica dos compostos. Os produtos ditos como revestidos são fertilizantes com N na forma tradicional, porém revestidos, o que propicia uma barreira física contra a exposição do nutriente. Enquadram-se basicamente em dois tipos de recobrimento, com enxofre ou com polímeros (Blaylock, 2007).

O uso de fertilizantes nitrogenados contribui para impactos ambientais diversos, tais como eutrofização, acidificação e aquecimento global. Paralelo a esses efeitos, seu uso estabelece benefícios ao ambiente em termos, principalmente, de elevação do nível de fixação de CO₂, produção de biomassa e preservação do solo natural por promover maior produtividade por área (Lammel & Brentrup, 2007).

2.2 Biureto

O Biureto (C₂H₅N₃O₂) é um produto da decomposição termal da uréia, é formado quando duas moléculas de uréia se combinam, liberando uma molécula de amônia (Kurze, 1956). Biureto puro contém 23,3% C, 40,8% N, 30,0% O e 4,0% H. A uréia fertilizante comercial normalmente contém quantidades pequenas e variáveis de biureto como uma impureza, que é formada durante a granulação da uréia cristalina quando aquecido perto do seu ponto de fundição (132 °C) (Mikkelsen, 1990).

Há muitas razões da importância relativa da uréia como a forma principal de fertilizante nitrogenado. O seu alto conteúdo de N (46% N) o faz econômico para produção, transporte, e distribuição em todo o mundo (Harre & Bridges, 1988). Assim os primeiros usuários da uréia tiveram de aprender a contornar dois problemas associados com o seu uso. Primeiro, quando a uréia é aplicada superficialmente no solo, quantidades consideráveis do N aplicado podem ser perdidas pela volatilização de NH₃, com uma perda de acompanhamento no valor do fertilizante (Gasser, 1964). Em segundo lugar, os primeiros métodos de fabricação de uréia fertilizante muitas vezes resultaram em concentrações relativamente altas de biureto que são potencialmente nocivos ao desenvolvimento das plantas (Starostka & Clark, 1955).

Quando a uréia é aquecida perto ou acima do seu ponto de fundição (132 °C), NH₃ é lentamente desenvolvida e várias outras substâncias diferentes, inclusive biureto, são formadas (Mikkelsen, 2007). As condições na qual o biureto e outros derivados de uréia são formadas durante o processo de fabricação do fertilizante foram discutidas por Kaasenbrood et al (1963).

A existência de biureto foi primeiro identificado por Wiedmann em 1848 após o aquecimento de nitrato de uréia de 150 para 170 °C (Redemann et al., 1958, citado por Mikkelsen, 1990). Por muitos anos, o interesse primário em biureto implicou a quelatos fortes, que ele forma na solução alcalina com metais de transição como Cu e Ni. Por causa da sua coloração, esse quelato de biureto-metal muitas vezes é usado como reagente analítico.

O biureto pode ser tóxico as plantas, se aplicado ao solo ou folhas. Embora os métodos modernos de fabricação de uréia tenham resultado em concentrações mais baixas de biureto e tenham assim reduzido o risco da toxicidade para as plantas (Kilmer & Engelstad, 1973), as dúvidas ainda surgem quanto a riscos potenciais associados com biureto (James & Oomen, 1987).

Os primeiros pesquisadores observaram que o crescimento das plantas foi reduzido ou completamente eliminado depois da aplicação de biureto no solo e que os efeitos tóxicos diminuíram dentro de algum tempo. DeFrances et al. (1947) utilizou esta característica fitotóxica e encontrou que o biureto foi um herbicida de pré-emergência eficaz para suprimir a germinação de sementes de erva daninha. Ele observou que depois da aplicação do biureto, um período de espera de pelo menos 6 semanas foi necessário antes que uma cultura pudesse ser cultivada no solo tratado com biureto.

Durante a década de 1950, o primeiro dano observado pela aplicação foliar de uréia contendo biureto ocorreu em abacate, cítrus e abacaxi. Desde então, o esforço considerável foi dedicado à determinação de uma concentração segura de biureto para utilização de uréia via adubação foliar. Como para a aplicação no solo, algumas espécies de plantas são mais tolerantes ao biureto do que outras, mas a concentração admissível de biureto na uréia destinada para aplicação via foliar são muito mais baixos do que para a aplicação no solo. A uréia e o biureto movem-se prontamente nas folhas de muitas plantas, fazendo o potencial de efeitos adversos maiores com a fertilização foliar. (Mikkelsen, 2007)

As concentrações excessivamente altas de biureto podem ter efeitos prejudiciais em emergência das sementes e no seu desenvolvimento (Brage et al., 1960). Isto foi primeiro demonstrado por Smika & Smith (1957) onde embebendo sementes com uma solução contendo uréia + 2,5% de biureto reduziram e muito a germinação de trigo comparada com sementes que tinham sido embebidas em uma solução que continha somente uréia. Eles também encontraram que a presença de biureto aumentou o tempo necessário para a emergência. Contudo, Hunter & Rosenau (1966) colocando sementes de milho embebido em solução de uréia foi encontrado que a germinação não foi afetada, exceto em concentrações muito altas de biureto (> 5% biureto). Eles observaram que sementes úmidas em solução de biureto pareciam germinar normalmente, mas os processos de crescimento subsequentes foram prejudicados. Como a concentração da solução de biureto aumentou a 10%, os sintomas de toxicidade ficaram mais severos como, enrolamento foliar, folhas torcidas e escurecimento da radícula e coleóptilo, e a morte da plântula antes da emergência na areia. Em um experimento onde foi realizada uma adubação via aplicação foliar de uréia contendo 0,5% de biureto, os sintomas visuais foram folhas amarelas, enrolamentos superiores dos ápices das folhas, e margens de folha necróticas. (Mikkelsen, 2007).

Muitos estudos foram feitos para determinar a máxima concentração de biureto tolerado pelas culturas. A sensibilidade da cultura depende de muitos fatores como a espécie, propriedades de solo, o método e regulação de tempo da aplicação do fertilizante, e tanto concentração como soma total de biureto aplicado. O biureto não é conservado no solo e é facilmente lixiviado. Geralmente, as plantas são menos sensíveis ao biureto quando ele é aplicado aos solos que contém apreciável quantidade de argila ou matéria orgânica ou baixo pH (Mikkelsen, 2007).

O agente tóxico específico associado com biureto, na zona da raiz, não é conhecido. Tem sido considerado que o ácido cianúrico ou o nitrito podem acumular-se no solo depois da aplicação de biureto e contribuir para a toxicidade das plantas. Embora esses compostos possam ser injuriosos para plantas, biureto por si mesmo é também perigoso (Mikkelsen, 2007).

Jain et al. (1972) conduziram experimento para examinar a interação entre biureto aplicado ao solo e biureto que foi aplicado via foliar na cultura de arroz. Eles não encontraram nenhum efeito adverso que resulta da aplicação no solo de 50 kg N ha⁻¹ na forma de uréia contendo 1,5% de biureto. Contudo, quando aplicado 30 kg N ha⁻¹ na forma de uréia via foliar, até a presença de 0,3% de biureto foram causados danos às plantas. A aplicação via foliar de biureto atrasou a emergência de espigas, o número de brotos, comprimento de espiga, o número de grãos por espiga, e o rendimento de palha e grão. Contudo, não houve

nenhuma interação entre solo e as aplicações foliares do biureto. A tolerância das aplicações via foliar de biureto geralmente é muito mais baixa do que aplicações de biureto no solo, porque os efeitos de modificação de solo não estão presentes e o biureto aplicado é absorvido pela planta por um período de tempo curto.

Como o biureto não é facilmente metabolizado pelas plantas, a aplicação repetida via foliar da uréia e biureto podem ter um efeito cumulativo, especialmente com culturas perenes. Jain & Verma (1974) aplicaram 20 kg N ha^{-1} de uréia (contendo de 0 a 9% de biureto) às folhas de arroz em quatro aplicações foliares semanais. Embora tanto crescimento como rendimento fossem adversamente afetados pelo biureto, nenhum sintoma visual da toxicidade de biureto foi observado em concentrações de biureto até 9%. Outros pesquisadores não conseguiram observar sintomas de toxicidade depois da aplicação de soluções concentradas de biureto (Ehrendorfer, 1962). Isto pode ser devido à quantidade total relativamente baixa de biureto aplicado, e não a concentração de biureto na uréia fertilizante. Por exemplo, na concentração mais alta de biureto (9% biureto), Jain & Verma (1974) só aplicaram $3,9 \text{ kg biureto ha}^{-1}$ e não observaram nenhum sintoma de toxicidade visível, embora os rendimentos fossem muito reduzidos.

Webster et al. (1957) estudou o efeito de biureto na síntese de proteína em folhas de *Xanthium pennsylvanicum*. Eles encontraram que biureto não promove a decomposição de proteína da folha, mas inibe a formação de proteína, podendo essa inibição ocorrer diretamente na síntese de proteínas, na produção de aminoácidos ou algum efeito secundário do biureto em local completamente desconhecido. Ogata (1962) confirmou que a presença de biureto em plantas inibe a síntese de proteína.

As plantas não são capazes de metabolizar rapidamente o biureto. Em um experimento, o biureto ainda permanecia nas folhas da laranjeira oito meses depois da aplicação via foliar. O biureto aplicado no solo de mesmo modo acumula-se em plantas por períodos relativamente longos. O mecanismo exato do dano do biureto nas plantas é ainda incerto, mas os efeitos perigosos de altas concentrações foram bem estudados. (Mikkelsen, 2007)

Quando presente em concentrações elevadas, o biureto interfere na síntese de proteína e no metabolismo interno de N na planta. Baixas concentrações de N são tipicamente encontradas em folhas danificadas por biureto do que em folhas tratadas com uréia sem biureto. O biureto também interrompe a atividade normal de muitas enzimas importantes de plantas; aumentando algumas enzimas e reduzindo outros, comparado com folhas sadias. (Mikkelsen, 2007).

No entanto, Carles et al. (1960), estudando o efeito do biureto aplicado no solo em plantas de trigo, verificaram aumento nos teores foliares de N de acordo com um aumento nas concentrações de biureto. Rai et al. (1956) encontraram os mesmo resultados para a cultura do feijão, atribuindo os maiores teores de N nas plantas a algum efeito adverso no metabolismo metabólico da planta.

2.3 Utilização de N pela Cultura do Arroz

A cultura do arroz extrai do solo altas quantidades de nutrientes, o que gera necessidade de suprir o solo com adubação e corretivos. Contudo, os experimentos mostram que a eficiência com a qual a planta recupera o adubo adicionado é bastante baixa, sendo que o coeficiente de utilização de N raramente ultrapassa 20-40% (De Datta, 1981). Como segundo macronutriente mais exigido pela cultura e mais exportado como produto colhido, o N é admitido, em regra geral, como elemento mais capaz de aumentar a produção de grãos (Malavolta & Forsanieri, 1983).

Do ponto de vista da fisiologia da produção, o N desempenha quatro papéis fundamentais (Below, 1995): a) Estabelecimento da capacidade fotossintética; b) Manutenção

dessa capacidade; c) Estabelecimento da capacidade de dreno; d) Manutenção da atividade funcional do dreno.

A absorção e acumulação de N variam com o estágio de desenvolvimento da cultura. O período de demanda máxima ocorre durante o máximo perfilhamento e o início da fase reprodutiva, com a absorção praticamente completada na emergência da panícula (Machado et al., 1990).

Quanto à produtividade do arroz de sequeiro, Stone & Silva (1998) verificaram que a dose de 40 kg ha⁻¹ de N foi suficiente para o arroz de terras altas, não havendo diferença significativa entre as produtividades obtidas com essa dose e 80 kg ha⁻¹ de N. Já Mauad et al. (2003), verificaram que aplicações de altas doses não refletiram em aumento na produtividade de grãos, mas, sim, na redução. Segundo esses resultados, não há uma recomendação singular para aplicação de nitrogênio, devendo-se considerar outros fatores, como: cultivar, sistema de produção, região de cultivo, dentre outros. Uma das explicações para a diminuição da produtividade com o aumento da dose de 100 kg ha⁻¹ de N pode estar relacionada com o sombreamento mútuo, ocasionado pelo aumento da área foliar induzida por doses elevadas de nitrogênio (Stone et al., 1999; Farinelli, 2004).

Neste sentido, a adubação nitrogenada promove aumento no número de espiguetas, massa de grãos (Fornasieri Filho & Fornasieri, 1993) e, segundo Husain & Sharma (1991) altas doses de nitrogênio, na cultura do arroz, incrementam o número de panículas m⁻², número de grãos panícula⁻¹, afetando também a altura de plantas, causando acamamento. Resultados de pesquisa demonstraram ser possível obter resposta na produtividade com doses entre 40 e 180 kg ha⁻¹ de N (Bordin et al., 2003). O N, portanto, é necessário durante todo o período vegetativo do arroz, exigindo, porém, maior atenção em duas fases fisiológicas críticas: perfilhamento e início da diferenciação de primórdio floral.

3. CAPITULO I

COMPARAÇÃO DE FERTILIZANTES GRANULADOS NK E NS CONTENDO BIURETO COM SUAS MISTURAS FÍSICAS EM ARROZ (*ORYZA SATIVA*)

3.1 RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar fertilizantes granulados NK (uréia e cloreto de potássio) e NS (uréia e sulfato de amônio) em relação as suas misturas físicas, em cultivar de arroz IAC 202, quanto aos parâmetros morfológicos (altura, massa seca e perfilhos), como também quanto ao fornecimento de nutrientes no solo e absorção de N e K^+ pelas plantas. O experimento foi instalado em material de solo de diferentes texturas, provenientes do horizonte A de um Planossolo e do horizonte B de um Argissolo. Os solos foram incubados com doses crescentes de carbonato de cálcio com a finalidade de elevar o pH para 6,5. Foram avaliados 6 granulados NK e 4 granulados NS, estes apresentando diferentes proporções de N, K_2O , S e de biureto em relação as suas respectivas misturas físicas, praticamente isentas de biureto preparadas com as matérias primas (uréia fertilizante, cloreto de potássio e sulfato de amônio) utilizadas na produção dos diversos fertilizantes granulados. O experimento teve uma duração de 40 dias, onde se avaliou a disponibilidade de nutrientes e as mudanças nas concentrações dos elementos em função de ser utilizada uma alta relação semente/solo proporcionando assim uma rápida exploração do solo pelas raízes e absorção de nutrientes em um curto período de tempo. Como os fertilizantes granulados apresentam altos teores de biureto em sua composição, estando estes acima do limite estabelecido pela Legislação Brasileira, estes produtos não poderão ser utilizados para fins agrícolas, uma vez que ocasionam efeitos adversos no crescimento das plantas. Quanto aos parâmetros morfológicos, foi observado que os tratamentos que receberam biureto resultaram em um retardamento e em alguns casos inibiu o crescimento das plantas de arroz em comparação com as misturas físicas, sendo esse retardo maior no solo de textura mais arenosa. Quanto aos atributos químicos do solo, verificou-se um acúmulo nos teores trocáveis de Mg^{2+} nos tratamentos que receberam biureto, provavelmente o biureto inibiu de alguma maneira a absorção deste elemento pelas raízes das plantas. Houve também um maior acúmulo de $NO_3^-+NO_2^-$ nos dois solos, quando as aplicações de biureto foram superiores a 12 kg ha^{-1} . Este fato pode estar relacionado à inibição inicial da nitrificação no solo pelo biureto, promovendo aumento na concentração de nitrito, como também maiores acúmulos de NH_4^+ indicando que o biureto aumenta a amonificação nos solos. Em relação à absorção pelas plantas, quando biureto foi adicionado as plantas, estas absorveram mais $N-NO_3^-$ e NH_4^+ quando comparados com as suas misturas físicas. Ainda, as plantas apresentaram maiores teores de N, principalmente no Argissolo, uma vez que o biureto é constituído em grande parte de N, estando este na mesma forma molecular que o encontrado na uréia ($-NH_2$). E, diferentemente ao encontrado na literatura, os tratamentos que receberam os granulados contendo biureto apresentaram uma maior absorção de K^+ quando comparadas aos tratamentos que receberam as misturas físicas.

Palavras-chave: Fertilizante granulado. Mistura física. Biureto.

3.2 ABSTRACT

This study aimed to evaluate NK granular fertilizers (urea and potassium chloride) and NS (urea and ammonium sulfate) compared to their physical mixtures, in the rice cultivar IAC 202 morphological parameters (height, dry weight and tiller), as well as supply of nutrients in soil and uptake of N and K^+ by plants. The experiment was conducted in soils of different textures, taken from A horizon of a Fragiudult, and B horizon of an Ultisol. The soils were incubated with increasing doses of calcium carbonate, in order to raise the pH to 6.5. Four and six granular NK and NS fertilizers were evaluated. They presented different proportions of N, K_2O , S and biuret on their respective mixtures, practically free of biuret, prepared with raw materials (urea fertilizer, potassium chloride and ammonium sulfate) used in the production of the various fertilizers. The duration of the experiment was of 40 days, and it focused on the availability of nutrients and changes in concentrations of elements due to the usage of a high ratio seed/soil, providing a quick exploration of soil by the roots and absorption of nutrients in a short period of time. As the pellets fertilizer have high levels of biuret in their composition, above the limit established by Brazilian legislation, these products might not be used for agricultural purposes, since they cause adverse effects on plant growth. As for the morphological parameters, it was observed that treatments receiving biuret resulted in a delay and, in some cases, inhibited the growth of rice plants, when compared to the fertilizer mixtures, and such delay was highest in the sandier textured soil. As for soil chemical attributes, there was an accumulation in the exchangeable Mg^{2+} levels in the treatments receiving biuret, which probably inhibited the absorption of this element by the plant roots. There was also a greater accumulation of $NO_3^- + NO_2^-$ in both soils, when the applications of biuret were superior to 12 kg ha^{-1} . This may be related to the biuret initial inhibition of the soil nitrification, increasing concentration of nitrite, and also the highest accumulation of NH_4^+ , indicating that the biuret increased formation of ammonia in soil. Regarding the uptake by plants, when biuret was added to the plants, they absorbed more $N-NO_3^-$ and NH_4^+ when compared to the equivalent fertilizer mixtures. Also, the plants had highest levels of N, mainly in the Ultisol, since biuret consists largely of N, in the same molecular form found in urea ($-NH_2$). Different from what is registered in the specialized literature, the treatments that received pellets containing biuret had higher K^+ uptake when compared to treatments receiving the fertilizer mixtures.

Key words: Granule fertilizer. Physical mixing. Biuret.

3.3 INTRODUÇÃO

A uréia é considerada como um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados devido ao seu baixo custo relativo, à alta solubilidade em água e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Entretanto durante os métodos de fabricação de uréia fertilizante quando ela é aquecida perto de seu ponto de fundição pode resultar na formação de biureto, um composto nocivo ao desenvolvimento das plantas (Starostka & Clark, 1955). O Biureto ($C_2H_5N_3O_2$) é um produto da decomposição termal da uréia, é formado quando duas moléculas de uréia se combinam, liberando uma molécula de amônia.

O biureto influencia na nitrificação do N no solo quando aplicado junto com a uréia. Bhargava & Ghosh (1976) relataram que o biureto retardou a nitrificação e que essa diminuição estava relacionada com a concentração de biureto na uréia. Sahrawat (1977) constatou que o biureto não afetou diretamente a hidrólise da uréia, mas temporariamente inibiu a conversão de NH_4^+ para NO_3^- e a subsequente oxidação de NO_2^- para NO_3^- . Quando uréia contaminada com biureto foi adicionada ao solo, tanto concentrações de NH_4^+ e NO_2^- foram superiores no solo do que os tratamentos que receberam somente uréia. Em estudos semelhantes Hadi et al. (1980) confirmou também um maior acúmulo de amônio e nitrito em função da aplicação de biureto no solo.

Apesar da importância do nitrogênio, o emprego de altas doses induz à formação de grande número de perfilhos e folhas novas, provocando sombreamento, acamamento e criando condições favoráveis à ocorrência de doenças, refletindo em menor produtividade de grãos (Malavolta & Fornasieri Filho, 1983; Barbosa Filho, 1991). Dessa forma, a influência da adubação nitrogenada na produtividade de grãos é variável, podendo apresentar incremento com doses superiores a 100 kg ha^{-1} de N (Stone et al., 1999) e, em determinadas situações, não afetar o rendimento (Arf, 1993).

Desta forma o objetivo deste capítulo foi de estudar e comparar os diversos fertilizantes granulados NK e NS contendo biureto em sua composição com as suas respectivas misturas físicas isenta de contaminantes quanto aos parâmetros fenológicos e teores de nutrientes na parte aérea da planta e no solo, em função dos teores de K, S e biureto contido nos fertilizantes granulados NK e NS e nas suas misturas físicas.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Local de realização dos estudos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação climatizada (Figura 1), localizada no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, estando localizada 33 metros acima do nível do mar e nas coordenadas 22°45' de latitude Sul e 43°41' de longitude Oeste.



Figura 1- Casa de vegetação onde foram realizados os experimentos.

3.4.2 Solos utilizados

Os solos utilizados (Figura 2) como substratos para crescimento da cultivar de arroz foram coletados próximo ao setor de bovinocultura de leite, antiga rodovia RJ-SP, km 47 UFRRJ. Estes foram de texturas diferentes provenientes de um horizonte A de um Planossolo Háplico (textura arenosa) e um horizonte B de um Argissolo Vermelho (textura argilosa).



Horizonte A de um Planossolo (textura arenosa)



Horizonte B de um Argissolo (textura argilosa)

Figura 2. Local de coleta dos solos, localizado na UFRRJ.

Depois de coletados os solos foram peneirados em malha de 4 mm e realizado análises químicas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos/UFRRJ segundo os procedimentos do Manual de Métodos de Análises Químicas dos Solos, Plantas e Fertilizantes (Silva, 1999) e da Embrapa (1997), e realizado também a análise granulométrica. Os resultados seguem nas Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1. Resultados da análise química dos solos utilizados, onde m-saturação por Al; n-saturação por Na.

Solo	Na	Ca	Mg	H + Al	Al	S	T	V	m	n	pH	Corg	P	K
	cmol/dm ³							%			1:2,5	%	-mg/L-	
Planossolo T. Arenosa	0,016	1,2	0,3	2,5	0,50	1,59	4,09	39	23,89	0	5,5	1,02	3	30
Argissolo T. Argilosa	0,010	1,8	1,0	2,0	0,35	2,47	4,77	52	3,89	0	5,4	0,54	8	18

Tabela 2. Análise granulométrica dos solos.

Amostra	Argila Natural	Argila Total	Areia Total	Areia Fina	Silte
	g kg ⁻¹				
Planossolo T. Arenosa	30	70	920	210	10
Argissolo T. Argilosa	40	490	350	60	160

3.4.3 Caracterização química dos fertilizantes granulados

Os fertilizantes granulados foram desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT), pelo processo de granulação no disco de pelotização, através de um contrato entre a CENPES - PETROBRÁS. São resultantes de duas linhas de pesquisa de produção de fertilizantes, empregando a técnica de pelotização: NK - granulação de uréia e cloreto de potássio e NS - granulação de uréia e sulfato de amônio.

A caracterização dos produtos quanto aos teores de N (em suas diferentes formas), K₂O e S, encontram-se na Tabela 3. Da mesma forma, também em triplicata, os produtos foram caracterizados quanto à presença de metais pesados, de acordo com a legislação vigente preconizados pelo MAPA (Brasil, 2004), sendo as análises realizadas de acordo com o MAPA (Brasil, 2007) através da Instrução Normativa nº 24 de 21 de junho de 2007, como também quanto aos níveis de biureto em suas composições (Brasil, 2004). As análises foram realizadas pelo laboratório do MAPA (Laboratório Nacional de Referência Vegetal - LANARV- Goiânia - GO).

Os teores revelados pela análise foram inferiores aos preconizados pela Legislação Brasileira vigente e, na maioria dos casos, as quantidades não foram detectadas pelo método adotado, sendo que provavelmente os teores de metais pesados nas plantas e no solo se encontrem abaixo do limite imposto pela legislação, dessa forma não será necessário à realização de análises químicas para sua comprovação.

Tabela 3- Caracterização química dos fertilizantes granulados e das matérias primas em relação aos teores dos nutrientes e quanto a presença de biureto e de metais pesados.

Produto	Composição	Proporção	N total	N amídico	N amoniacal	K ₂ O	S	Biureto	Arsênio	Cádmio	Chumbo	Cromo	Mercúrio
NK-1	Uréia Pura	100	45,2	45,2	-	-	-	7,0	N.D	N.D	0,3	4,22	N.D
NK-3	Uréia/KCl	72,7/27,3	32,5	32,5	-	17,2	-	3,3	N.D	N.D	0,7	2,84	N.D
NK-5	Uréia/KCl	80,5/19,5	35,7	35,7	-	12,0	-	3,2	N.D	N.D	0,7	1,02	N.D
NK-7	Uréia/KCl/H ₂ O	80/14/6	36,5	36,5	-	9,1	-	3,6	N.D	N.D	0,2	3,31	N.D
NK-9	Uréia/KCl	57,2/42,8	26,0	26,0	-	26,0	-	2,7	N.D	N.D	0,3	3,83	N.D
NK-11	Uréia/KCl	47,1/52,9	21,0	21,0	-	32,0	-	2,3	N.D	N.D	0,8	1,75	N.D
NS-1	Uréia/(NH ₄) ₂ SO ₄	60/40	27,1	27,1	8,1	-	9,4	4,3	N.D	N.D	50,0	1,81	N.D
NS-3	Uréia/(NH ₄) ₂ SO ₄	80/20	36,2	36,2	4,0	-	4,7	5,0	N.D	N.D	0,2	3,31	N.D
NS-5	Uréia/(NH ₄) ₂ SO ₄ /	60/40/X	26,7	26,7	7,6	-	8,8	4,1	N.D	N.D	0,4	2,50	N.D
	H ₂ O												
NS-7	Uréia/(NH ₄) ₂ SO ₄ /	80/20/X	35,0	35,0	3,6	-	4,2	3,2	N.D	N.D	1,0	7,53	N.D
	H ₂ O												
KCl	KCl puro	100	-	-	-	-	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Uréia Pura	Uréia pura	100	-	-	-	-	-	-	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Limite Máximo*	--	--	--	--	--	--	--	1,5	10,00	20,00	100,00	200,00	0,20
L.D	--	--	--	--	--	--	--	--	0,10	0,25	0,10	0,25	0,04
L.Q	--	--	--	--	--	--	--	--	0,25	0,50	0,50	0,50	0,10
Branco	--	--	--	--	--	--	--	--	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

Observações:

*MAPA – Legislação Vigente

L.D. – Limite de Detecção do Método

L.Q. – Limite de Quantificação do Método

N.D. – Não Detectado Abaixo do Limite de Detecção

3.4.4 Condições ambientais

Foi realizado um acompanhamento diário da temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, através de registros por meio de termômetro digital instalado dentro da mesma. A temperatura máxima durante o período foi de $48,4^{\circ}\text{C} \pm 3,0^{\circ}\text{C}$, esta alta temperatura provavelmente se deve a época do ano em que o experimento foi instalado e a temperatura mínima foi de $17,0^{\circ}\text{C} \pm 3,0^{\circ}\text{C}$ (Figura 3), sendo que na média a temperatura foi de 29°C .

Dado que a temperatura é o fator ambiental que isoladamente tem maior importância no desenvolvimento vegetal (Ritchie & Nesmith, 1991) é apresentada na Figura 3 uma análise detalhada da variação de temperatura.

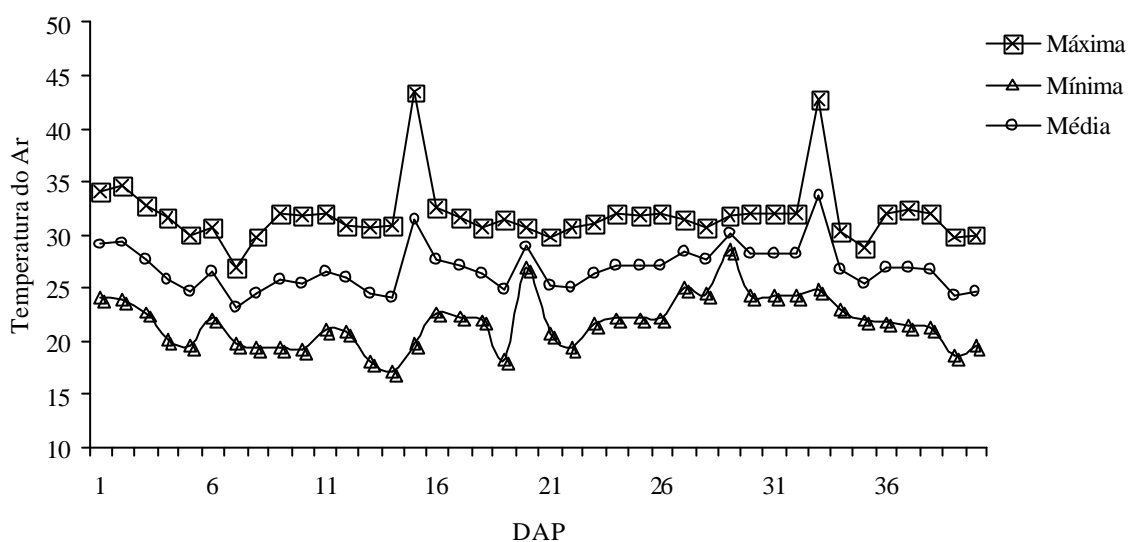


Figura 3- Variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) dentro da casa de vegetação.

A umidade do ar (UR) durante o experimento é apresentada na Figura 4, onde a umidade máxima registrada no respectivo período foi 99% e a umidade mínima de 10%, este baixo valor de umidade provavelmente ocorreu nos dias em que houve interrupção de energia elétrica, já que a casa de vegetação onde se realizou os experimentos é totalmente climatizada, dessa forma dependente de energia elétrica.

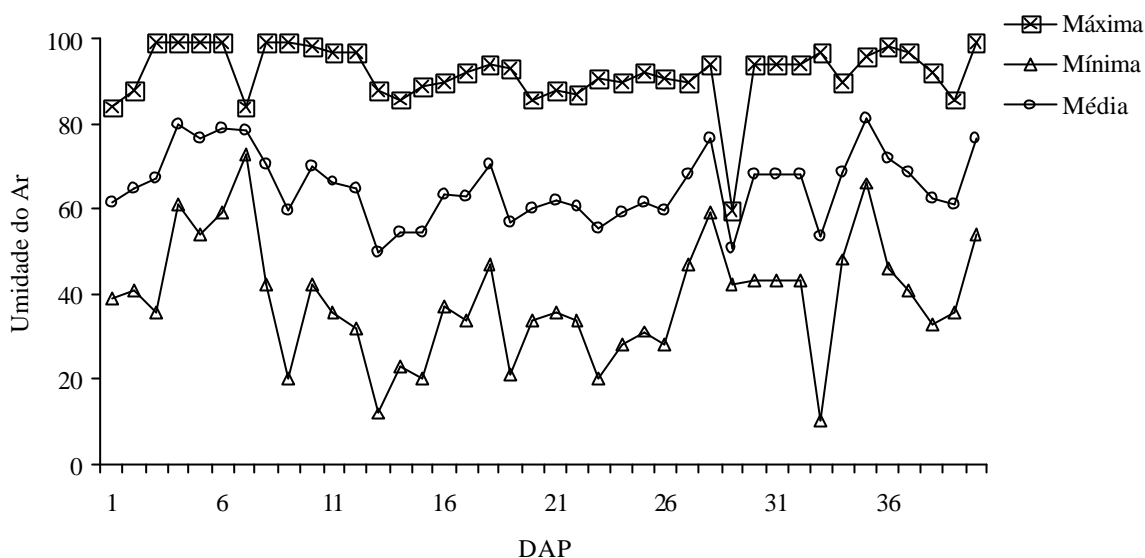


Figura 4 – Variação da umidade do ar (%) dentro da casa de vegetação.

3.4.5 Cultivar de arroz

Foi escolhida para condução do experimento a cultivar de arroz (*Oryza sativa*) IAC 202, já que esta é classificada como uma cultivar responsiva ao nitrogênio. A cultivar IAC 202 é a denominação comercial da linhagem IAC 1205 obtida do cruzamento entre os cultivares Lemont e IAC 25 realizado no Centro Experimental de Campinas em 1985. O IAC 202 apresenta altura média de 87 cm, sendo considerada de porte baixo e intermediário (Bastos, 2000).

3.4.6 Procedimentos experimentais

3.4.6.1 Incubação dos solos

Para a incubação dos solos de textura arenosa e textura argilosa foram utilizados 200 gramas de TFSA de cada solo onde estas foram peneiradas em malha de 4 mm, sendo condicionados em copos plásticos e mantidos com umidade em 70% da sua capacidade de campo, e para que o pH fosse mantido em 6,5; foram utilizadas doses crescentes de CaCO_3 nas doses 0,0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,4 e 12,8 Mg CaCO_3 sendo que o pH foi determinado na primeira semana após incubação e após em intervalos de 2, 4, 8, 16, 32 dias, construindo assim curvas de neutralização para cada tipo de solo.

Verifica-se que para o solo de textura arenosa (Planossolo) o pH se estabilizou com, aproximadamente, 24 horas após a incubação com umidade equivalente a 70% da capacidade de campo (Figura 5).

Na Figura 6 é apresentada à curva de neutralização para o solo de textura argilosa (Argissolo). Observa-se, de forma análoga ao observado para o solo de textura arenosa, que o pH, que nas mesmas condições de incubação, também se estabilizou após o período de 24 horas de incubação.

Esse comportamento semelhante à cerca da estabilização do pH, observado para os dois solos, é decorrente provavelmente, do teor de matéria orgânica mais elevada para o solo arenoso e a maior quantidade de argila no outro solo, conforme pode ser observado na Tabela 1 e Tabela 2, que confere a estes dois solos capacidades de tamponamento do pH semelhantes.

Especificamente, após realização da curva de neutralização para o solo de textura arenosa e argilosa (Figura 5 e Figura 6), verifica-se que a recomendação de calcário para que os solos atinjam pH 6,5 ficou entre 0,8 e 1,6 Mg ha^{-1} de carbonato de cálcio (CaCO_3).

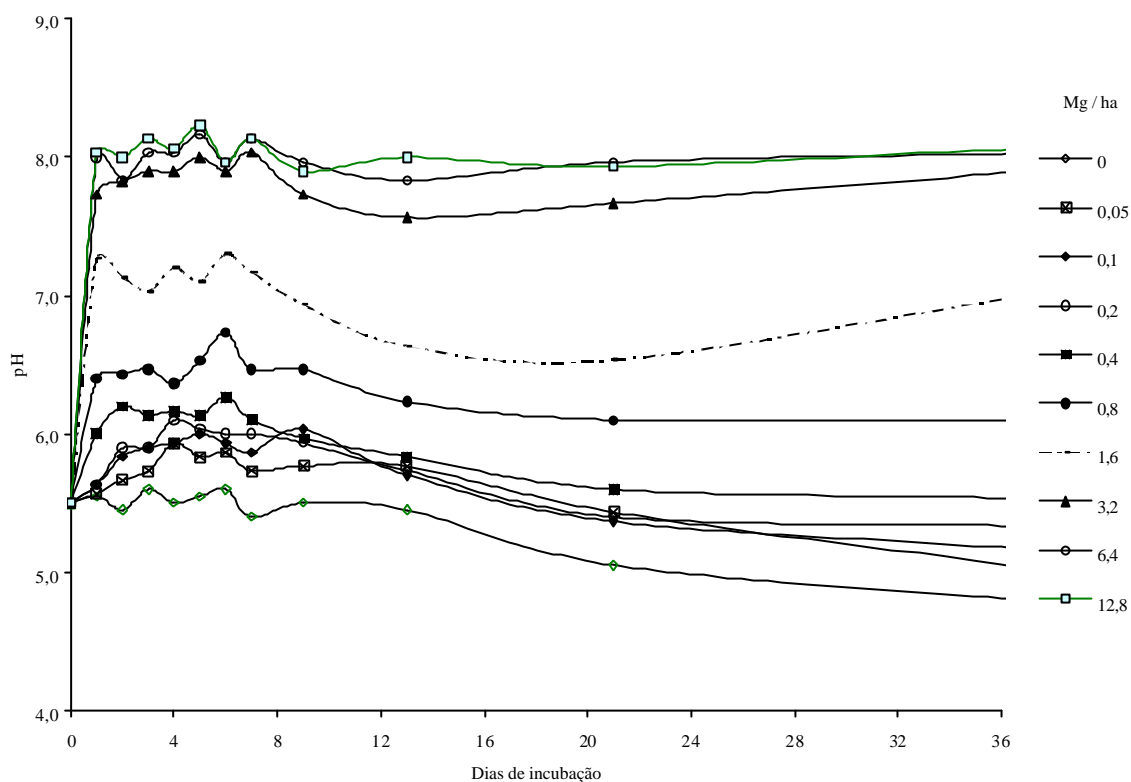


Figura 5- Tempo de estabilização do pH em função da doses de calcário adicionado ao solo de textura Arenosa.

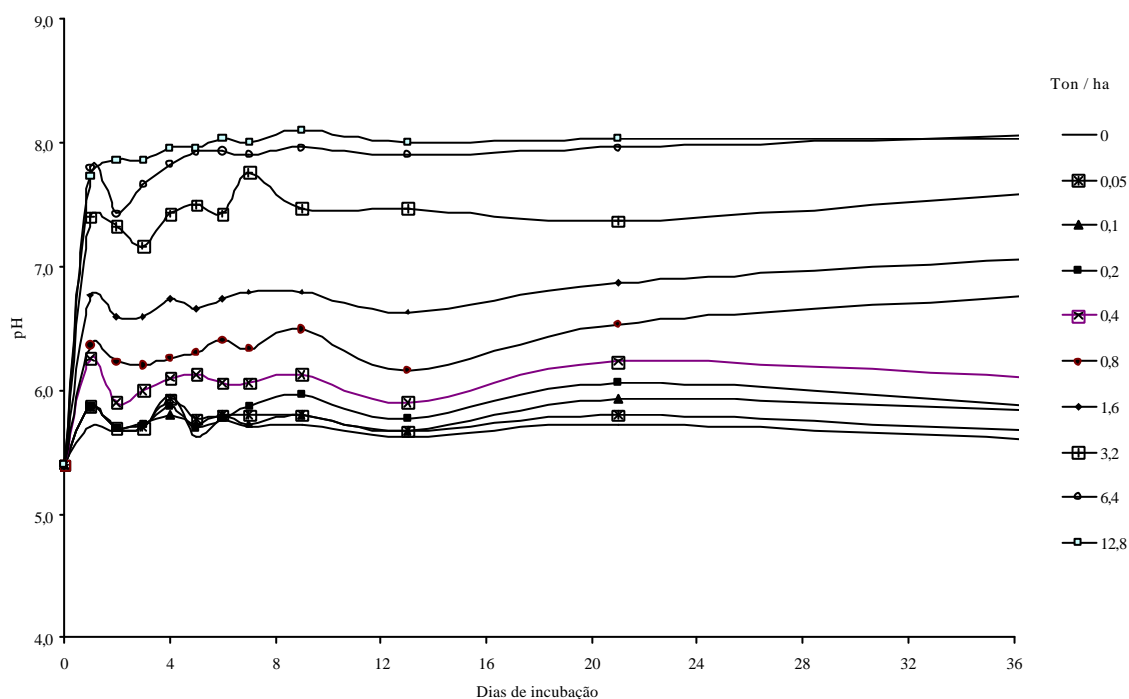


Figura 6- Tempo de estabilização do pH em função da doses de calcário adicionado ao solo de textura Argilosa.

Após a incubação do solo, e posterior derivação dos resultados utilizando uma equação de 2° (Equação de Baskara) obteve-se como resultado para as doses de calcário 1,41 e 1,58 Mg ha^{-1} para o solo de textura arenosa e argilosa respectivamente.

Para a correção do pH para que este atinja valores próximos a 6,5; valor este considerado ideal para o desenvolvimento e crescimento da maioria das culturas, foi utilizado um Calcário Agrícola Dolomítico possuindo 75,1% PRNT.

Utilizando o PRNT do calcário obteve-se a real recomendação para o solo de textura arenosa e argilosa, onde foram aplicadas respectivamente 1,88 e 2,10 Mg ha⁻¹ calcário dolomítico 75, 1% PRNT 20 cm⁻¹. A correção final consistiu incubar os solos com a ajuda de uma betoneira para uma melhor homogeneização do calcário junto ao solo. Depois da homogeneização do calcário na betoneira este foi acondicionado em sacos de 50 kg onde juntamente com o solo foi adicionada água destilada para que este permanecesse em 70% da capacidade de campo e para que as reações químicas necessárias para que o pH se eleve ao valor de 6,5 possa então ocorrer.

3.4.6.2 Implementação do experimento

Os vasos utilizados nos experimentos possuem uma área de 0,0074 m², estes foram pintados externamente com tinta alumínio e receberam 0,5 L de terra peneirada em malha de 4 mm com auxílio de uma proveta graduada. Os solos utilizados foram mantidos em 70% da capacidade de campo, a irrigação foi feita diariamente através do método de pesagens diárias dos vasos, onde a diferença de peso era adicionada com água destilada por meio de proveta graduada.

Os fertilizantes foram adubados de maneira incorporada nos primeiros 3 cm do vaso, esta camada superficial foi retirada, acondicionada em um pote menor onde procedeu a adubação e posterior homogeneização, sendo que após este procedimento o solo retornou ao vaso para então ser realizada o plantio. No momento da adubação também foi aplicado fósforo na forma de superfosfato triplo (46% P₂O₅) nas doses de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ para o solo de textura arenosa e textura argilosa de acordo com o Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (De-Polli et al, 1988). Em cada pote foram plantadas 20 sementes da cultivar de arroz IAC 202, onde os potes foram dispostos inteiramente ao acaso dentro da casa de vegetação, sendo cultivados por um período de 40 dias.

Para a avaliação da disponibilidade de nutrientes adicionados aos solos, foram utilizadas plantas em ensaio em curto prazo e sem grandes volumes de solo, sendo esse o objetivo do teste proposto por Neubauer & Schneider (1923). Por esse método são detectadas mudanças nas concentrações de elementos em função de ser usada uma alta relação semente/solo o que proporciona uma rápida exploração do volume de solo pelas raízes e absorção de nutrientes disponíveis durante um curto período de crescimento.

3.4.7 Condução do experimento

O experimento foi realizado entre os dias 10/11/2007 e 20/12/2007 totalizando assim 40 dias de cultivos da cultivar de arroz IAC 202.

Este experimento consistiu em avaliar 10 fertilizantes granulados NK e NS com as suas respectivas misturas físicas preparadas a partir de uréia fertilizante (44,5% N), sulfato de amônio (21,0% N e 24% S) e cloreto de potássio (60,0% K₂O) utilizado como matérias-primas na fabricação dos fertilizantes granulados em dois solos de diferentes texturas no desenvolvimento da planta de arroz, onde as misturas físicas funcionaram como testemunhas para fins de comparação. As misturas físicas foram preparadas na mesma proporção que os seus respectivos fertilizantes granulados NK e NS.

A instalação do experimento seguiu o modelo de delineamento experimental completamente casualizado, em esquema fatorial 20 x 2 com 3 repetições, sendo que os fatores estudados foram 10 produtos granulados NK e NS com 10 misturas físicas e dois solos de diferentes texturas, resultando assim em um total de 120 unidades experimentais.

Estas misturas granuladas avaliadas em função das misturas físicas foram aplicadas no momento do plantio da variedade de arroz IAC 202 responsiva ao N, sendo que a dose aplicada foi referente a uma aplicação de 120 kg N ha⁻¹ de cada fertilizante granulado e suas respectivas misturas físicas, com o intuito de fornecer uma grande quantidade para que a planta possa absorver o máximo de nutrientes. Foram plantadas 20 sementes/pote, ficando somente as 7 mais vigorosas após germinação.

Na Tabela 4 é apresentada a quantidade de K, S e de biureto adicionado juntamente com cada fertilizante granulado NK e NS em função da dose de 120 kg N ha⁻¹ utilizada. Verifica-se que entre os fertilizantes granulados NK, o NK-1 foi o que teve a maior quantidade de biureto adicionado e o fertilizante NK-5 foi o que apresentou a menor quantidade de biureto. Quanto à quantidade de potássio adicionado o fertilizante NK-11 que possui em sua composição um maior teor de K₂O foi o que teve a maior quantidade de K, e exceto o fertilizante NK-1 que não possui K em sua constituição o fertilizante NK-7 foi o que proporcionou a menor quantidade de potássio adicionado. Quanto aos tratamentos que receberam os fertilizantes granulados NS, o NS-3 foi o que apresentou em função da sua composição uma maior quantidade de biureto adicionado no solo, o fertilizante NS-7 foi o que apresentou a menor quantidade de S e de biureto adicionado e o NS-1 o que proporcionou a maior quantidade de S adicionado em função da dose de N utilizada.

Tabela 4- Quantidades de K e Biureto adicionados em cada fertilizante granulado e suas respectivas misturas físicas referentes aos tratamentos NK e NS em função da dose de 120 kg N ha⁻¹.

Tratamento	N	K ₂ O %	S	K	S	Biureto
NK-1	45,2	-	-	-	-	18,58
NK-3	32,5	17,2	-	63,51	-	12,18
NK-5	35,7	12,0	-	40,34	-	10,76
NK-7	36,5	9,1	-	29,92	-	11,84
NK-9	26,0	26,0	-	120,00	-	12,46
NK-11	21,0	32,0	-	182,86	-	13,14
NS-1	35,2	-	9,4	-	32,05	14,66
NS-3	40,2	-	4,7	-	14,03	14,92
NS-5	34,3	-	8,8	-	30,79	14,35
NS-7	38,6	-	4,2	-	13,06	9,95
Uréia	44,5	-	-	-	-	1,12

3.4.7.1 Análise química e parâmetros fenológicos

As plantas de arroz IAC 202, foram crescidas por um período de 40 dias, sob condições controladas de temperatura e umidade, onde os solos foram mantidos em 70% da sua capacidade de campo. Ao final deste período foram realizadas nas plantas as seguintes análises:

- Parâmetros Fenológicos: Altura, Peso Seco, Perfilhos.
- Teores e conteúdo dos Macronutrientes N, K, N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻

A altura (cm) das plantas foi quantificada através de medidas da base até a última folha totalmente esticada. Após esse procedimento às plantas de arroz foram coletadas e secadas em estufa de circulação forçada de ar à 60°C até atingirem peso constante, sendo sua massa seca (g) determinada em balança de precisão de 4 casas decimais. Após serem secadas e pesadas foram determinados os teores totais de macronutrientes na parte aérea da planta (Tedesco, 1995).

Após coleta da parte aérea da espécie utilizada foi tomado um volume de solo conhecido utilizado como substrato para o crescimento das plantas para realização das seguintes análises:

- Teores Totais dos Macronutrientes N e K
- Teores Trocáveis de Macronutrientes – Rotina de Fertilidade
- Teores de N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_3^- + \text{NO}_2^-$.

As análises totais de macronutrientes foram realizadas segundo Tedesco (1995) e de rotina de fertilidade foram realizadas segundo Silva (1999).

3.4.8 Análise estatística

A análise dos dados foi realizada utilizando-se o programa SAEG[®]. Os dados foram submetidos às pressuposições de normalidade e homogeneidade dos erros, utilizando respectivamente os testes de Lilliefors e Bartlett. Teste F para a análise de variância, e o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação múltipla das médias.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Parâmetros fenológicos

Na Tabela 5 são apresentadas as características fenológicas da cultivar de arroz IAC 202 tratadas com os fertilizantes granulados NK com as suas respectivas misturas físicas cultivadas no Planossolo e no Argissolo.

Comparando o acúmulo de massa seca dos produtos granulados NK com as suas respectivas misturas físicas, observa-se que não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey entre os tratamentos NK tanto no Planossolo quanto no Argissolo. No entanto, no solo de textura mais arenosa houve uma tendência das misturas físicas de apresentarem ao final de 40 dias um maior acúmulo de massa seca, o que provavelmente pode ser em função do biureto contido nestas formas granuladas NK. As misturas físicas que apresentaram os maiores acúmulos de massa seca foram MNK-11 (mistura referente ao produto NK-11) e MNK-9, o que pode ser devido a sua composição, já que estas misturas físicas são as mais equilibradas quanto à uréia e cloreto de potássio. Segundo Fageria (1999) adubações mais equilibradas entre os nutrientes N e K na cultura de arroz podem resultar em maiores produtividades.

Comparando os fertilizantes granulados NK com as suas misturas físicas, verifica-se que no Planossolo e no Argissolo não houve diferença estatística pelo teste de Tukey entre os tratamentos quando avaliado a altura de plantas. Rottini (1956) estudando a influência do biureto em cereais e leguminosas encontrou que este não afetou a altura das plantas estudadas.

Avaliando o número de plantas perfilhadas dos tratamentos que receberam os fertilizantes granulados NK com as suas misturas físicas verifica-se que somente os fertilizantes granulados NK-1 e NK-9 conduzidas no solo de textura arenosa diferiram significativamente das suas misturas físicas, apresentando um menor perfilhamento. Esse menor perfilhamento nestes tratamentos provavelmente pode ser em função destes terem recebido as maiores quantidades de biureto adicionado (18,58 e 12,46 kg ha⁻¹ respectivamente) juntamente com os fertilizantes granulados em relação as suas misturas.

Avaliando os diferentes parâmetros morfológicos do arroz tratadas com os fertilizantes granulados NS em relação as suas respectivas misturas físicas, observa-se que houve diferença significativa pelo teste de Tukey para os valores de massa seca e número de plantas perfilhadas para os dois tipos de solos e quanto à altura no solo de textura mais argilosa (Tabela 6).

Comparando os fertilizantes granulados NS com as suas respectivas misturas físicas no solo de textura arenosa, tem-se que todos os fertilizantes granulados apresentaram uma massa seca inferior as suas misturas físicas, principalmente os referentes aos tratamentos NS-1, NS-3 e NS-7 que foram significativamente inferiores, evidenciando uma influência negativa do biureto sob a massa seca de parte aérea quando associado aos fertilizantes granulados com uréia e sulfato de amônio. Rai et al (1956) estudando o efeito do biureto em plantas de feijão, verificou que o biureto retardou o crescimento das plantas, sendo esse efeito maior em solos argilosos e menores em solos de textura mais arenosa.

Tabela 5- Características fenológicas da cultivar de arroz IAC 202 tratadas com os fertilizantes granulados NK com as suas respectivas misturas físicas após 40 dias do plantio em solos de diferentes texturas.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	Planossolo (arenoso)			Argissolo (argiloso)		
		Massa Seca gramas	Altura cm	Plantas Perfilhadas	Massa Seca gramas	Altura cm	Plantas Perfilhadas
NK-1	Gran	1,8874	38,70	3,33 b	0,8749	26,80	1,00
	MF	2,1687	36,5	5,67 a	1,0158	27,19	0,67
	CV%	9,36	7,73	20,29	22,05	9,25	54,92
NK-3	Gran	2,0280	40,12	4,00	1,2229	31,42	0,33
	MF	2,3525	37,29	4,00	0,6903	28,20	0,67
	CV%	6,74	6,11	25,00	40,01	8,13	42,57
NK-5	Gran	2,1297	37,37	3,33	1,4421	31,12	3,33
	MF	2,3401	38,47	4,00	1,0638	30,00	1,67
	CV%	10,64	3,40	37,26	15,15	7,72	57,93
NK-7	Gran	1,6524	36,21	3,67	1,0954	28,80	1,00
	MF	2,3279	38,83	6,00	1,2003	30,36	1,00
	CV%	28,87	6,23	22,35	10,95	5,21	50,00
NK-9	Gran	2,2171	38,38	4,33 b	1,2229	30,04	2,67
	MF	2,4750	38,51	6,00 a	1,1893	28,65	3,00
	CV%	5,81	1,77	7,90	11,93	6,76	57,63
NK-11	Gran	2,5210	39,95	5,33	1,0697	34,48	1,00
	MF	2,7610	39,22	6,33	1,3177	33,30	1,67
	CV%	5,49	4,08	9,90	20,87	13,61	43,41

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,2% N e 7% biureto; NK-3: 32,5% N, 17,2% K₂O e 3,3% biureto; NK-5: 35,7% N, 12,0% K₂O e 3,2% biureto; NK-7: 36,5% N, 9,1 K₂O e 3,6% biureto; NK-9: 26,0% N, 26,0% K₂O e 2,7% biureto; NK-11: 21,0% N, 32,0 K₂O e 2,3% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Verificando o acúmulo de massa seca de parte aérea entre os fertilizantes granulados NS e suas misturas físicas no Argissolo, observa-se que somente o fertilizante NS-7 diferiu significativamente da sua mistura física, apresentando um acúmulo de massa seca superior, provavelmente pelo fato deste tratamento ter proporcionado a menor quantidade de biureto adicionado (9,55 kg ha⁻¹) em relação aos demais tratamentos granulados, uma vez que nestas quantidades o biureto pode ter funcionado como um fertilizante de baixa liberação de N, fazendo com que este elemento seja mais aproveitado pelas plantas. Segundo Xue et al (2005) o biureto contido em fertilizantes pode funcionar como uma fonte de liberação lenta de nitrogênio, principalmente em solos argilosos, já que este elemento é responsável em grande parte por um maior crescimento das plantas, ocasionando então um maior acúmulo de massa seca, já que o N contido no biureto encontra-se na mesma forma (-NH₂) do encontrado na uréia (Mikkelsen, 1990).

Comparando a altura de plantas ao final de 40 dias entre os fertilizantes granulados NS com as suas respectivas misturas físicas no solo de textura argilosa, observa-se que somente o fertilizante NS-7 diferiu estatisticamente, apresentando uma altura de plantas maior que a sua mistura física. Esta maior altura nas plantas neste tratamento pode ser em razão deste ter recebido a menor quantidade de biureto adicionado juntamente com o fertilizante granulado NS-7, dessa forma proporcionando provavelmente um maior uso do N por essas plantas.

Quanto ao número de plantas perfilhadas nos tratamentos NS, quando comparadas com as suas misturas físicas no Planossolo, verifica-se que os fertilizantes NS-3 e NS-7 apresentaram um perfilhamento inferior, sendo diferente estatisticamente das suas misturas físicas, explicitando o efeito adverso do biureto no perfilhamento da planta de arroz, especialmente em solo de textura mais arenosa. Vindo a confirmar estudos realizados por Rai et al. (1956) e Wilkinson & Ohlrogge (1960) onde avaliando o efeito do biureto no crescimento de plantas de milho verificaram uma diminuição no crescimento, o que atribuíram ao biureto adicionado no solo.

Comparando o número de plantas perfilhadas entre os tratamentos que receberam os fertilizantes granulados NS e suas respectivas misturas físicas no solo de textura mais argilosa, observa-se que os fertilizantes NS-5 e NS-7 diferiram estatisticamente das suas misturas físicas. Sendo que o tratamento que recebeu o fertilizante granulado NS-5 apresentou um perfilhamento bem inferior, sendo este tratamento o que foi adicionado uma das maiores quantidades de biureto entre os granulados NS. Entretanto o fertilizante NS-7 que apresentou em comparação aos outros fertilizantes NS os melhores resultados quanto aos parâmetros morfológicos, foi o que teve a melhor resposta quanto ao número de plantas perfilhadas em relação a sua mistura física, sendo este o que proporcionou uma menor dose de S, como também a menor quantidade de biureto adicionado ($9,95 \text{ kg ha}^{-1}$). Fazendo então com que as plantas deste tratamento resultassem em um perfilhamento bem superior aos demais fertilizantes NS como também das misturas físicas. Dessa maneira, comparando com os parâmetros morfológicos das plantas no solo arenoso, verifica-se que o biureto possui um menor efeito no crescimento das plantas no solo de textura argilosa, uma vez que os tratamentos que receberam os granulados NK e NS contendo biureto apresentaram-se superiores ou semelhantes as suas misturas físicas.

Quanto a todos os parâmetros avaliados (massa seca, perfilhamento e altura) entre a forma granulada NS e as suas misturas físicas, verifica-se que o tratamento referente ao fertilizante granulado NS-7 foi o que proporcionou uma resposta positiva no crescimento e desenvolvimento das plantas, o que pode ser relacionado ao menor teor de biureto (3,2%), como também a menor quantidade adicionada de biureto ($9,55 \text{ kg ha}^{-1}$) em função da dose N utilizada.

O retardamento no crescimento das plantas que receberam os granulados NK e NS contendo altos teores de biureto, em comparação com um maior crescimento das plantas que receberam as misturas físicas, foram maiores nos 20 primeiros dias após o plantio, a partir deste momento os sintomas de toxidez causados pelo biureto começaram a desaparecer. Os sintomas nas plantas de arroz foram caracterizadas por esbranquiçamento das folhas, onde a ponta permanecia verde. Em alguns casos onde foram adicionadas as maiores quantidades de biureto, as folhas apresentaram-se torcidas, logo após senesceram e a planta veio a morrer, contribuindo para esse decréscimo no acúmulo de massa seca e no stand de plantas. No entanto, após o desaparecimento dos sintomas as plantas de arroz apresentaram um crescimento normal (Figura 7).

Tabela 6- Características fenológicas da cultivar de arroz IAC 202 tratadas com os fertilizantes granulados NS com as suas respectivas misturas físicas após 40 dias do plantio em solos de diferentes texturas.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	Planossolo (arenoso)			Argissolo (argiloso)				
		Massa Seca gramas	Altura cm	Plantas Perfilhadas	Massa Seca gramas	Altura cm	Plantas Perfilhadas		
NS-1	Gran	1,6985	b	38,19	3,33	0,9814	29,35	0,67	
	MF	2,3941	a	34,91	5,67	0,9981	28,55	1,00	
	CV%	3,69		4,92	25,66	25,19	8,94	54,92	
NS-3	Gran	1,6361	b	34,77	1,33	0,9574	25,83	3,00	
	MF	2,2869	a	34,52	5,67	1,1779	27,56	2,67	
	CV%	13,06		6,14	53,38	9,42	3,39	54,01	
NS-5	Gran	1,9377		34,90	4,00	1,1164	30,93	0,10	
	MF	2,3675		37,16	4,33	1,0985	28,15	2,33	
	CV%	9,32		5,89	19,60	11,64	5,47	35,00	
NS-7	Gran	2,0370	b	35,28	3,00	1,4541	a	30,89	a
	MF	2,5129	a	38,62	5,33	0,8011	b	24,46	b
	CV%	6,33		5,19	9,80	16,93	9,35	57,58	

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NS-1: 27,1% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-3: 36,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-5: 26,7% N, 8,8% S e 4,1% biureto; NS-7: 35,0% N, 4,2% S e 3,2% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

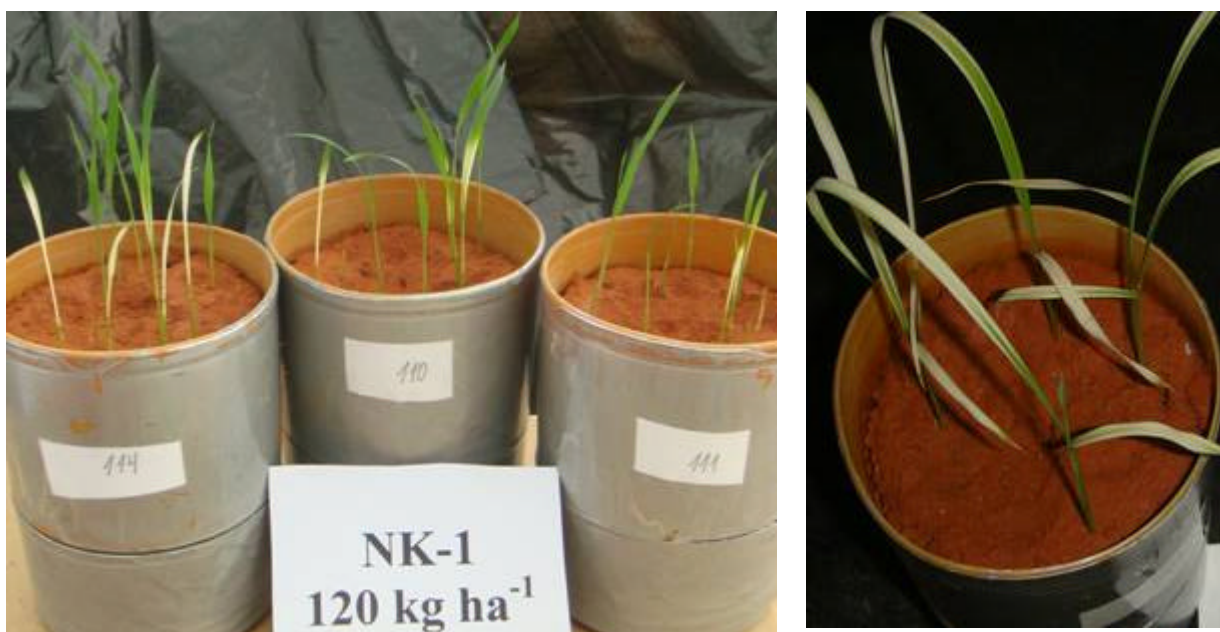


Figura 7- Sintomas de toxidez causado pela aplicação do fertilizante granulado NK-1 contendo 7% de biureto nas plantas de arroz cultivadas no Argissolo.

3.5.2 Avaliação dos atributos químicos dos solos

Comparando os teores trocáveis dos nutrientes no Planossolo entre os tratamentos que receberam os fertilizantes granulados NK com as suas respectivas misturas físicas, verifica-se na Tabela 7 que para os teores de pH, Na, P e Carbono orgânico não houve diferença significativa entre as formas dos fertilizantes.

Quanto aos teores trocáveis de Mg^{2+} no solo, todos os tratamentos que receberam as formas granuladas NK apresentaram teores maiores que as suas respectivas misturas físicas, principalmente o granulado NK-1 que foi significativamente superior à sua mistura, sendo esse granulado o que possui um maior teor de biureto (7%) e o que proporcionou uma maior quantidade de biureto adicionado ao solo ($18,58 \text{ kg ha}^{-1}$).

Dessa maneira quando o fertilizante nitrogenado contendo teores de biureto acima de 5% é adicionado ao solo, este pode interferir de alguma maneira na absorção deste elemento pela planta de arroz, uma vez que estas plantas apresentaram esbranquiçamento das folhas, indicando perda de pigmentos, sintomas estes causados pela deficiência de Mg^{2+} , e conseqüentemente acarretando provavelmente em um decréscimo na síntese de clorofila afetando então a fotossíntese (Dechen & Nachtigall, 2007). Entretanto, não foram encontrados trabalhos relacionando uréia contendo biureto com teores de magnésio nos solos. Carles (1960) estudando a influência do biureto em plantas de trigo verificou um decréscimo nos teores foliares de Mg^{2+} nas plantas, principalmente quando era aplicada uréia contendo mais de 7% de biureto no solo.

Comparando a fertilidade do solo entre os tratamentos NK quanto a sua forma no Argissolo, verifica-se na Tabela 8 que não houve diferença estatística entre a forma granulada NK e as suas respectivas misturas físicas para os teores trocáveis de Mg^{2+} , H+Al, Na e carbono, sendo que para os teores trocáveis de Mg^{2+} no solo a forma granulada dos fertilizantes NK resultou em níveis superiores as suas respectivas misturas físicas, reforçando os estudos de Carles (1960), que encontrou um decréscimo na absorção de Mg^{+2} pelas plantas com o aumento da concentração de biureto no fertilizante, reforçando o fato que biureto interfere na absorção deste elemento, ocorrendo então um acúmulo no solo onde biureto foi adicionado, como também aos resultados encontrados para o solo de textura arenosa, discutido neste experimento.

Para os valores de pH, verifica-se que houve diferença significativa somente entre a forma granulada NK-5 e a sua mistura física, entretanto todas as formas granuladas NK apresentaram valores de pH superiores as suas respectivas misturas físicas, onde esses valores tanto nos tratamentos que receberam os fertilizantes granulados quanto à mistura física mantiveram valores de pH próximos ao considerado ideal para absorção de nutrientes pelas plantas.

Observando os teores trocáveis de Ca^{+2} no Argissolo, a única forma granulada que diferenciou da sua mistura física foi referente ao fertilizante granulado NK-3 que apresentou teores menores. Esses menores teores de cálcio nos tratamentos que foram adicionados biureto em função da aplicação dos granulados NK, especialmente o NK-3 pode ser provavelmente por uma maior absorção deste elemento pelas plantas, uma vez que os teores de Mg^{+2} nestes tratamentos foram bem inferiores as suas misturas físicas, indicando que as plantas que receberam biureto absorvem o Ca^{+2} em níveis maiores que o Mg^{+2} .

Tabela 7- Resultado das análises químicas dos teores trocáveis entre a forma granulada (Gran) e a mistura física (MF) referentes a cada tratamento dos fertilizantes NK, após 40 dias do plantio no Planossolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	pH --- 1:2,5---	Ca -----	Mg -----	H+Al -----	Na -----	P -----	K -----	C org %
			cmol _c dm ⁻³			mg L ⁻¹			
NK-1	Gran	6,07	0,90 b	3,35 a	1,65	0,053	6,65	31,29	1,04
	MF	6,10	2,06 a	1,40 b	1,81	0,056	5,81	31,54	1,72
	CV%	0,96	28,33	17,42	6,73	43,79	24,69	13,69	53,01
NK-3	Gran	5,99	1,23	2,53	1,70	0,069	6,32	37,37	1,32
	MF	5,97	1,43	2,16	1,81	0,062	6,29	41,50	2,10
	CV%	1,17	30,49	18,71	10,12	19,27	20,51	13,24	46,86
NK-5	Gran	6,01	1,36	2,33	1,65	0,065	7,16	41,02	1,02
	MF	6,08	1,36	2,10	2,09	0,065	6,31	35,91	0,92
	CV%	2,20	28,65	16,05	11,39	20,03	9,40	17,81	8,53
NK-7	Gran	5,98	1,46	2,16	1,32 b	0,062	6,89	42,48	1,21
	MF	5,95	1,56	2,00	1,98 a	0,042	6,64	32,75	2,64
	CV%	2,59	20,67	11,92	14,14	23,61	7,78	14,48	48,20
NK-9	Gran	5,87	1,46	2,30	1,76	0,095	6,62	70,19	1,93
	MF	5,80	1,26	1,86	1,81	0,067	7,50	52,93	1,14
	CV%	1,42	16,89	14,92	24,71	21,98	11,49	12,65	53,20
NK-11	Gran	5,72	1,10	2,40	1,81	0,062	6,51	137,53 a	1,15
	MF	5,78	1,40	2,03	2,20	0,079	7,12	73,84 b	1,38
	CV%	1,18	28,28	19,22	8,87	23,75	10,03	11,53	12,37

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,2% N e 7% biureto; NK-3: 32,5% N, 17,2% K₂O e 3,3% biureto; NK-5: 35,7% N, 12,0% K₂O e 3,2% biureto; NK-7: 36,5% N, 9,1 K₂O e 3,6% biureto; NK-9: 26,0% N, 26,0% K₂O e 2,7% biureto; NK-11: 21,0% N, 32,0 K₂O e 2,3% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Tabela 8- Resultado das análises químicas dos teores trocáveis entre a forma granulada (Gran) e a mistura física (MF) referentes a cada tratamento dos fertilizantes NK, após 40 dias do plantio no Argissolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	pH	Ca	Mg	H+Al	Na	P	K	C org
		---1:2,5---	-----cmol _c dm ⁻³ -----				-----mg L ⁻¹ -----		-----%-----
NK-1	Gran	6,75	1,36	2,76	1,10	0,019	6,65	28,31	0,38
	MF	6,67	1,80	2,20	0,99	0,039	5,81	31,14	0,32
	CV%	1,13	21,10	21,37	23,24	32,40	13,69	29,57	22,03
NK-3	Gran	6,67	1,13 b	2,66	1,15	0,034	6,32	28,23	0,36
	MF	6,55	2,33 a	1,86	1,15	0,038	6,29	29,39	0,40
	CV%	1,49	27,26	25,47	17,49	11,04	13,24	17,50	18,95
NK-5	Gran	6,80 a	1,90	2,50	1,10	0,046	7,16	21,42 a	0,36
	MF	6,57 b	1,56	2,13	1,54	0,039	6,31	17,16 b	0,38
	CV%	1,37	11,04	10,71	28,86	15,23	17,81	37,42	20,22
NK-7	Gran	6,60	1,63	2,64	1,10	0,053	6,89	20,95	0,46
	MF	6,59	1,93	2,13	1,43	0,043	6,64	20,30	0,47
	CV%	0,93	8,56	11,32	11,90	11,23	14,48	33,90	4,39
NK-9	Gran	6,65	1,66	2,43	1,15	0,038	6,62	69,58	0,42
	MF	6,56	2,03	2,00	1,21	0,028	7,50	57,64	0,36
	CV%	1,36	21,50	16,05	15,07	15,39	12,65	8,90	19,59
NK-11	Gran	6,57	1,63	2,53	1,65	0,033	6,51	142,96	0,43
	MF	6,47	2,06	1,93	1,32	0,027	7,12	85,30	0,37
	CV%	1,37	14,63	15,07	15,71	20,67	11,53	3,71	18,22

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,2% N e 7% biureto; NK-3: 32,5% N, 17,2% K₂O e 3,3% biureto; NK-5: 35,7% N, 12,0% K₂O e 3,2% biureto; NK-7: 36,5% N, 9,1 K₂O e 3,6% biureto; NK-9: 26,0% N, 26,0% K₂O e 2,7% biureto; NK-11: 21,0% N, 32,0 K₂O e 2,3% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Avaliando os resultados dos valores dos nutrientes entre a forma granulada NS com as suas respectivas misturas físicas no Planossolo, observa-se na Tabela 9 que não houve diferenças estatísticas entre os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{H}+\text{Al}$, Na, K e carbono orgânico.

Quanto aos valores de pH somente a forma granulada NS-5 foi superior significativamente a sua mistura física. No entanto, todas as misturas físicas referentes aos fertilizantes NK apresentaram um pH inferior, tornando o solo mais ácido. Entretanto, todos os tratamentos resultaram em um decréscimo acentuado do pH. Estando a acidez potencial diretamente ligada ao valor de pH, pois as misturas físicas que apresentaram um pH mais ácido resultaram também em uma acidez potencial maior, principalmente a mistura NS-5 que foi superior estatisticamente em relação a sua forma granulada. No entanto, quando se compara os valores de pH entre os tratamentos NK e NS, observa-se que os tratamentos que receberam como fonte de N além da uréia o sulfato de amônio apresentaram uma redução do pH mais significativa. Pois uma das características do sulfato de amônio é acidificar o solo pela maior liberação de H^+ no processo de nitrificação, assim, nestes tratamentos provavelmente ocorreu uma menor perda de N por volatilização da amônia, fazendo com que a eficiência do uso do N nesses tratamentos que recebeu uma maior quantidade de sulfato de amônio seja maior (Collamer et al, 2007).

Comparando os teores trocáveis de nutrientes no Argissolo, entre as formas granuladas NS com as suas respectivas misturas físicas (Tabela 10), que os tratamentos não diferiram significativamente quanto aos teores de pH, Mg^{+2} e carbono orgânico. Para os teores de Ca^{2+} , acidez potencial, Na e K^+ , houve diferença estatística para alguns tratamentos.

Em relação aos teores de cálcio no solo, a forma granulada do fertilizante NS-3 apresentou um valor superior a sua mistura física. Quanto à acidez potencial do solo, as formas granuladas NS resultaram em uma acidez do solo inferior as misturas físicas, onde a forma granulada NS-7 diferiu estatisticamente da sua mistura física.

Avaliando o teor de Na no solo, verificou-se que o granulado NS-5 apresentou teores menores a sua mistura física diferenciando estatisticamente. Para os teores de potássio, praticamente todos os tratamentos diferiram entre si, exceto para a forma granulada NS-3 que foi semelhante pelo teste de Tukey em relação a sua mistura física.

Tabela 9- Resultado das análises químicas dos teores trocáveis entre a forma granulada (Gran) e a mistura física (MF) referentes a cada tratamento dos fertilizantes NS, após 40 dias do plantio no Planossolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	pH ---1:2,5---	Ca -----cmol _c dm ⁻³ -----	Mg	H+Al	Na	P -----mg L ⁻¹ -----	K	C org %	
NS-1	Gran	5,70	1,43	1,83	1,76	0,023	6,28	24,24	b	1,70
	MF	5,58	1,66	1,86	1,98	0,050	6,24	31,54	a	1,35
	CV%	1,21	39,42	23,58	7,20	37,77	10,60	8,80		45,26
NS-3	Gran	5,84	1,70	1,90	1,70	0,029	7,25	33,24		1,19
	MF	5,88	1,50	1,86	1,98	0,038	6,66	31,78		1,29
	CV%	1,87	20,72	23,84	7,31	24,42	11,12	10,03		22,25
NS-5	Gran	5,80 a	1,36	2,20	2,09 b	0,023	6,42	28,62		1,13
	MF	5,62 b	1,73	1,70	2,31 a	0,027	5,66	28,62		1,18
	CV%	1,08	23,99	21,14	3,06	50,49	8,49	27,59		17,44
NS-7	Gran	5,90	1,43	2,00	2,03	0,043	6,81	33,00		1,42
	MF	5,86	1,26	2,26	2,03	0,034	6,13	28,86		1,06
	CV%	1,28	27,04	22,06	14,80	20,90	7,23	8,05		32,30

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NS-1: 27,1% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-3: 36,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-5: 26,7% N, 8,8% S e 4,1% biureto; NS-7: 35,0% N, 4,2% S e 3,2% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Tabela 10- Resultado das análises químicas dos teores trocáveis entre a forma granulada (Gran) e a mistura física (MF) referentes a cada tratamento dos fertilizantes NS, após 40 dias do plantio no Argissolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	pH	Ca	Mg	H+Al	Na	P	K	C org			
		---1:2,5---	-----cmol _c d m ⁻³ -----				-----mg L ⁻¹ -----		-----%-----			
NS-1	Gran	6,55	1,76	2,50	1,15	0,023	6,28	17,16	b	0,44		
	MF	6,46	1,66	2,36	1,37	0,028	6,24	19,20	a	0,40		
	CV%	1,72	10,63	7,86	16,83	14,01	10,60	3,16		28,23		
NS-3	Gran	6,68	1,90	a	2,26	1,26	0,026	7,25	20,07	0,35		
	MF	6,61	1,53	b	2,50	1,43	0,031	6,66	21,78	0,39		
	CV%	0,65	6,29		12,35	36,39	11,76	11,12	8,76	8,33		
NS-5	Gran	6,54	1,86		2,56	1,21	0,023	b	6,42	19,78	b	0,38
	MF	6,56	1,93		2,20	1,59	0,031	a	5,66	26,58	a	0,36
	CV%	1,49	16,91		18,12	21,47	9,04	8,49	6,45	17,67		
NS-7	Gran	6,68	1,73		2,10	1,10	b	0,034	6,81	36,67	a	0,42
	MF	6,41	1,66		2,46	1,54	a	0,031	6,13	26,58	b	0,42
	CV%	1,93	10,74		26,87	11,41	5,72	7,23	12,46	26,79		

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NS-1: 27,1% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-3: 36,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-5: 26,7% N, 8,8% S e 4,1% biureto; NS-7: 35,0% N, 4,2% S e 3,2% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Avaliando os teores no solo de N, K^+ , NH_4^+ e $NO_3^-+NO_2^-$ entre os fertilizantes granulados NK com as suas respectivas misturas físicas no Planossolo (Tabela 11), verifica-se que os tratamentos não diferiram entre si quanto aos teores de $NO_3^-+NO_2^-$ no solo.

Quanto aos teores de N_{total} , observa-se que o único granulado que diferiu estatisticamente da sua mistura física foi o referente ao tratamento NK-3, apresentando um valor maior a sua mistura física.

Comparando os teores de amônio no solo entre as formas dos fertilizantes, observa-se que os granulados NK-1 e NK-5 diferiram significativamente das suas misturas físicas, sendo estes granulados NK os que possuem um dos maiores teores de biureto em sua composição, principalmente o granulado NK-1. No entanto, todos os granulados NK apresentaram-se com teores superiores às suas respectivas misturas físicas, o que pode provavelmente ter ocorrido em função de uma maior inibição da nitrificação. Hadi et al. (1980) avaliando o efeito do biureto na degradação da uréia, em um solo argiloso e arenoso, verificaram uma rápida amonificação e nitrificação no solo arenoso, onde no início mais NH_4^+ foi desdobrado. Contudo diferentes concentrações de biureto não influenciaram na hidrólise da uréia, resultando em mais altos teores de NO_2^- no início do experimento, demonstrando uma inibição inicial marcante no processo de nitrificação ($NO_2^- \rightarrow NO_3^-$).

Comparando os teores totais de K^+ entre as formas granuladas NK com suas misturas físicas, verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Contudo as formas granuladas referentes aos fertilizantes NK-3, NK-5 e NK-7 foram os que apresentaram um maior teor de K^+ em relação as suas respectivas misturas físicas, sendo que estes granulados os que proporcionaram as menores quantidades de biureto quando os fertilizantes granulados foram adicionados no solo, dessa maneira, quando o biureto é adicionado no solo acima de $12,40 \text{ kg ha}^{-1}$, há um decréscimo na adsorção de K^+ , fazendo então que este nutriente fique mais disponível as plantas.

Tabela 11- Teores de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($NO_3^-+NO_2^-$) no solo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) NK e das suas respectivas misturas físicas (MF) no Planossolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	N_{total}		K_{total}		$NO_3^-+NO_2^-$		NH_4^+	
		-----mg g ⁻¹ -----		-----		-----mg pote ⁻¹ -----		-----	
NK-1	Gran	0,102		0,050	b	32,08		521,50	a
	MF	0,168		0,200	a	25,08		474,83	b
	CV%	31,37		13,41		33,84		2,86	
NK-3	Gran	0,238	a	0,232	a	15,75		487,50	
	MF	0,120	b	0,084	b	20,41		427,00	
	CV%	17,71		20,48		20,48		3,76	
NK-5	Gran	0,130		0,296	a	20,41		521,50	a
	MF	0,130		0,066	b	13,41		280,00	b
	CV%	12,37		23,46		41,49		26,20	
NK-7	Gran	0,112		0,296	a	25,08		509,83	
	MF	0,056		0,202	b	22,75		498,16	
	CV%	36,66		18,79		42,68		4,00	
NK-9	Gran	0,074		0,232		29,75		509,83	
	MF	0,196		0,196		39,08		498,16	
	CV%	42,23		29,69		26,25		4,00	
NK-11	Gran	0,130		0,300		22,75		498,16	
	MF	0,112		0,362		12,25		401,91	
	CV%	33,96		25,16		30,99		28,09	

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,2% N e 7% biureto; NK-3: 32,5% N, 17,2% K₂O e 3,3% biureto; NK-5: 35,7% N, 12,0% K₂O e 3,2% biureto; NK-7: 36,5% N, 9,1 K₂O e 3,6% biureto; NK-9: 26,0% N, 26,0% K₂O e 2,7% biureto; NK-11: 21,0% N, 32,0 K₂O e 2,3% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Comparando os teores de N, NH_4^+ , $NO_3^-+NO_2^-$ e K^+ entre a forma granulada NK e as suas misturas físicas no Argissolo, verifica-se na Tabela 12 que houve diferença significativa para os teores de amônio e potássio.

Quanto aos teores de NH_4^+ no Argissolo entre os fertilizantes granulados NK e suas respectivas misturas físicas, verifica-se que somente o granulado NK-11 diferiu significativamente da sua mistura física, onde a forma granulada resultou em teores maiores de NH_4^+ no solo. Estes maiores teores de amônio no tratamento que recebeu o granulado NK-11 provavelmente pode ser devido a este fertilizante conter o menor teor de biureto (2,3%) em sua composição em relação aos demais granulados NK e a sua própria mistura física, como também a forma granulada NK-11 ter proporcionado maiores valores de N_{total} em relação a sua mistura física, o que pode ter contribuído para essas maiores quantidades de amônio e nitrogênio.

Analisando os teores disponíveis de K^+ nos solos que receberam os tratamentos NK, observa-se que praticamente todos os tratamentos diferiram quanto à forma do fertilizante, sendo que em sua maioria os granulados NK apresentaram maiores teores de K^+ em relação as

suas respectivas misturas físicas. Os tratamentos que receberam os granulados NK-3, NK-5 e NK-7 contendo biureto foram superiores estatisticamente as suas misturas físicas. Entretanto, os tratamentos referentes aos granulados NK-1 e NK-11 resultaram em teores de K^+ inferiores as suas misturas físicas, sendo estes granulados os que proporcionaram as maiores adições de biureto no solo. Assim, quando o biureto é adicionado ao solo em quantidades superiores a 13 kg ha^{-1} pode resultar provavelmente em uma maior absorção deste elemento, diminuindo assim sua disponibilidade para as plantas.

Tabela 12- Teores totais de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($NO_3^-+NO_2^-$) no solo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) NK e das suas respectivas misturas físicas (MF) no Argissolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	N_{total}	K_{total}	$NO_3^-+NO_2^-$	K_{total}
		-----mg g ⁻¹ -----	-----	-----mg pote ⁻¹ -----	-----
NK-1	Gran	0,000	2,194 b	70,00	460,83
	MF	0,000	3,198 a	58,33	415,33
	CV%	0,00	2,12	34,53	6,28
NK-3	Gran	0,112	1,524 a	70,00	427,00
	MF	0,064	0,592 b	91,00	471,33
	CV%	36,48	37,18	21,30	6,04
NK-5	Gran	0,112	5,768 a	37,33	449,16
	MF	0,064	0,106 b	49,00	437,50
	CV%	34,10	39,08	35,20	8,77
NK-7	Gran	0,046	3,590 a	58,33	437,50
	MF	0,064	0,104 b	46,66	460,83
	CV%	41,28	32,33	38,49	5,96
NK-9	Gran	0,186	0,224	49,00	472,50
	MF	0,056	0,130	70,00	458,50
	CV%	36,17	33,50	22,01	10,22
NK-11	Gran	0,224	0,130 b	49,00	516,83 a
	MF	0,036	1,110 a	67,66	437,50 b
	CV%	36,42	29,24	31,84	4,02

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,2% N e 7% biureto; NK-3: 32,5% N, 17,2% K_2O e 3,3% biureto; NK-5: 35,7% N, 12,0% K_2O e 3,2% biureto; NK-7: 36,5% N, 9,1 K_2O e 3,6% biureto; NK-9: 26,0% N, 26,0% K_2O e 2,7% biureto; NK-11: 21,0% N, 32,0 K_2O e 2,3% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Na Tabela 13 é apresentada os teores de N e K, NH_4^+ , $NO_3^-+NO_2^-$, após 40 dias do plantio e da aplicação dos fertilizantes granulados NS e das suas misturas físicas no Planossolo. Para os teores no solo de NH_4^+ e $NO_3^-+NO_2^-$, observa-se que não houve diferenças estatísticas entre os granulados NS com as suas misturas físicas. Contudo, tanto para amônio, quanto para os teores de $NO_3^-+NO_2^-$, os granulados NS tiveram uma tendência em apresentar valores maiores que as suas misturas físicas, com exceção para o granulado NS-5, sendo este tratamento o único com teores de NH_4^+ e $NO_3^-+NO_2^-$ e de N no solo inferior a sua mistura física.

Entre as formas dos fertilizantes, verifica-se que para os teores de N_{total} no solo que o único granulado a diferir estatisticamente da sua mistura física, foi o NS-5, onde este apresentou teores menores, parece que o biureto contido nos granulados NK e NS não possui nenhum efeito adverso, já que os tratamentos contendo biureto não apresentaram nenhum padrão em relação a este elemento encontrado nos fertilizantes granulados.

Nos tratamentos NS verificou-se que houve diferença significativa entre as formas dos fertilizantes quanto aos teores de K^+ no solo, no entanto, parece que o biureto contido na uréia associada também ao sulfato de amônio presentes nas formas granuladas NS não possui nenhum efeito marcante, provavelmente pelo fato destes teores de potássio nestes tratamentos serem provenientes do próprio solo (já que estes não receberam nenhuma adubação potássica).

Tabela 13- Teores totais de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), amônio (NH_4^+), nitrato + nitrito ($NO_3^-+NO_2^-$) no solo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) NS e das suas respectivas misturas físicas (MF) no Planossolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	N_{total}		K_{total}		$NO_3^-+NO_2^-$		NH_4^+	
		-----mg g ⁻¹ -----		-----mg g ⁻¹ -----		-----mg pote ⁻¹ -----		-----mg pote ⁻¹ -----	
NS-1	Gran	0,176		0,130		23,91		407,75	
	MF	0,084		0,104		22,75		331,33	
	CV%	32,06		45,61		30,12		30,60	
NS-3	Gran	0,112		0,150	a	43,75		513,33	
	MF	0,084		0,050	b	23,91		405,41	
	CV%	38,81		35,16		36,08		26,67	
NS-5	Gran	0,084	b	0,264	b	29,75		498,16	
	MF	0,214	a	0,394	a	32,08		533,16	
	CV%	35,90		11,63		33,35		3,91	
NS-7	Gran	0,084		0,064		41,41		509,83	
	MF	0,148		0,220		39,08		486,50	
	CV%	37,91		31,51		10,04		5,73	

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NS-1: 27,1% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-3: 36,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-5: 26,7% N, 8,8% S e 4,1% biureto; NS-7: 35,0% N, 4,2% S e 3,2% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Analisando os teores de N e de suas formas no Argissolo, entre a forma granulada NS e as suas respectivas misturas, observa-se na Tabela 14 que apenas o granulado NS-1 diferiu significativamente da sua mistura física quanto ao teor de N_{total} . Sendo esta forma granulada a única que apresentou um valor superior a sua mistura física, como proporcionou também um maior acúmulo de amônio, o que provavelmente se deve a estes granulados NS possuir um dos maiores teores de biureto em sua composição (4,3%) e uma das maiores quantidades de biureto adicionado ao solo (14,66 kg ha⁻¹) o que deve ter proporcionado esse maior teor de N neste tratamento, já que biureto é composto por 40,8% de N (Mikkelsen, 1990), provavelmente resultando em uma inibição parcial da nitrificação proporcionando assim em uma maior taxa de amonificação no solo, sendo que todos os granulados NK assim como no solo de textura arenosa, apresentaram um acúmulo de NH_4^+ superior as suas misturas, sendo esses resultados semelhantes aos que Sahrawat (1977) e Hadi et al. (1980) encontraram, onde relataram que o biureto não afetou diretamente a hidrólise da uréia, mas temporariamente

inibiu a conversão de NH_4^+ para NO_2^- e a subsequente oxidação de NO_2^- para NO_3^- , resultando assim em um maior acúmulo de amônio e nitrito no solo, quando comparados com o tratamento que recebeu somente uréia.

Tabela 14- Teores totais de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), amônio (NH_4^+), nitrato + nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) no solo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) NS e das suas respectivas misturas físicas (MF) no Argissolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	N_{total}		K_{total}		$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$		NH_4^+	
		-----mg g ⁻¹ -----		-----		-----mg pote ⁻¹ -----		-----	
S-1	Gran	0,298	a	0,270		91,00		505,16	
	MF	0,074	b	0,124		46,66		480,66	
	CV%	40,49		33,24		32,42		9,06	
NS-3	Gran	0,056		0,024		72,33		437,50	
	MF	0,186		0,050		30,33		365,75	
	CV%	39,85		34,67		34,88		26,71	
NS-5	Gran	0,018		0,064		72,33		449,16	
	MF	0,074		0,092		49,00		438,66	
	CV%	39,54		35,71		42,65		6,91	
NS-7	Gran	0,064		0,230		128,33		483,00	
	MF	0,158		0,144		37,33		449,16	
	CV%	38,69		22,39		33,00		6,44	

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NS-1: 27,1% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-3: 36,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-5: 26,7% N, 8,8% S e 4,1% biureto; NS-7: 35,0% N, 4,2% S e 3,2% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

3.5.3 Teores foliares de nutrientes da planta de arroz

Comparando os teores foliares entre os fertilizantes granulados NK com as suas respectivas misturas físicas no Planossolo, verifica-se na Tabela 15, que os tratamentos não diferiram entre si quanto aos teores de N_{total} , conteúdo de nitrogênio (CN) e conteúdo de amônio (NH_4^+), porém quanto ao conteúdo de NO_3^- e teor de K_{total} nas plantas, houve diferença significativa entre os tratamentos.

Em relação ao conteúdo de NO_3^- , verifica-se que quanto aos tratamentos NK, a forma granulada NK-1 foi superior significativamente a sua mistura, apresentando mais que o dobro do conteúdo de nitrato nas plantas que recebeu a sua mistura física, sendo que o fertilizante granulado NK-1 é o produto que contém um maior teor de biureto em sua composição (7%), como também a maior soma total de biureto adicionado ao solo (18,58 kg ha⁻¹), o que deve então ter proporcionado esses maiores valores de NO_3^- na planta. Entretanto, não foi encontrada na literatura nenhuma pesquisa que relacione absorção de nitrato em função do aumento na concentração de biureto adicionado no solo.

Avaliando os teores foliares de K^+ entre as formas granuladas e as misturas físicas dos tratamentos NK, verifica-se que todas as formas granuladas foram superiores

significativamente das suas misturas físicas, exceto o granulado NK-1 que resultou em um teor de potássio inferior a sua mistura, sendo este fertilizante granulado o que contém a maior concentração de biureto em sua composição (7%). Dessa forma o biureto interfere negativamente na absorção de K^+ quando em concentrações maiores que 7%. Carles (1960) verificou um decréscimo na absorção de K^+ pelas plantas de trigo em função da aplicação no solo de uréia com diferentes teores de biureto em relação à uréia isenta de biureto, sendo esse decréscimo mais acentuado quando as concentrações de biureto estavam acima de 7%.

Tabela 15- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) tratadas com os fertilizantes granulados (Gran) NK com suas respectivas misturas físicas (MF) após 40 dias do plantio no Planossolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	N_{total}	K_{total}	NH_4^+	NO_3^-	CN
		-----mg g ⁻¹ -----		-----mg pote ⁻¹ -----		
NK-1	Gran	15,51	5,26 b	646,99	335,00 a	48,19
	MF	14,95	9,94 a	1043,15	136,80 b	48,52
	CV%	16,23	23,18	35,70	9,54	39,30
NK-3	Gran	16,07	128,05 a	801,31	207,39	61,78
	MF	16,05	90,90 b	1041,10	245,41	52,90
	CV%	11,79	12,45	39,13	37,39	29,38
NK-5	Gran	13,27	77,54 a	829,20	153,19	41,02
	MF	15,04	31,33 b	1030,21	137,87	55,16
	CV%	25,94	11,56	38,58	18,15	33,33
NK-7	Gran	16,72	204,76 a	995,37	143,17	43,22
	MF	16,07	32,87 b	1286,41	205,51	60,19
	CV%	9,06	12,32	32,50	36,89	22,95
NK-9	Gran	14,39	266,57 a	901,11	343,73	64,33
	MF	16,07	157,50 b	1092,13	193,92	46,19
	CV%	6,36	15,40	34,92	37,59	17,82
NK-11	Gran	13,27	243,53 a	662,19	208,31	46,81
	MF	15,04	180,19 b	634,16	149,13	62,76
	CV%	17,92	10,08	19,71	39,32	34,78

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,2% N e 7% biureto; NK-3: 32,5% N, 17,2% K_2O e 3,3% biureto; NK-5: 35,7% N, 12,0% K_2O e 3,2% biureto; NK-7: 36,5% N, 9,1 K_2O e 3,6% biureto; NK-9: 26,0% N, 26,0% K_2O e 2,7% biureto; NK-11: 21,0% N, 32,0 K_2O e 2,3% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Comparando o acúmulo de nutrientes nas plantas após 40 dias do plantio nos tratamentos que receberam os fertilizantes granulados NK com as suas respectivas misturas físicas no Argissolo, verifica-se na Tabela 16 que somente o tratamento referente ao granulado NK-5 diferiu significativamente da sua mistura física quanto ao conteúdo de NH_4^+ e NO_3^- nas plantas, onde a forma granulada apresentou valores inferiores a sua mistura física, no entanto, quanto aos teores de K^+ praticamente todos os tratamentos foram diferentes estatisticamente das suas respectivas misturas físicas.

Quanto ao conteúdo foliar de NO_3^- e de NH_4^+ nas plantas, observa-se que somente houve diferença significativa entre as formas dos fertilizantes referentes ao tratamento NK-5, onde a forma granulada resultou em um conteúdo inferior a sua respectiva mistura física. Estas menores quantidades de nitrato e amônio, provavelmente, devem-se a menor quantidade de biureto adicionado juntamente com o fertilizante granulado NK-5 ($10,76 \text{ kg ha}^{-1}$). No entanto, mesmo as demais formas dos tratamentos NK não diferindo entre si, os fertilizantes granulados NK-1 e NK-11 resultaram em um maior acúmulo de NO_3^- em relação as suas misturas físicas. Dessa forma, o que provavelmente proporcionou este maior acúmulo foi à soma total de biureto adicionado juntamente com estas formas granuladas, onde adições de biureto acima de 13 kg ha^{-1} resultaram em maiores concentrações nos tratamentos granulados.

Observando os teores de K^+ nas plantas de arroz entre os granulados e as misturas físicas referentes aos tratamentos dos fertilizantes NK, verifica-se que os tratamentos diferiram entre si quanto as suas formas, sendo que os granulados contendo mais de 3% de biureto em sua composição (NK-1, NK-3, NK-5 e NK-7) apresentaram teores foliares de K^+ inferiores as suas misturas. No entanto os granulados com os menores teores de biureto em sua composição (NK-9 e NK-11) proporcionaram uma maior absorção deste elemento pelas raízes das plantas.

Assim, de maneira contrária ao encontrado na literatura onde os teores de potássio diminuíram com o aumento na concentração de biureto (Carles, 1960), verificou-se um maior efeito do biureto no decréscimo do K^+ nas plantas quando foram adicionados os granulados contendo mais de 3% de biureto o solo de textura argilosa, uma vez que os tratamentos que receberam os granulados NK-9 e NK-11 contendo menos de 3% de biureto apresentaram um maior teor de K^+ em relação as suas misturas físicas, portanto, o biureto parece influenciar na absorção de potássio quando em baixas concentrações.

Tabela 16- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) tratadas com os fertilizantes granulados (Gran) NK com suas respectivas misturas físicas (MF) após 40 dias do plantio no Argissolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	N_{total}	K_{total}	NH_4^+	NO_3^-	CN
		-----mg g ⁻¹ -----		-----mg pote ⁻¹ -----		
NK-1	Gran	18,87	5,30 b	1150,60	805,98	31,74
	MF	16,72	19,36 a	952,91	742,09	28,25
	CV%	7,89	26,54	35,28	39,90	28,42
NK-3	Gran	17,75	102,00	515,63	439,34	39,11
	MF	18,87	105,77	724,84	564,94	22,85
	CV%	13,50	16,69	33,14	33,64	47,97
NK-5	Gran	16,07	33,94 b	648,23 b	220,74 b	36,96
	MF	18,87	67,57 a	1253,69 a	772,96 a	38,61
	CV%	10,38	18,37	25,55	26,05	24,43
NK-7	Gran	18,87	44,67 b	595,51	426,75	39,34
	MF	17,93	111,91 a	1041,80	619,65	38,49
	CV%	11,89	22,27	34,25	37,18	21,75
NK-9	Gran	18,31	150,74 a	499,30	364,75	42,23
	MF	15,60	125,42 b	688,14	524,89	28,88
	CV%	12,48	6,98	35,72	45,54	32,25
NK-11	Gran	17,19	256,94 a	946,84	727,99	32,15
	MF	15,51	214,17 b	834,02	723,01	31,62
	CV%	14,53	5,20	11,20	46,24	30,31

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,2% N e 7% biureto; NK-3: 32,5% N, 17,2% K_2O e 3,3% biureto; NK-5: 35,7% N, 12,0% K_2O e 3,2% biureto; NK-7: 36,5% N, 9,1 K_2O e 3,6% biureto; NK-9: 26,0% N, 26,0% K_2O e 2,7% biureto; NK-11: 21,0% N, 32,0 K_2O e 2,3% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Na Tabela 17 são apresentados os teores de nutrientes nas plantas entre os tratamentos que receberam a forma granulada NS com as suas misturas físicas no Planossolo, observa-se que para o conteúdo de amônio e nitrato não houve diferenças significativas pelo teste de Tukey entre os tratamentos, para os demais parâmetros houve diferença significativa em alguns tratamentos.

Observando os teores foliares de N, tem-se que a forma granulada NS-1 foi à única a diferir significativamente da sua mistura física, apresentando uma maior quantidade de N_{total} , o que pode ser em função deste tratamento ter recebido o fertilizante granulado contendo o maior teor de enxofre (9,4%) como também um alto teor de biureto em sua composição (4,3%), uma vez que o N contido no biureto encontra-se na mesma forma molecular ($-NH_2$) do encontrado na uréia, fazendo com que tenha mais N disponível para as plantas. Carles et al. (1960) encontraram que o biureto em concentrações acima de 7% na uréia aumentou os teores foliares de N em plantas de trigo quando comparadas à uréia sem biureto. Desta forma, o

biureto influência em um maior N_{total} , principalmente em concentrações maiores que 5% quando associado ao sulfato de amônio.

Comparando os teores totais de K^+ nas plantas de arroz entre as diferentes formas dos fertilizantes NS, estes diferiram quanto a sua forma, sendo que a maioria dos granulados NS contendo biureto apresentaram uma quantidade maior de potássio nas plantas. Dessa forma quando o biureto está associado ao sulfato de amônio, este parece influenciar em uma maior absorção de K^+ pelas plantas, confrontando alguns trabalhos realizados, uma vez que segundo Carles (1960) a uréia contendo concentrações crescentes de biureto diminuiu os teores de K^+ nas plantas de trigo.

Tabela 17- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) tratadas com os fertilizantes granulados (Gran) NS com suas respectivas misturas físicas (MF) após 40 dias do plantio no Planossolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	N_{total}		K_{total}		NH_4^+		NO_3^-		CN
		mg g ⁻¹		mg g ⁻¹		mg pote ¹		mg pote ¹		
NS-1	Gran	19,43	a	39,92	a	882,07		163,70		64,04
	MF	15,60	b	13,91	b	1027,33		151,09		58,74
	CV%	7,35		20,47		37,97		27,59		14,64
NS-3	Gran	18,31		17,96	a	985,39		185,81		55,16
	MF	15,04		10,40	b	1648,00		193,59		51,82
	CV%	11,70		4,86		37,94		32,32		26,50
NS-5	Gran	13,92		7,71	b	799,01		149,88		38,25
	MF	17,75		16,69	a	1212,26		160,88		74,20
	CV%	14,05		26,96		36,31		35,09		23,09
NS-7	Gran	17,19		17,97		637,82		219,48		60,28
	MF	17,75		15,61		1316,93		175,90		79,56
	CV%	7,85		41,68		38,22		32,77		16,20

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NS-1: 27,1% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-3: 36,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-5: 26,7% N, 8,8% S e 4,1% biureto; NS-7: 35,0% N, 4,2% S e 3,2% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

Avaliando os teores foliares dos nutrientes entre os tratamentos NS quanto a sua forma no Argissolo, verifica-se na Tabela 18 que somente a forma granulada NS-3 diferiu da sua mistura física quanto ao conteúdo de NO_3^- na planta de arroz, apresentando um maior acúmulo, que pode ser em função deste fertilizante granulado ter resultado na maior quantidade de biureto adicionado ao solo (14,92 kg ha⁻¹), já que este é o que possui a maior concentração de biureto (5,0%) em sua composição em comparação aos demais fertilizantes NS, influenciando assim em uma maior absorção de nitrato em relação a sua mistura física. Entretanto não foram encontrados na literatura nenhum resultado que avaliasse a influência do biureto na absorção de nitrato e/ou amônio pelas plantas.

Em relação aos teores de K^+ nas plantas de arroz, os granulados referentes aos fertilizantes NS-1 e NS-5 foram inferiores significativamente as suas respectivas misturas físicas. Esses resultados apresentados pelos fertilizantes granulados NS no Argissolo foram diferente aos encontrado no solo de textura arenosa, uma vez que estes resultaram em menores teores foliares de K^+ o que pode ser em razão dos altos teores de biureto na

composição destes granulados, afetando de alguma maneira na absorção deste elemento em solos de texturas mais argilosas.

Tabela 18- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}) e potássio (K_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) tratadas com os fertilizantes granulados (Gran) NS com suas respectivas misturas físicas (MF) após 40 dias do plantio no Argissolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	N_{total}	K_{total}		NH_4^+	NO_3^-	CN
		-----mg g ⁻¹ -----			-----mg pote ⁻¹ -----		
NS-1	Gran	18,31	16,23	b	575,85	617,57	32,59
	MF	18,96	32,96	a	937,09	540,66	35,37
	CV%	11,35	17,64		38,75	34,79	23,44
NS-3	Gran	17,84	25,23		864,61	438,59	a
	MF	18,03	16,94		832,88	119,66	b
	CV%	4,85	11,09		36,13	37,32	13,75
NS-5	Gran	16,63	19,10		843,89	631,09	30,68
	MF	16,72	13,41		947,07	881,05	30,54
	CV%	6,09	24,47		32,78	42,73	4,86
NS-7	Gran	15,51	7,98	b	870,89	138,75	36,04
	MF	18,31	33,60	a	1079,65	230,43	27,36
	CV%	10,73	19,42		33,71	23,81	34,77

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾NS-1: 27,1% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-3: 36,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-5: 26,7% N, 8,8% S e 4,1% biureto; NS-7: 35,0% N, 4,2% S e 3,2% biureto. As misturas físicas apresentam as mesmas concentrações dos seus respectivos fertilizantes granulados, exceto para os teores de biureto, já que todas as misturas físicas possuem 0,43% de biureto.

3.6 CONCLUSÕES

Quanto aos resultados obtidos é possível inferir que:

Em virtude dos fertilizantes granulados NK e NS possuírem em sua composição altos teores de biureto, estando esses acima do permitido pela Legislação vigente, estes fertilizantes granulados não poderão ser utilizados para fins agrícolas, já que o biureto é classificado como tóxico as plantas.

O biureto presente nos granulados NK e NS retardaram o crescimento e desenvolvimento das plantas de arroz, principalmente no solo de textura arenosa onde as misturas físicas foram superiores estatisticamente, uma vez que, no solo de textura argilosa o biureto teve seu efeito adverso diminuído, provavelmente por esse solo possuir um maior teor de argila, promovendo assim um maior poder tamponante do solo.

A aplicação de biureto aumentou os teores trocáveis de Mg^{2+} tanto no solo arenoso, quanto no argiloso, provavelmente por inibir a absorção deste elemento pelas raízes das plantas.

Houve um maior acúmulo de $NO_3^- + NO_2^-$ no Planossolo e Argissolo quando as aplicações de biureto no solo foram maiores que 12 kg ha^{-1} , provavelmente em razão do biureto interferir de alguma maneira na nitrificação.

O biureto parece inibir a nitrificação proporcionando um maior acúmulo de NH_4^+ , já que os granulados NK e NS apresentaram-se superiores as suas misturas físicas.

No solo argiloso, a adição de biureto junto com os fertilizantes granulados influenciou em maiores teores de N nas plantas de arroz quando comparadas aos tratamentos isentos de biureto, provavelmente pelo fato do N contido no biureto estar na mesma forma molecular do encontrado na uréia ($-NH_2$).

De maneira contrária ao encontrado na literatura, o biureto aplicado teve um efeito positivo na absorção de K^+ pelas plantas, uma vez que os granulados NK e NS promoveram maiores teores de K^+ em relação às suas misturas físicas, entretanto, esse efeito do biureto na absorção de potássio no solo argiloso é menos acentuado, principalmente em concentrações maiores que 3% de biureto no fertilizante.

4. CAPÍTULO II

DIFERENTES FORMAS DOS FERTILIZANTES NK E NS E DO BIURETO E POTÁSSIO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE PLANTAS DE ARROZ EM DOIS TIPOS DE SOLOS

4.1 RESUMO

Em função dos altos teores de biureto contido nos fertilizantes granulados, e assim estes não poderem ser utilizados, foram produzidos 3 fertilizantes pastilhados NK e 2 pastilhados NS. Assim este experimento teve como finalidade avaliar o efeito da forma dos fertilizantes (pastilhado, granulado e perolado), o efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados NK e o efeito do biureto contido nos granulados, comparando com os seus respectivos pastilhados, nas características morfológicas de arroz, e nos atributos químicos de material de solos de textura arenosa e argilosa, bem como na absorção das diferentes formas de N e do K^+ pela cultivar de arroz IAC 202. Quanto à caracterização química dos fertilizantes pastilhados (metais pesados e biureto), estes estão bem abaixo do limite máximo permitido pela Legislação Brasileira, podendo assim ser registrados como fertilizantes nitrogenados. Não houve efeito quanto à forma dos fertilizantes sobre a altura, massa seca e perfilhamento das plantas de arroz, sendo que a forma pastilhada apresentou resultados bem semelhantes em relação aos fertilizantes comerciais perolados (Super N[®] e Uréia Fertilizante). Quanto ao efeito do potássio contido nos pastilhados NK, estes apresentaram um efeito positivo, mesmo não diferenciando estatisticamente apresentou um maior crescimento quando comparado aos tratamentos com fertilizantes comerciais que não receberam adubação potássica. No entanto o biureto aplicado junto com os fertilizantes granulados retardou e em concentrações maiores que 5% inibiu o crescimento das plantas de arroz, tanto no Planossolo quanto no Argissolo. Quando o biureto foi aplicado, este parece interferir na amonificação no solo, uma vez que estes tratamentos apresentaram um maior acúmulo de NH_4^+ em relação aos tratamentos que receberam os pastilhados praticamente isentos de biureto. Esta substância (biureto) também aumentou a absorção de NH_4^+ e NO_3^- pelas plantas, principalmente no solo arenoso, provavelmente pelo fato deste inicialmente aumentar a amonificação no solo como também a nitrificação. No solo de textura argilosa a aplicação de biureto até 5% aumentou os teores foliares de N. O que é explicado pelo fato de o biureto ser composto em grande maioria de N, estando este na mesma forma molecular do encontrado na uréia ($-NH_2$). O biureto também apresentou um efeito positivo na absorção de K^+ quando comparados aos pastilhados, já que apresentaram teores superiores aos tratamentos isentos de biureto, principalmente no solo de textura mais argilosa.

Palavras-chave: Fertilizante pastilhado. Formas de fertilizantes. Biureto.

4.2 ABSTRACT

Based on the high levels of biuret contained in granular fertilizers, which limited their usage, three NK and two NS fertilizers were produced in the form of tablets. Thus, this experiment intended to evaluate the effect of different forms of the fertilizer (tablets, granules and pearls), the effect of K contained in NK fertilizer tablets, and effect of biuret contained in pellets compared with their respective granulated forms, on rice morphological characteristics, and the chemical attributes of different soil materials of sandy and clay texture, and the absorption of different forms of N and K by the rice cultivar IAC 202. As to the chemical fertilizer pellets characterization (heavy metals and biuret), they were well below the maximum allowed by Brazilian law, therefore they can be registered as nitrogen fertilizers. There was no effect of form of fertilizers in terms of height, tillering, and dry matter content in the rice plants, and the chips form showed similar results to the pearl commercial fertilizers (Super N[®] and Urea fertilizer). As to the effect of potassium contained in NK chips, it had a positive effect, even if no statistic difference was observed; it showed greater growth when compared to commercial fertilizers treatments which had not received K fertilization. However, the biuret applied together with the fertilizer pellets slowed, and in concentrations higher than 5%, inhibited the rice plants growth, both in the Fragiudult and in Udult soils. When biuret was applied, it seemed to interfere in the formation of ammonia in the soil, since these treatments showed a greater accumulation of NH_4^+ in relation to treatments that received the tablets practically free of biuret. This substance (biuret) also increased NH_4^+ and NO_3^- uptake by plants, mainly in the sandy soil, probably because it's initial increasing effect in the formation of ammonia as well as nitrification. In the clayey textured soil the application of biuret increased up to 5% the content of N in the leaves. This is explained since the biuret is composed mostly of N which is in the same molecular form that in urea ($-\text{NH}_2$). Biuret also had a positive effect on K^+ absorption, when compared to the tablets, since they had higher levels in relation to the treatments free of biuret, especially in the clayey textured soil.

Key words: Fertilizer tablets. Forms of fertilizers. Biuret.

4.3 INTRODUÇÃO

Alternativas de fertilizantes nitrogenados, com a finalidade de aumentar a eficiência de uso do N a fim de reduzir as perdas por volatilização, lixiviação e por desnitrificação, incluem compostos de baixa solubilidade, produtos de liberação lenta por recobrimento por resinas, S elementar, polímeros ou outros materiais inorgânicos ou sintéticos, adição de ácidos e sais para evitar a formação de amônia e misturas com outros fertilizantes e fertilizantes contendo inibidores de nitrificação ou urease. No Brasil, a opção de novos produtos tidos como fertilizantes estabilizados mais largamente testados é a uréia contendo inibidor de urease entre eles o NBPT[®] e o Super N[®]. Estes fertilizantes possuem como vantagem redução das perdas por volatilização, ocasionando maior eficiência do N aplicado, fornecendo o nutriente no momento exato da necessidade da planta, independente das condições climáticas.

A eficiência de uso de N – medida do ganho em produção por unidade de nutriente aplicado – deve ser buscada em cultivos de alta produtividade e com uso de boas práticas agrícolas. O conceito de eficiência ou de uso eficiente de N pode variar de acordo com a perspectiva de produção, porém, não se deve priorizar alta eficiência em detrimento da produtividade. Sabe-se, pela lei dos rendimentos decrescentes, que com o aumento da dose de N os aumentos na produtividade são menores, e, portanto, menores as eficiências obtidas.

Dessa maneira, a forma dos fertilizantes pode de alguma maneira influenciar em uma menor taxa de liberação do nutriente, ocasionando assim em um maior aproveitamento destes pelas plantas de acordo com as suas diferentes fases de desenvolvimento, conseqüentemente diminuindo as suas perdas, seja por volatilização e/ou lixiviação. Entre essas diferentes formas, destacam-se a granulada e a perolada, iniciando também alguns testes com fertilizantes na forma pastilhada.

O processo de granulação de uréia consiste em aumentar os diâmetros dos grãos através de recobrimentos sucessivos (engorda) do grão de uréia perolada com a própria solução de uréia, tendo o inconveniente de no processo de produção haver a formação de biureto, que em altas concentrações pode ser tóxico as plantas. O diâmetro médio da uréia perolada é de 1,6 mm, enquanto o da uréia granulada é em média de 3 mm e da uréia pastilhada em torno de 5 mm. A melhor qualidade consiste na menor taxa de liberação de nitrogênio, no aumento da resistência e uniformidade do grão e na menor segregação quando misturada com outros fertilizantes.

O nitrogênio esta presente no solo em diferentes formas, mas é absorvido pelas plantas, principalmente como amônio (NH_4^+) ou nitrato (NO_3^-). O nitrato é considerado a fonte de N mineral mais importante para o crescimento das plantas em solos bem aerados. Uma vez no interior da célula, o nitrato absorvido pode ser reduzido, armazenado no vacúolo via canais iônicos ou exportado para regiões de consumo na parte aérea.

A capacidade de rápido acúmulo de nitrato na fase inicial de crescimento pode propiciar um maior estoque de N disponível para o metabolismo das plantas nas fases posteriores de seu ciclo de vida, principalmente quando do enchimento dos grãos, e podem ser a razão do alto acúmulo de N nos grãos (Hirel et al, 2001; Souza et al, 1998).

Assim, o objetivo deste capítulo, foi de avaliar o efeito do processo de produção final dos fertilizantes – pastilhada, granulada e perolada - dos fertilizantes NK e NS quanto dos fertilizantes comerciais, do biureto e do potássio contido nos fertilizantes granulados sobre parâmetros morfológicos e quanto ao fornecimento dos nutrientes oriundos dos fertilizantes utilizados em solos de diferentes texturas.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação em condições controladas de temperatura e umidade, localizada na área experimental do Departamento de Solos do Instituto de Agronomia-UFRRJ. Os solos utilizados foram provenientes de um horizonte A de um Planossolo (textura arenosa) e um horizonte B de um Argissolo, sendo o mesmo utilizado no primeiro experimento, como descrito conforme sua característica química e física encontrada nas Tabela 1 e Tabela 2.

4.4.1 Condução do experimento

Este experimento foi conduzido entre os dias 26/06/2008 e 05/08/2008 totalizando 40 dias de cultivo da cultivar de arroz IAC 202 em casa de vegetação.

Em virtude dos fertilizantes granulados NK e NS possuírem em sua composição altos teores de biureto, estando estes acima do teor máximo permitido pela Legislação, impossibilitando dessa forma sua utilização para fins agrícolas, foram produzidos 3 fertilizantes pastilhados NK e 2 fertilizantes pastilhados NS nas mesmas proporções dos seus respectivos fertilizantes granulados, sendo estes feitos a partir de compressão física e com teores de biureto bem abaixo do limite máximo (Tabela 19).

Dessa forma este experimento consistiu em avaliar de cinco fertilizantes granulados NK e NS (contendo biureto), cinco fertilizantes pastilhados NK e NS (com baixos teores de biureto) e dois fertilizantes perolados nitrogenados convencionais (Super N[®] e Uréia Fertilizante), utilizados como testemunhas quanto ao efeito da forma do fertilizante (granulado, pastilhado e perolado), efeito do biureto contido nos fertilizantes granulados e quanto ao efeito de K nos fertilizantes pastilhados NK. Sendo que o fertilizante Super N[®] possui em sua composição um inibidor da urease. Foram utilizados dois tipos de solos, um de textura arenosa (Planossolo) e outro de textura arenosa (Argissolo), com 3 repetições.

Dessa forma o experimento em questão consistiu em um delineamento completamente casualizado, possuindo um arranjo fatorial 12 (5 granulado + 5 pastilhado + 2 testemunhas) x 2 (2 solos diferentes) com 3 repetições, resultando assim em um total de 72 unidades experimentais.

Tabela 19- Caracterização química dos fertilizantes pastilhados e granulados NK e NS, e dos fertilizantes convencionais utilizados como testemunha.

Produto	Composição	Proporção (uréia/ Δ)	N _{total}		K ₂ O		S	
			Gran.	Past.	Gran.	Past.	Gran.	Past.
-----%-----								
NK-1	Uréia Pura	100	45,2	45,5	--	--	--	--
NK-3	Uréia/KCl	72,7/27,3	32,5	32,1	17,2	17,5	--	--
NK-9	Uréia/KCl	57,2/42,8	26,0	26,2	26,0	26,3	--	--
NS-1	Uréia/(NH ₄) ₂ SO ₄	60/40	35,2	34,9	--	--	9,4	9,2
NS-3	Uréia/(NH ₄) ₂ SO ₄	80/20	40,2	40,0	--	--	4,7	4,5
Uréia	Uréia Pura	100	45,2	--	--	--	--	--
Super N	Uréia Pura	100	46,0	--	--	--	--	--

Os fertilizantes utilizados foram aplicados no momento do plantio da variedade de arroz IAC 202 responsiva ao N, sendo que a dose aplicada foi referente a uma aplicação de

120 kg N ha⁻¹ de cada fertilizante. Foram plantadas 20 sementes/pote, mantendo somente as 5 mais vigorosas após germinação, com o objetivo de homogeneizar os tratamentos.

Na Tabela 20 é apresentada a quantidade de K e de Biureto adicionado juntamente com cada fertilizante granulado e pastilhado NK e dos fertilizantes convencionais utilizado neste experimento como testemunha, observa-se que os fertilizantes pastilhados e os fertilizantes convencionais (testemunhas) apresentaram uma quantidade de biureto muito inferior aos fertilizantes granulados, sendo a diferença de potássio aplicada entre os granulados e os pastilhados muito pequena, fazendo com que não haja contrastes muito evidenciados nas análises químicas realizadas.

Tabela 20- Quantidades de K e Biureto aplicados em cada fertilizante granulado e pastilhado NK e das testemunhas em função da dose de 120 kg N ha⁻¹.

Produto	N	K ₂ O	Biureto	K	Biureto
	-----%-----			-----kg ha ⁻¹ -----	
NK-1 granulado	45,2	--	7,0	0,00	18,58
NK-1 pastilhado	45,5	--	0,63	0,00	1,66
NK-3 granulado	35,7	17,2	3,3	64,30	12,18
NK-3 pastilhado	32,1	17,5	0,48	65,42	1,79
NK-9 granulado	26,0	26,0	2,7	120,00	12,46
NK-9 pastilhado	26,2	26,3	0,40	119,08	1,83
Uréia					
Fertilizante	45,2	--	0,43	0,00	1,12
Super N [®]	46,0	--	0,58	0,00	1,55

Na Tabela 21 é apresentada a quantidade de Enxofre e de Biureto adicionado juntamente com os fertilizantes granulados e pastilhados NS em função da dose de N utilizada. Verifica-se que da mesma maneira ao ocorrido com os fertilizantes NK, os pastilhados apresentaram um menor teor de S o que ocasionou em uma menor quantidade aplicada, no entanto estas diferenças não foram tão contrastantes, e quanto ao teor de biureto, os pastilhados apresentaram um menor conteúdo em sua composição, sendo que a quantidade adicionada não ocasionou nenhum tipo de injúrias às plantas.

Tabela 21- Quantidades de S e Biureto aplicados em cada fertilizante granulado e pastilhado NS em função da dose de 120 kg N ha⁻¹.

Produto	N	S	Biureto	S	Biureto
	-----%-----			-----kg ha ⁻¹ -----	
NS-1 granulado	35,2	9,4	4,3	32,05	14,66
NS-1 pastilhado	34,9	9,2	0,5	31,63	1,72
NS-3 granulado	40,2	4,7	5,0	14,10	14,92
NS-3 pastilhado	40,0	4,5	0,57	13,50	1,71

4.4.2 Procedimentos experimentais

4.4.2.1 Incubação dos solos

Os solos utilizados foram incubados com dose crescente de carbonato de cálcio com a finalidade de elevar o pH do solo para 6,5; de acordo com o item 3.4.6.1 referente ao Material e Métodos do Capítulo 1.

4.4.2.2 Implementação do experimento

Os vasos utilizados possuem uma área de 0,0074 m², estes foram pintados externamente com tinta alumínio e receberam 0,5 L de terra peneirada em malha de 4mm com auxílio de uma proveta graduada. Os solos utilizados foram mantidos em 70% da capacidade de campo, a irrigação foi feita diariamente através do método de pesagens diárias dos potes, onde a diferença de peso era adicionada com água destilada por meio de proveta graduada.

Os fertilizantes foram adubados de maneira incorporada nos primeiros 3 cm do vaso, esta camada superficial foi retirada, acondicionada em um pote menor onde procedeu a adubação e posterior homogeneização, sendo que após este procedimento o solo retornou ao vaso para então ser realizada o plantio, no momento da adubação também foi aplicado fósforo na forma de superfosfato triplo (46% P₂O₅) nas doses de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ para o solo de textura arenosa e textura argilosa de acordo com o Manual de Adubação para o Estado do Rio de Janeiro (De-Polli et al., 1988). Em cada pote foram plantadas 20 sementes da cultivar de arroz IAC 202, onde os potes foram dispostos inteiramente ao acaso dentro da casa de vegetação, sendo cultivados por um período de 40 dias.

Para a avaliação da disponibilidade de nutrientes adicionados aos solos foram utilizadas plantas em ensaio em curto prazo e sem grandes volumes de solo, sendo esse o objetivo do teste proposto por Neubauer & Schneider (1923). Por esse método são detectadas mudanças nas concentrações de elementos em função de ser usada uma alta relação semente/solo o que proporciona uma rápida exploração do volume de solo pelas raízes e absorção de nutrientes disponíveis durante um curto período de crescimento.

4.4.3 Condições ambientais

A temperatura e umidade relativa do ar foram acompanhadas diariamente na casa de vegetação, com registros por meio de termômetro digital instalado dentro da casa de vegetação. Dessa maneira, verifica-se nas Figura 8 e Figura 9 que em relação à temperatura dentro da casa de vegetação que esta não apresentou grandes oscilações, não ocasionado dessa forma nenhuma adversidade para o desenvolvimento da cultura do arroz, quanto à umidade, observa-se que a máxima permaneceu sempre próxima a 100%, onde, no entanto a umidade média esteve em torno de 70%, fazendo com que as plantas não tivessem por nenhum tipo de estresse hídrico, já que a esta umidade as perdas de água seriam os menores possíveis.

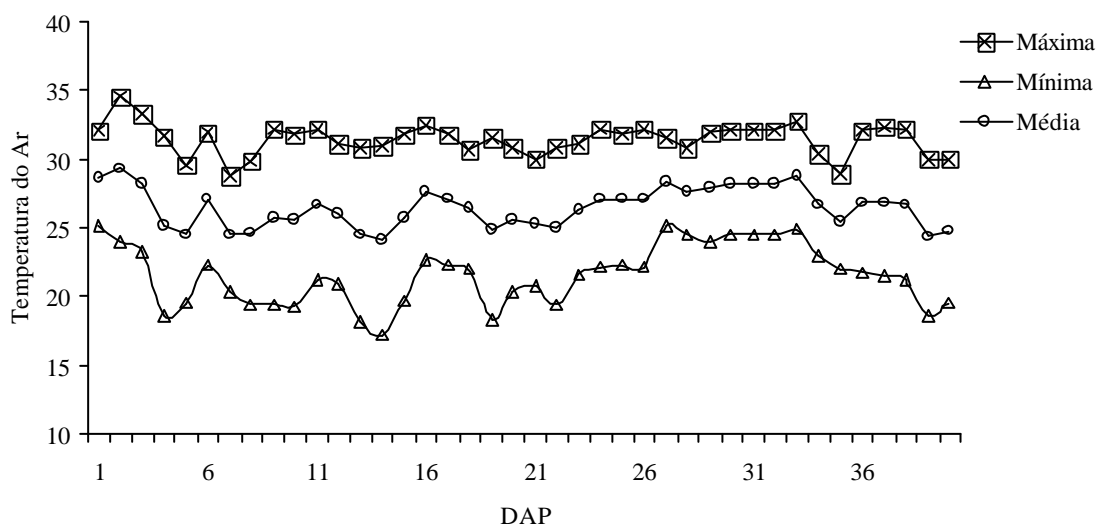


Figura 8- Variação da temperatura (°C) dentro da casa de vegetação.

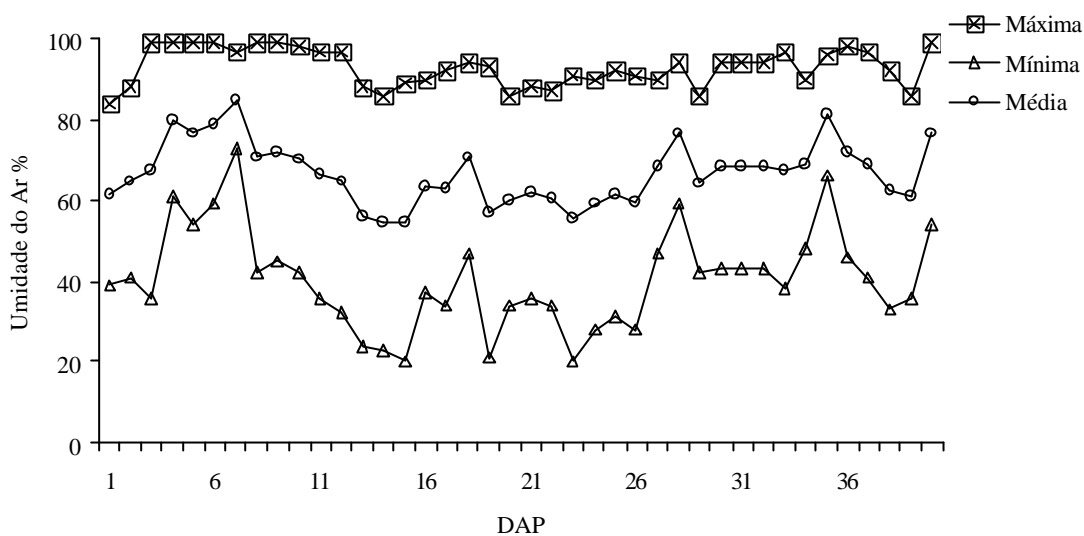


Figura 9- Variação da umidade relativa do ar (%) dentro da casa de vegetação.

4.4.4 Análise química e parâmetros fenológicos

Foram realizadas as diversas análises químicas no solo e na planta como descrito no Item 3.4.7.1, com exceção, para os teores trocáveis de nutrientes no solo, onde para esse experimento estas não foram realizadas.

4.4.5 Análise estatística

A análise dos dados foi realizada utilizando-se o programa SAEG. Os dados foram submetidos às pressuposições de normalidade e homogeneidade dos erros, utilizando respectivamente os testes de Lilliefors e Bartlett. Teste F para a análise de variância, e o teste de Tukey a 5% de probabilidade para teste de médias.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Efeito da forma do fertilizante

4.5.1.1 Parâmetros fenológicos

Na Tabela 22 é apresentado as características morfológicas da cultivar de arroz IAC 202 após a aplicação das diferentes formas dos fertilizantes nitrogenados em um solo de textura arenosa (Planossolo) e um de textura argilosa (Argissolo). Verifica-se que para o Planossolo que os diversos tratamentos não diferiram entre si quanto à forma dos fertilizantes. No entanto, para o Argissolo as diferentes formas dos fertilizantes diferiram significativamente quanto ao acúmulo de massa seca e quanto ao número de plantas perfilhadas.

Quanto ao efeito da forma dos fertilizantes sobre o acúmulo de massa seca (g) após 40 dias do plantio no Argissolo, verifica-se que os tratamentos diferiram entre si pelo teste de Tukey, sendo que os fertilizantes perolados comerciais (Super N[®] e Uréia Fertilizante) apresentaram maior acúmulo de massa seca. O pastilhado NK-1 foi semelhante estatisticamente em relação aos produtos comerciais e ao fertilizante granulado NK-1, sendo este fertilizante o que apresentou um menor acúmulo, já que este foi o que proporcionou um menor perfilhamento, refletindo dessa maneira em um menor desenvolvimento das plantas que receberam este fertilizante, o que provavelmente se deve mais ao teor de biureto contido no NK-1 granulado do que propriamente ao seu formato. Assim, o efeito da forma sobre o crescimento das plantas, parece ser mais evidenciado nos solos de textura argilosa, uma vez que quando avaliado o efeito da forma dos fertilizantes no solo arenoso, os diversos fertilizantes não diferiram significativamente pelo teste de Tukey.

Da mesma forma para o acúmulo de massa seca, quando avaliado o número de plantas perfilhadas verifica-se que os fertilizantes perolados comerciais apresentaram os melhores resultados, enquanto que a forma granulada do fertilizante NK-1 proporcionou o menor número de plantas perfilhadas, o que pode ser mais em função do biureto existente na sua composição do que mais propriamente a sua forma. No entanto, não foi encontrado na literatura nenhum trabalho relacionando o efeito de diferentes formas de fertilizantes nitrogenados sob as características morfológicas de plantas.

Tabela 22- Características fenológicas da cultivar de arroz IAC 202 após 40 dias da aplicação das diferentes formas de fertilizantes nitrogenados em dois tipos de solos diferentes.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	Planossolo (arenoso)			Argissolo (argiloso)		
		Massa Seca gramas	Altura cm	Plantas Perfilhadas	Massa Seca gramas	Altura cm	Plantas Perfilhadas
NK-1	Gran	0,8667	19,65	2,00	1,1232 b	25,80	2,33 b
NK-1	Past	0,9702	24,98	3,33	1,7823 ab	25,81	4,00 ab
Super N [®]	Per	1,0894	25,73	3,33	2,3841 a	29,84	4,00 ab
Uréia	Gran	1,0600	23,53	3,67	2,1060 a	31,97	5,00 a
CV%		9,56	17,10	28,08	29,79	13,07	25,56

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1 gran: 45,2% N e 7,0% biureto; NK-1 past: 45,5% N e 0,63% biureto; Super N: 46,0% N e 0,58% biureto; Uréia: 45,2% N e 0,43% biureto. Onde, Gran: Granulado, Past: Pastilhado e Per: Perolado.

Avaliando teores de N, NH_4^+ , $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ e K^+ nos solos que receberam os diferentes fertilizantes nitrogenados quanto à sua forma, verifica-se Tabela 23 que para o Planossolo não houve diferenças significativas entre os tratamentos. No entanto, o fertilizante comercial perolado Super N[®] foi o tratamento que resultou em um teor de N_{total} e de NH_4^+ no solo superior aos demais fertilizantes, já que este possui em sua composição um inibidor da enzima urease, assim a molécula de uréia não é desdobrada a carbamato de amônia, dessa forma mais NH_4^+ que é a forma mais estável do N se acumula no solo ficando disponível para as plantas.

Quanto aos teores no Argissolo, verifica-se que as diferentes formas dos fertilizantes nitrogenados diferiram significativamente entre si somente para os teores de K^+ no solo. Sendo que a forma pastilhada do fertilizante NK-1 resultou em um maior teor de K^+ , refletindo dessa maneira em um menor acúmulo de amônio no solo, uma vez que estes dois elementos além de serem absorvidos de forma semelhantes pelas raízes das plantas, eles também competem pelo mesmo sítio de retenção, contribuindo para reduzir a disponibilidade de N para as plantas (Costa et al, 2004).

Tabela 23- Teores de nitrogênio (N_{total}), amônio (NH_4^+), $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$ e potássio (K_{total}) após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados NK no Planossolo e no Argissolo quanto a forma do fertilizante.

-----Planossolo-----					
Tratamento ⁽¹⁾	N_{total}	K_{total}	$\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$	NH_4^+	
	-----mg g ⁻¹ -----		-----mg pote ⁻¹ -----		
NK-1 gran	0,078	0,902	59,33	470,16	
NK-1 past	0,078	1,180	39,66	470,16	
Super N [®]	0,168	0,902	30,33	491,16	
UF	0,130	1,180	37,33	481,83	
CV%	33,88	32,64	36,30	3,68	
-----Argissolo-----					
NK-1 gran	0,158	7,84	b	42,00	505,16
NK-1 past	0,280	17,80	a	38,50	474,83
Super N [®]	0,120	2,50	b	21,00	488,83
UF	0,230	7,68	b	32,66	488,83
CV%	33,71	32,09		28,19	4,95

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1 gran: 45,2% N e 7,0% biureto; NK-1 past: 45,5% N e 0,63% biureto; Super N: 46,0% N e 0,58% biureto; Ureia: 45,2% N e 0,43% biureto. Onde, Gran: Granulado, Past: Pastilhado e Per: Perolado.

Comparando os teores foliares das plantas cultivadas no Planossolo, verifica-se na Tabela 24 que os tratamentos diferiram significativamente para o conteúdo de NH_4^+ e NO_3^- .

Quanto ao conteúdo de NH_4^+ e NO_3^- nas plantas de arroz, o tratamento referente à forma granulada do fertilizante NK-1, apresentou-se superior estatisticamente aos demais tratamentos. Contudo a forma pastilhada NK-1 e a UF (perolada) foram as que apresentaram respectivamente os menores acúmulos de NH_4^+ e NO_3^- . Esses maiores conteúdos de NH_4^+ e NO_3^- nas plantas do tratamento granulada NK-1, principalmente em relação aos fertilizantes comerciais, demonstra que o biureto contido neste fertilizante, de alguma maneira, interferiu em alguma reação tanto no solo, quanto na planta, fazendo com que mais NH_4^+ e NO_3^- fossem absorvidos pelas raízes das plantas deste tratamento.

Verificando os teores foliares na planta de arroz quanto ao efeito da forma dos fertilizantes cultivadas no Argissolo (Tabela 24), observa-se que houve diferença estatística entre os tratamentos somente para o acúmulo de NO_3^- , onde a forma granulada NK-1 apresentou valores bem superiores aos demais fertilizantes, o que pode ser atribuído muito

mais ao alto teor de biureto (7,0%) contido nesta forma granulada, já que em praticamente todos os tratamentos (avaliados neste trabalho), os tratamentos que receberam biureto apresentaram algum efeito estimulante na absorção de NO_3^- pelas plantas de arroz.

Tabela 24- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) e teor de potássio (K_{total}), tratadas com os diferentes fertilizantes nitrogenados após 40 dias do plantio no Planossolo e no Argissolo.

-----Planossolo-----						
Tratamento ⁽¹⁾	N_{total}	K_{total}	NH_4^+		NO_3^-	CN
	-----mg g ⁻¹ -----		-----mg pote ⁻¹ -----			
NK-1 gran	29,93	5,26	616,34	a	434,01	5,26
NK-1 past	32,17	4,35	351,98	b	152,28	4,35
Super N [®]	33,29	4,80	374,81	b	174,88	4,80
UF	32,17	3,70	382,24	b	111,10	3,70
CV%	7,75	14,98	15,28		22,47	14,98
-----Argissolo-----						
NK-1 gran	21,53	5,26	471,60		709,43	5,26
NK-1 past	22,54	4,80	370,93		56,74	4,80
Super N [®]	17,05	4,35	501,15		58,40	4,35
UF	18,84	3,70	528,95		64,58	3,70
CV%	18,25	14,98	34,57		35,74	14,98

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1 gran: 45,2% N e 7,0% biureto; NK-1 past: 45,5% N e 0,63% biureto; Super N: 46,0% N e 0,58% biureto; Uréia: 45,2% N e 0,43% biureto.

Onde Gran: Granulado, Past: Pastilhado e Per: Perolado.

4.5.2 Efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados NK

Avaliando o efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados NK sobre as características fenológicas na planta de arroz, verifica-se na Tabela 25 que no Argissolo os diferentes tratamentos não diferiram, enquanto que no Planossolo houve diferença significativa somente para o acúmulo de massa seca entre os diferentes fertilizantes.

Quanto ao efeito do K no acúmulo de massa seca de parte aérea no Planossolo, verifica-se que os diversos tratamentos diferiram, onde os fertilizantes pastilhados NK-9 e NK-3 com 26,3 e 17,5% de K_2O respectivamente, foram superiores significativamente em relação aos demais fertilizantes isentos de K, mostrando um efeito do K no perfilhamento e conseqüentemente um efeito mais significativo no crescimento de plantas de arroz, segundo Fageria (1999) adubações mais equilibradas, principalmente entre N/K ocasiona em maiores produtividades pelas plantas de arroz.

Tabela 25- Efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados sobre as características fenológicas da plantas de arroz após 40 dias do plantio no Planossolo e no Argissolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Planossolo (arenoso)			Argissolo (argiloso)		
	Massa Seca	Altura	Plantas Perfilhadas	Massa Seca	Altura	Plantas Perfilhadas
	gramas	cm		gramas	cm	
NK-1	0,9702 b	24,98	3,33	1,7823	28,81	4,00
NK-3	1,6573 a	27,53	4,33	2,1522	31,82	4,33
NK-9	1,7823 a	30,00	4,33	2,3276	32,10	4,67
Super N [®]	1,0894 b	25,73	3,33	2,3841	29,84	4,00
Uréia	1,0600 b	23,53	3,66	2,1060	31,96	5,00
CV%	13,01	10,49	22,53	12,83	9,39	13,74

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,5% N; NK-3: 32,1% N e 17,5% K₂O; NK-9: 26,2% N e 26,3% K₂O; Super N: 46,0% N; Uréia: 45,2% N.

Avaliando os teores dos nutrientes nos diferentes solos (Tabela 26) verifica-se que para o Planossolo não houve diferença significativa entre os tratamentos quanto ao efeito do potássio contido nos fertilizantes pastilhados. Entretanto para o Argissolo os tratamentos diferiram significativamente somente para os teores de K⁺.

Quanto aos teores de K_{total} no Argissolo oriundos dos diferentes fertilizantes pastilhados, observa-se que o fertilizante comercial Super N[®] foi inferior significativamente aos demais tratamentos, uma vez que neste não foi adicionado potássio, conseqüentemente foi este mesmo tratamento que proporcionou um maior acúmulo de NH₄⁺.

Segundo Gransee (2004) quanto menor for à saturação de K⁺ no complexo coloidal, maior será a fixação de amônio, que pode ter impacto significativo na disponibilidade de N para as plantas durante o seu período de intenso crescimento, podendo acarretar dessa forma em menores produtividades, uma vez que esses dois elementos competem pelo mesmo sítio de retenção. Os pastilhados NK-3 e NK-9 foram os que resultaram nas maiores concentrações de potássio no solo em razão destes possuírem respectivamente 17,5 e 26,3% de K₂O e conseqüentemente nos menores acúmulos de NH₄⁺.

Tabela 26- Teores de nitrogênio (N_{total}), amônio (NH_4^+), $NO_3^-+NO_2^-$ e potássio (K_{total}) no Planossolo e no Argissolo após 40 dias da aplicação dos fertilizantes nitrogenados quanto ao efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados NK.

-----Planossolo-----				
Tratamento ⁽¹⁾	N_{total}	K_{total}	$NO_3^-+NO_2^-$	NH_4^+
	-----mg g ⁻¹ -----		-----mg pote ⁻¹ -----	
NK-1	0,078	0,902	39,66	470,16
NK-3	0,130	1,180	28,00	458,50
NK-9	0,116	1,620	39,66	481,83
Super N [®]	0,168	0,902	30,33	491,16
UF	0,130	1,180	37,33	481,83
CV%	33,05	39,45	36,14	3,30
-----Argissolo-----				
NK-1	0,140	17,80 a	38,50	474,83
NK-3	0,140	12,20 ab	37,33	477,16
NK-9	0,042	16,38 a	19,83	488,83
Super N [®]	0,060	2,50 c	21,00	491,16
UF	0,130	7,68 bc	32,66	488,83
CV%	33,52	20,26	34,07	4,28

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,5% N; NK-3: 32,1% N e 17,5% K₂O; NK-9: 26,2% N e 26,3% K₂O; Super N: 46,0% N; Uréia: 45,2% N.

Avaliando o efeito do potássio contido nos fertilizantes pastilhados quanto aos teores foliares de nutrientes na planta de arroz em solos de diferentes texturas, observa-se na Tabela 27 que no Planossolo os tratamentos diferiram entre si para os valores de N_{total} e K_{total} , e no solo de textura mais argilosa houve diferença significativa para NO_3^- e K_{total} .

Em relação aos teores foliares de N_{total} no Planossolo, os tratamentos que receberam os pastilhados NK-9 e NK-3 contendo potássio foram os que apresentaram um menor teor, já que estes fertilizantes são os únicos que são formados de uréia e cloreto de potássio, assim o potássio adicionado ao solo, interferiu na absorção de N pelas raízes das plantas, já que estes são absorvidos de forma semelhantes. Quanto aos teores de K_{total} nas plantas, os tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados NK-3 e NK-9 com 17,5 e 26,3% de K₂O respectivamente, foram os que proporcionaram um maior acúmulo de K^+ no tecido vegetal da planta de arroz, assim, o potássio adicionado apresentou um efeito marcante nos teores de nutrientes nas plantas, já que foram estes tratamentos que resultaram em um menor conteúdo de NO_3^- pelas plantas, e ao mesmo tempo um maior conteúdo de NH_4^+ .

Comparando os teores foliares de N_{total} nas plantas de arroz no Argissolo, verifica-se que houve diferença estatística para o conteúdo de NO_3^- , onde o pastilhado NK-3 foi o que resultou em uma maior absorção pelas plantas. Este maior conteúdo de NO_3^- neste tratamento pode ser em função do potássio contido neste fertilizante, uma vez que os tratamentos que proporcionaram os maiores conteúdos de nitrato (NK-3 e NK-9) serem constituídos de uréia e cloreto de potássio.

Os tratamentos que apresentaram os maiores teores foliares de K^+ no Argissolo foram proporcionais à quantidade de cloreto de potássio recebida, ou seja, os pastilhados NK-3 e principalmente o NK-9 que foram superiores estatisticamente aos demais receberam respectivamente 65,42 e 119,08 kg ha⁻¹ sob a forma de cloreto de potássio, e os tratamentos que não receberam nenhuma fonte de K (NK-1, UF e Super N[®]) foram os que resultaram nos menores teores foliares de K^+ , sendo inclusive semelhantes pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 27- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}), conteúdo de nitrogênio (CN), conteúdo de amônio (NH_4^+), conteúdo de nitrato (NO_3^-) e teor de potássio (K_{total}), após 40 dias do plantio no Planossolo e no Argissolo, quanto ao efeito do K contido nos fertilizantes pastilhados NK.

-----Planossolo-----								
Tratamento ⁽¹⁾	N_{total}		K_{total}		NH_4^+	NO_3^-	CN	
	mg g ⁻¹		mg g ⁻¹		mg pote ⁻¹			
NK-1	32,17	a	4,35	bc	351,98	152,28	31,15	
NK-3	18,73	b	40,27	b	472,08	81,34	30,63	
NK-9	18,24	b	119,71	a	461,61	93,96	32,50	
Super N [®]	33,29	a	4,80	bc	374,81	174,88	36,23	
UF	32,17	a	2,70	c	382,24	111,10	34,10	
CV%	9,48		39,21		16,82	34,28	10,97	
-----Argissolo-----								
NK-1	22,54		4,35	bc	370,93	56,74	b	39,12
NK-3	17,05		40,27	b	541,47	92,45	a	36,37
NK-9	16,49		119,71	a	437,48	78,93	ab	38,24
Super N [®]	17,05		4,80	bc	501,15	58,40	b	40,65
UF	18,84		3,70	c	528,95	64,58	b	38,99
CV%	15,41		39,21		20,52	13,43		7,34

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1: 45,5% N; NK-3: 32,1% N e 17,5% K₂O; NK-9: 26,2% N e 26,3% K₂O; Super N: 46,0% N; Uréia: 45,2% N.

4.5.3 Efeito do biureto sobre o desenvolvimento de plantas de arroz

Na Tabela 28 são apresentadas às características morfológicas das planta de arroz após 40 dias da aplicação dos fertilizantes NK e NS, em função dos altos teores de biureto nos fertilizantes granulados no Planossolo e no Argissolo. Para o solo de textura arenosa verifica-se que não houve um efeito marcante do biureto sobre os parâmetros avaliados, uma vez que os tratamentos não diferiram pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. No entanto para o Argissolo alguns tratamentos diferiram significativamente quanto ao acúmulo de massa seca e número de plantas perfilhadas, evidenciando um maior efeito do biureto neste tipo de solo.

Para o Planossolo mesmo os tratamentos não apresentando diferenças estatísticas, houve uma tendência dos tratamentos que receberam os fertilizantes pastilhados NK e NS de apresentarem um maior acúmulo de massa seca, como também um maior número de plantas perfilhadas. Rai et al. (1956), estudando efeito do biureto no crescimento de plantas de feijão, verificaram que o biureto retardou o crescimento ao afetar mecanismo metabólico da planta.

Quanto ao acúmulo de massa seca da parte aérea de plantas de arroz no Argissolo, todos os tratamentos referentes aos fertilizantes pastilhados NK e NS resultaram em acúmulo de massa seca superior aos tratamentos com fertilizantes granulados. Este menor crescimento das plantas nos tratamentos que receberam os granulados NK e NS provavelmente se deve ao fato destes produtos possuírem em sua composição altos teores de biureto, principalmente os tratamentos referentes aos granulados NK-9, NS-1 e NS-3 que foram significativamente inferiores aos fertilizantes pastilhados. Rai et al. (1956) e Wilkinson & Ohloghe (1960) estudando o efeito do biureto em plantas de feijão e milho, verificaram que o biureto adicionado ao solo retardou e em alguns casos inibiu o desenvolvimento das plantas.

Comparando o número de plantas perfilhadas no Argissolo, entre os fertilizantes granulados com altos teores de biureto e os respectivos fertilizantes pastilhados NK e NS, verificou-se que todos os fertilizantes pastilhados proporcionaram um perfilhamento superior

aos granulados, evidenciando efeito adverso do biureto no desenvolvimento das plantas de arroz, principalmente nos tratamentos com os granulados NK-3 e NS-3 que tiveram número de plantas perfilhadas significativamente inferior. Entretanto, para altura de plantas o biureto presente nos fertilizantes granulados não apresentou nenhum efeito, tanto no Planossolo quanto no Argissolo. Rottini (1956) estudando o efeito do biureto no crescimento de leguminosas verificou que este não possui efeito negativo quanto a este parâmetro estudado.

Tabela 28- Efeito do Biureto contido nos fertilizantes granulados sobre as características fenológicas da plantas de arroz após 40 dias do plantio no Planossolo e no Argissolo.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	Planossolo (arenoso)			Argissolo (argiloso)		
		Massa Seca gramas	Altura cm	Plantas Perfilhadas	Massa Seca gramas	Altura cm	Plantas Perfilhadas
NK-1	Gran	0,8667	19,65	2,00	1,1232	25,80	2,33
	Past	0,9702	24,98	3,33	1,7823	28,81	4,00
	CV%	13,73	17,92	15,31	44,78	16,66	40,77
NK-3	Gran	1,1060	30,08	3,66	1,6389	29,63	2,66 b
	Past	1,6573	27,53	4,33	2,1522	31,82	4,33 a
	CV%	23,50	20,73	28,92	10,44	16,00	16,50
NK-9	Gran	1,3273	23,11	3,00	1,2414 b	24,16	3,00
	Past	1,7823	30,00	4,33	2,3276 a	32,10	4,66
	CV%	19,66	24,98	40,14	35,87	39,48	33,68
NS-1	Gran	0,9726	22,43	2,00	1,3313 b	29,32	3,33
	Past	1,1281	21,06	2,67	2,1838 a	30,84	4,33
	CV%	15,00	31,90	17,50	15,41	13,00	35,32
NS-3	Gran	0,9806	22,60	2,33	1,3987 b	27,69	2,67 b
	Past	1,0818	24,63	3,67	1,9765 a	31,15	5,00 a
	CV%	7,32	6,64	30,43	5,71	9,70	10,65

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾ NK-1 Gran: 45,2% N e 7,0% biureto; NK-1 Past: 45,5% N e 0,63% biureto; NK-3Gran: 35,7% N, 17,2% K₂O e 3,3% biureto; NK-3 Past: 35,1% N, 17,5% K₂O e 0,48% biureto; NK-9 Gran: 26,0% N, 26,0% K₂O e 2,7% biureto; NK-9 Past: 26,2% N, 26,3% K₂O e 0,40% biureto; NS-1 Gran: 35,2% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-1 Past: 34,9% N, 9,2% S e 0,5% biureto; NS-3 Gran: 40,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-3 Past: 40,0% N, 4,5% S e 0,57% biureto. Onde Gran: Fertilizante Granulado; Past: Fertilizante Pastilhado.

Quanto aos teores dos nutrientes nos dois tipos de solos, 40 dias após aplicação dos fertilizantes nitrogenados (Tabela 29), verificou-se tanto para o Planossolo quanto para o Argissolo que o biureto contido nos fertilizantes granulados teve maior efeito somente para os teores de K_{total}, já que os tratamentos diferiram entre si (Tukey a 5% de probabilidade).

Em relação aos teores totais de K⁺ no Planossolo, os granulados NK e NS contendo biureto apresentaram teores semelhantes aos fertilizantes pastilhados. Nos tratamentos NK-3 e NK-9, com as maiores quantidades de K (65 e 120 kg ha⁻¹, respectivamente) os granulados proporcionaram maiores quantidades do nutriente, sendo superiores significativamente aos seus respectivos pastilhados. Assim, quando ocorre aplicação de K no solo, parece que o granulado contendo biureto ocasiona uma retenção do K em detrimento à forma pastilhada.

Ao contrário do ocorrido no Planossolo, cujos teores de K_{total} nos tratamentos com os granulados NK e NS foram superiores aos pastilhados, no Argissolo o efeito do biureto na concentração de K foi menor. Nesse solo, os tratamentos com fertilizantes pastilhados, principalmente NK-1 e NK-9, foram superiores significativamente aos respectivos granulados.

Tabela 29- Teores de nitrogênio (N_{total}), potássio (K_{total}), amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($NO_3^- + NO_2^-$) após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (gran) e pastilhados (past) em solos de diferentes texturas.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	-----Planossolo-----				-----Argissolo-----			
		N_{total} -----mg g ⁻¹ -----	K_{total}	NH_4^+ -----mg pote ⁻¹ -----	$NO_3^-+NO_2^-$	N_{total} -----mg g ⁻¹ -----	K_{total}	NH_4^+ -----mg pote ⁻¹ -----	$NO_3^-+NO_2^-$
NK-1	Gran	0,078	1,180	470,16	59,33	0,158	7,84 b	505,16	42,00
	Past	0,078	1,180	470,16	39,66	0,240	17,80 a	474,83	38,50
	CV%	39,32	0,021	4,29	31,64	32,96	27,29	6,52	12,29
NK-3	Gran	0,186	6,584 a	479,50	26,83	0,196	7,52	479,50	26,83
	Past	0,240	1,620 b	477,16	37,33	0,240	12,80	477,16	37,33
	CV%	33,60	13,10	6,32	31,49	33,60	26,84	6,32	31,49
NK-9	Gran	0,120	7,524 a	470,16	30,33	0,158	4,46 b	512,16	37,33
	Past	0,116	0,902 b	481,83	39,66	0,084	16,28 a	491,16	19,83
	CV%	33,75	28,09	4,24	41,63	39,41	13,92	10,14	33,15
NS-1	Gran	0,158	1,180	481,83	42,00	0,162	6,58	488,83	21,00
	Past	0,092	0,634	481,83	44,33	0,120	6,62	453,83	16,33
	CV%	33,39	37,67	4,19	31,70	44,89	0,06	4,77	31,80
NS-3	Gran	0,228	1,180	458,50	37,33	0,162	16,28	502,83	29,16
	Past	0,186	1,180	446,83	39,66	0,182	9,54	465,50	18,66
	CV%	39,28	0,04	3,15	10,49	32,96	16,49	3,59	34,34

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾NK-1 Gran: 45,2% N e 7,0% biureto; NK-1 Past: 45,5% N e 0,63% biureto; NK-3Gran: 35,7% N, 17,2% K₂O e 3,3% biureto; NK-3 Past: 35,1% N, 17,5% K₂O e 0,48% biureto; NK-9 Gran: 26,0% N, 26,0% K₂O e 2,7% biureto; NK-9 Past: 26,2% N, 26,3% K₂O e 0,40% biureto; NS-1 Gran: 35,2% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-1 Past: 34,9% N, 9,2% S e 0,5% biureto; NS-3 Gran: 40,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-3 Past: 40,0% N, 4,5% S e 0,57% biureto. Onde Gran: Fertilizante Granulado; Past: Fertilizante Pastilhado.

Avaliando o efeito do biureto contido nos fertilizantes granulados sobre os teores foliares das plantas de arroz nos diferentes tipos de solo (Tabela 30), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os conteúdos de NH_4^+ e NO_3^- e para a concentração de K no Planossolo. Para o Argissolo os tratamentos diferiram entre si somente para o conteúdo de NO_3^- e para a concentração foliar de K.

Quanto ao conteúdo foliar de NO_3^- no solo arenoso verificou-se que o biureto adicionado juntamente com os fertilizantes granulados apresentou um efeito marcante na absorção deste pelas plantas, uma vez que os tratamentos que receberam altas quantidades de biureto juntamente com os granulados resultaram em um acúmulo significativamente superior as suas respectivas formas pastilhadas dos fertilizantes. Da mesma forma ocorrendo para o Argissolo, onde os tratamentos que foram adicionados altas quantidades de biureto proporcionaram um aumento significativo no acúmulo de nitrato pelas plantas.

Entretanto não foram encontrados na literatura trabalhos que relacionassem o biureto adicionado ao solo com um aumento na absorção deste elemento pelas plantas. Esses maiores acúmulos NO_3^- nos tratamentos que receberam biureto, principalmente nas fases iniciais do crescimento das plantas, pode propiciar um maior estoque de N disponível para o metabolismo das plantas nas fases posteriores de seu ciclo de vida, uma vez que o nitrato é considerado a fonte de N mineral mais importante para o crescimento das plantas em solos bem aerados (Hirel et al, 2001; Souza et al, 1998). Dessa forma quando biureto é adicionado ao solo ele tende a aumentar a quantidade de N nas plantas, seja na forma de amônio quanto na forma de nitrato, segundo Rai et al (1956) aplicações de biureto no solo afeta os mecanismos metabólicos da plantas acarretando em um aumento da quantidade de N.

Avaliando o conteúdo de NH_4^+ nas plantas, verifica-se que houve diferença significativa entre os tratamentos somente no solo de textura mais arenosa, onde todos os tratamentos que foram adicionados altas quantidades de biureto em função da aplicação dos fertilizantes granulados apresentaram um maior acúmulo de amônio nas plantas. No entanto, o biureto apresentou um maior efeito na absorção de amônio quando acima de 5% nos fertilizantes granulados (NK-1 e NS-3) resultando em um conteúdo de amônio significativamente superior aos seus respectivos fertilizantes pastilhados. Esses maiores conteúdos podem ser em função do biureto proporcionar um aumento na quantidade de NH_4^+ no solo, uma vez que Sahrawat (1977) e Hadi et al (1980) encontraram que o biureto não afeta diretamente a hidrólise da uréia, mas que temporariamente inibiu a conversão de NH_4^+ para NO_2^- resultando assim em uma maior quantidade de amônio no solo e conseqüentemente em uma maior absorção deste elemento pelas plantas.

Quanto aos teores foliares de K^+ , os maiores teores foram encontrados nos tratamentos que receberam os fertilizantes granulados contendo biureto, assim o biureto exerce um efeito positivo na absorção deste elemento pelas plantas, confrontando resultados encontrados por Carles (1960), onde avaliando o efeito do biureto no crescimento de plantas de trigo, verificou um decréscimo nos teores foliares de K^+ em virtude do aumento na concentração de biureto adicionado junto com a uréia.

Tabela 30- Teores foliares de nitrogênio (N_{total}), potássio (K_{total}), amônio (NH_4^+) e nitrato + nitrito ($NO_3^- + NO_2^-$) após 40 dias da aplicação dos fertilizantes granulados (Gran) e pastilhados (Past) em solos de diferentes texturas.

Tratamento ⁽¹⁾	Forma	-----Planossolo-----					-----Argissolo-----				
		N_{total} -----mg g ⁻¹ -----	K_{total} -----mg g ⁻¹ -----	CN -----mg pote ⁻¹ -----	NH_4^+ -----mg pote ⁻¹ -----	NO_3^- -----mg pote ⁻¹ -----	N_{total} -----mg g ⁻¹ -----	K_{total} -----mg g ⁻¹ -----	CN -----mg pote ⁻¹ -----	NH_4^+ -----mg pote ⁻¹ -----	NO_3^- -----mg pote ⁻¹ -----
NK-1	Gran	29,93	5,26	26,10	616,34 a	434,01 a	21,53	5,26	21,85	471,60	709,43 a
	Past	32,17	4,35	31,15	351,98 b	152,28 b	22,54	4,35	39,12	370,93	56,73 b
	CV%	5,84	15,58	16,40	13,21	21,66	20,27	15,58	33,58	48,05	43,78
NK-3	Gran	25,34	86,92 a	40,90	700,21	607,71 a	25,34	86,92 a	40,90	700,21	607,71 a
	Past	17,05	40,27 b	36,37	541,67	92,45 b	17,05	40,27 b	36,37	541,67	92,45 b
	CV%	18,25	16,09	10,42	44,30	34,15	18,25	16,09	10,42	44,31	34,15
NK-9	Gran	22,09	157,25	28,46	489,16	430,25 a	26,23	157,25	27,83	312,22	117,90
	Past	18,28	119,71	32,50	461,61	93,96 b	16,49	119,71	38,34	437,38	78,93
	CV%	12,07	16,93	10,45	20,67	36,67	27,66	16,93	35,93	33,49	31,16
NS-1	Gran	32,17	272,92 a	31,41	465,08	94,74 b	28,25	9,33 a	35,60	452,40	31,55
	Past	33,29	150,62 b	37,38	373,21	187,39 a	17,05	4,87 b	37,23	422,95	48,41
	CV%	9,82	12,56	16,97	22,24	23,98	24,78	12,87	2,80	13,55	21,41
NS-3	Gran	31,05	6,11	30,40	534,57 a	603,26 a	22,65	6,11	31,48	255,39	457,23 a
	Past	32,73	3,00	35,39	365,93 b	163,09 b	17,16	3,00	34,00	491,72	49,22 b
	CV%	4,80	36,95	6,78	14,66	10,29	13,79	36,95	12,46	24,61	35,06

A ausência de letras indica que a variável não foi significativa no teste F a 5% de probabilidade, letras diferentes nas colunas indicam que os tratamentos diferiram pelo teste de Tukey. ⁽¹⁾NK-1 Gran: 45,2% N e 7,0% biureto; NK-1 Past: 45,5% N e 0,63% biureto; NK-3Gran: 35,7% N, 17,2% K₂O e 3,3% biureto; NK-3 Past: 35,1% N, 17,5% K₂O e 0,48% biureto; NK-9 Gran: 26,0% N, 26,0% K₂O e 2,7% biureto; NK-9 Past: 26,2% N, 26,3% K₂O e 0,40% biureto; NS-1 Gran: 35,2% N, 9,4% S e 4,3% biureto; NS-1 Past: 34,9% N, 9,2% S e 0,5% biureto; NS-3 Gran: 40,2% N, 4,7% S e 5,0% biureto; NS-3 Past: 40,0% N, 4,5% S e 0,57% biureto. Onde Gran: Fertilizante Granulado; Past: Fertilizante Pastilhado.

4.6 CONCLUSÕES

Quanto à forma dos fertilizantes, estes não tiveram efeito significativo no crescimento e desenvolvimento das plantas de arroz como também quanto ao fornecimento de nutrientes para as plantas, onde a forma pastilhada apresentou resultados semelhantes às formas peroladas dos fertilizantes comerciais Super N e Uréia Fertilizante, tanto nos solos de textura arenosa quanto na argilosa.

O potássio aplicado junto com os fertilizantes pastilhados apresentou um efeito positivo no acúmulo de massa seca no solo arenoso, evidenciando uma importância em uma adubação mais equilibrada entre uréia e cloreto de potássio, principalmente quando juntos no mesmo grânulo.

De maneira geral os fertilizantes pastilhados apresentaram respostas semelhantes aos fertilizantes comerciais quanto às características morfológicas e químicas nas plantas de arroz, sendo estes produtos pastilhados apropriados para fins agrícolas.

O biureto aplicado junto com os granulados retardou e até em concentrações maiores que 5% inibiu o crescimento e desenvolvimento das plantas de arroz.

O biureto não apresentou efeito marcante nos teores de nutrientes no solo quanto às formas de N, entretanto, a aplicação de biureto resultou em uma maior amonificação no solo, uma vez que os tratamentos que receberam biureto apresentaram maiores conteúdos de NH_4^+ .

O biureto influenciou em uma maior absorção de NH_4^+ e NO_3^- pelas plantas de arroz, principalmente no solo arenoso, o que pode ser em função do biureto aumentar a taxa de nitrificação e amonificação neste tipo de solo.

Para o solo argiloso o biureto adicionado junto com os fertilizantes granulados fez com que os teores foliares de N aumenta-se, provavelmente por este elemento conter um alto teor de nitrogênio, no entanto, quando a concentração de biureto foi superior a 5% houve um decréscimo nos teores foliares de N.

O biureto também apresentou um efeito positivo na absorção de K^+ , já que os tratamentos que receberam biureto apresentaram uma maior absorção deste elemento, principalmente no solo argiloso, o que pode ser em função das plantas terem absorvido amônio em menores quantidades, já que estes dois elementos são absorvidos de forma semelhante, por apresentarem a mesma carga positiva.

E quanto à caracterização química dos fertilizantes pastilhados estes podem ser registrados como fertilizantes nitrogenados, pois enquadram-se dentro da Legislação Vigente.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Em virtude dos altos teores de biureto encontrados nos granulados NK e NS estarem acima dos níveis permitidos pela Legislação Brasileira, estes não poderão ser utilizados para fins agrícolas. No entanto, o biureto quando associado ao sulfato de amônio influenciou em uma maior germinação, principalmente em concentrações maiores que 5%.

Quanto às características químicas os fertilizantes pastilhados podem ser registrados como fertilizantes nitrogenados, já que estes além de possuir teores de biureto bem abaixo do permitido, os seus teores de metais pesados encontram-se dentro do estipulado pela Legislação.

O biureto tanto nos granulados NK quanto nos NS retardou e em alguns casos inibiu o crescimento e desenvolvimento das plantas de arroz, sendo esse efeito maior no solo de textura arenosa.

Aplicação de biureto no solo aumentou o acúmulo de $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$, por afetar a nitrificação, principalmente quando aplicado em quantidades superiores a 12 kg ha^{-1} . Como também o biureto influenciou em uma maior absorção de NO_3^- pelas plantas, indicando que o biureto interfere nas taxas de nitrificação, aumentando também os teores de N nas plantas de arroz.

O biureto afetou direta ou indiretamente a amonificação no solo, pois aumentou os teores de NH_4^+ no solo acarretando maior absorção do nitrogênio pelas plantas.

A aplicação de biureto ocasionou maior absorção de K^+ pelas plantas de arroz, no entanto em concentrações maiores que 5% essa absorção foi diminuída.

Os fertilizantes pastilhados apresentaram resultados satisfatórios quanto ao crescimento das plantas, sendo semelhantes aos fertilizantes comerciais utilizados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação ao efeito do biureto contido nos granulados NK e NS, se fazem necessárias mais pesquisas sobre os benefícios e malefícios desta substância na absorção de nutrientes pelas plantas de arroz, principalmente quanto à absorção de NO_3^- e NH_4^+ , onde o biureto influenciou positivamente na maior absorção de N pelas plantas. Como também quanto à absorção de magnésio pelas plantas, uma vez que a deficiência deste elemento pode resultar em aumento da toxicidade causada pelo biureto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARF, O. Efeitos de densidades populacionais e adubação nitrogenada sobre o comportamento de cultivares de arroz irrigado por aspersão. 1993. 63p. Tese (Doutorado em Agronomia. Departamento de Agronomia. UNESP, Ilha Solteira -SP).
- BARBOSA FILHO, M.P. Adubação do arroz de sequeiro. *Informações Agropecuárias*, n.14, p. 32-38, 1991.
- BASTOS, C.R. IAC 202: Arroz de alta produtividade e qualidade para a cultura de sequeiro. In: BETTI, J.A.; PIZZINATO, M.A.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S. *O Agrônomo*, Campinas, n.52, v.1, p.24-25, 2000.
- BHARGAVA, B.S., GHOSH, A.B. Effect of biuret containing in urea on is nitrification in soil. *Indian Journal Agronomy*, n.2, p.76-77, 1976.
- BLAYLOCK, A. Novos fertilizantes nitrogenados: O futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada. *Informações Agronômicas (IPNI)*, n.120, p.8-10, 2007.
- BOARETTO, A.E.; MURUOKA, T.; TRIVELIN, P.C.O. Uso eficiente de nitrogênio nos fertilizantes convencionais. *Informações Agronômicas. IPNI*, v.120, p.13-14, 2007.
- BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F, G.; FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em plantio direto. *Bragantia*, n. 62, p. 235-241, 2003.
- BRAGE, B.L.; ZIEH, W.R.; FINE, L.O. The germination of small grains and corn as influenced by urea and other nitrogenous fertilizers. *Soil Science*, n. 24, p.294-296, 1960.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Instrução Normativa n.10, de 28 de outubro de 2004. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura. 2004. <http://www.agricultura.gov.br> (acessado em 18/07/2007).
- BRASIL. Ministério da Agricultura - Instrução Normativa n.28, de 27 de julho de 2007. Métodos físico-químicos e físicos oficiais de fertilizantes minerais, orgânicos e organo-minerais e corretivos. 2007. <http://www.agricultura.gov.br> (acessado em 18/07/2007).
- CANTARELLA, H. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados: Uso eficiente de nitrogênio em novos fertilizantes no Brasil. *Informações Agronômicas*, n.120, p.12-13, 2007.
- CARLES, J. Contribution a l'étude du mécanisme de l'intoxication des végétaux par le biuret. *Annales Physiology Vegetal*, n.2, v.1, p.5-18, 1960.
- COLLAMER, J.D.; GEARHART, M.; MONESMITH, F.L. Sulfato de Amônio. *Informações Agronômicas. IPNI*, n.10, p 7-8, 2007.

COSTA, A.C.S.; FERREIRA, J.C.; SEIDEL, E.P.; TORMENA, C.A.; PINTRO, J.C. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia em três solos Argilosos tratados com uréia. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.26, n.4, p.467-473, 2004.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, MG, p. 91-132, 2007.

DeFRANCES, J. A.; BELL, R. S.; ODLAND, T. E. Killing weed seeds in the grass seedbed by the use of fertilizers and chemicals. *Agronomy Journal*, v.39, p. 530-535, 1947.

DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D. L.; SANTOS, G. A.; CUNHA, L. H.; FREIRE, L. R.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PEREIRA, N. N. C.; EIRA, P. A.; BLOISE, R. M.; SALER, R. C. Manual de adubação para o estado do Rio de Janeiro. Itaguaí: Ed. Universidade Rural, Série Ciências Agrárias, n.2, 179p. 1988.

EHRENDORFER, K. Urea and ammonium sulphate for foliar spraying of winter wheat. A contribution to the problem of foliar fertilizing. *Bodenkultur*, n. 13, p. 163-172, 1962.

EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de Métodos de Análise de Solo. Rio de Janeiro. 1997. 212p.

FACRE, W.R. Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro. *Informações Agrônomicas*. IPNI, n.1, p.5-6, dezembro 2007.

FAGERIA, N.K. Adubação e calagem. In: VIEIRA, N.R.A.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E.P. A cultura do arroz no Brasil. Embrapa Arroz e Feijão, p.329-353, 1999.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G.; FORSANIERI FILHO, D.; BORDIN, L. Características agrônomicas de arroz de terras altas sob plantio direto e adubação nitrogenada e potássica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 28, p.447-454, 2004.

FORNASIERI FILHO, D.; FORNASIERI, J.L. Manual da cultura do arroz. Jaboticabal, FUNEP, 221p. 1993.

GASSER, J.K.R. Fertilizer Urea. *World Crops*, n. 16, v.3, p. 25-32, 1964

GRANSEE, A. Interação do K com amônio. Potáfos, *Informações Agrônomicas*. IPNI. n.107, pág 5, 2004.

HADI, A.H.; HAMISSA, M.R.; KHADR, M.S. Effect of biuret on the transformation of urea in two Egyptian soils. *Fertilizer Abstracts*, n.13, v.12, p.377, 1980.

HARRE, E.A.; BRIDGES, J.D. Importance of urea fertilizers. In: BOCK, B. R.; KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from urea fertilizers. *Tennessee Valley Authority Bulletin*, p.1-15, 1988.

HIREL, B.; BERTIN, P.; QUILLERÉ, I.; BOURDONCLE, W.; ATTAGNANT, C.; DELLAY, C.; GOUY, A.; CADIOU, S.; RETAILLIAU, C.; FALQUE, M.; GALLAIS, A.

Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiology*, v. 125, p. 1258-1270, 2001.

HUNTER, A.S.; ROSENAU, W.A. The effects of urea, biuret, and ammonia on germination and early growth of corn (*Zea mays* L.). *Soil Science*, n. 30, p. 77-81, 1996.

HUSAIN, S.M.; SHARMA, U.C. Response of rice to nitrogen fertilizer in acidic soil of Nagaland. *Journal Agric. Science*, v. 61, p. 662-664, 1993.

JAIN, N.K.; SINGH, V.; TRIPATHI, H.P. Effects of biuret content of urea in soil and foliar application on dwarf indica rice cultivar IR8. *Indian Journal of Soil Science*, v. 20, p. 287-292, 1972.

JAIN, N.K.; VERMA, A.S. Biuret content of urea. Effect on dwarf indica rice cultivar IR8 in foliar spray. *Indian Journal of Agriculture*, v. 8, p. 97-102, 1974.

JAMES, G.R., OOMEN, C.J. The biuret myth. *Journal Science Health*, n. 22, p. 93-104, 1987.

KAASENBROOD, P.J.C.; VAN DEN BERG, P.J.; REVALIER, U. Biuret formation in the manufacture of urea. *Journal Agric. Food Chemistry*, v. 11, p. 39-43, 1963.

KILMER, V.J.; ENGELSTAD, O.P. Crop response to biuret in urea. National Fertilizer Development Center, 57p. 1973.

KURZER, F. Biuret and related compounds. *Chemical Reviews*, n. 56, p. 95-197, 1956.

LAMMEL, J.; BRENTROP, F. Avaliação ambiental das práticas de manejo dos fertilizantes nitrogenados. *Informações Agronômicas*. IPNI, v.120, 11-12, dezembro 2007.

LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.S. Fertilizantes nitrogenados no Brasil: um problema de escassez. *Informações Agronômicas*. INPI, v.120, p.4-5, dezembro 2007.

MACHADO, E.C.; SILVEIRA, J.A.G.; BASTOS, C.R. Troca de CO₂, acúmulo de fitomassa e remobilização de reservas durante o crescimento de panículas de duas cultivares de arroz. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, n.2, v.21, p.63-70, 1990.

MALAVOLTA, E.; FORSANIERI FILHO, D. Nutrição mineral da cultura do arroz. In: *Cultura do arroz de sequeiro - fatores afetando a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p.95-140, 1983.

MAUAD, M.; CRUSCIOL, C.A.C.; GRASSI FILHO, H.; CORRÊA, J.C. Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. *Scientia Agricola*, v.60, p.761-765, 2003.

MELGAR, R.; CAMOZZI, M.E.; FIGUEROA, M.M. Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. Buenos Aires: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuária, p. 13-25, 1999.

MELO, F.A.F. Uréia fertilizante. Campinas: Fundação Cargill, 192p. 1987.

MIKKELSEN, R.L. Biuret in urea fertilizers. *Better Crops with Plant Food*, IPNI, n.3 v. 9, p.311-318, 2007.

MIKKELSEN, R.L. Biuret in urea fertilizer. *Fertilizer Research*, v. 26, p. 311–318, 1990.

MUURINEN, S. Breeding effects on nitrogen use efficiency of spring cereals under northern conditions. *Crop Science*, n.1, v.46, p. 561-568, 2006.

NEUBAUER, H., SCHENEIDER, W. Die Nährstoffaufnahme der Keimpflanzen und ihre Anwendung auf die Bestimmung des Nährstoffgehalts der Boden. *Zeitsch für Pflanzenernahrung und Dung*, n. 2, p. 329-362, 1923.

OGATA T. The injurious effect of biuret on plant growth. *Soil and Fertilizers*, n.26, p. 449-564, 1962.

RAI, G.S.; HAMMER, C.L.; COOK, R.L. Effect of biuret on bean plants grown in different soil types. *The Quartely Bulletin*, n.39, v.1, p.88-96, 1956.

RAIJ, B.V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres; Potafos, 343 p., 1991.

RAO, A.C.S. Considerations in estimating nitrogen recovery efficiency by the difference and isotopic dilution methods. *Fertilizer Research*, v. 33, p. 209-17, 1992.

RITCHIE, J.T.; NESMITH, D.S. Temperature and crop development. p. 5-30. In: HANKS, J.; RITCHIE, J.T. *Modeling plant and soil systems*. 545 p., 1991.

ROTINI, O. T. Urea, biureto I acido cianico nella fertilizzazione azotata dille culture agraria. *Anall della Facoltà di Agraria*, n. 17, p. 1-25, 1956.

SAHRAWAT, K.L. Mineralization of biureto nitrogen in soil. *Plant Soil*, n. 62, p. 469-471, 1977.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 370p. 1999.

SMIKA, D.E.; SMITH, F.W. Germination of wheat as affected by biureto contamination in urea. *Soil Science*, n. 84, p. 273-282, 1957.

STAROSTKA, R.W.; CLARK, K.G. Greenhouse evaluation and nitrification characteristics of biuret and urea-biuret mixtures. *Agric Chern*, n. 10, p. 49-50, 1995.

STONE, L.F.; SILVA, J.G. Resposta de arroz de sequeiro à profundidade de aração, adubação nitrogenada e condições hídricas do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, n. 33, p. 891-897, 1998.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A.; YOKOYAMA, L.P. Adubação nitrogenada em arroz sob irrigação suplementar por aspersão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34 p. 927-932, 1999.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p. 1995.

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

WEBSTER, G.C.; BERNER, R.A.; GANSA, A.N. The effect of biuret on protein synthesis in plants. Plant Physiology., v. 32, p. 60-61, 1957.

WILKINSON, S. R.; OHLROGGE, A. Influence of biuret and urea fertilizers containing biureto on corn plant growth and development. Journal Agronomy, n. 52, p. 560-562, 1960.

XUE, J.M., SANDS, R., CLINTON, P.W., PAYN, T.W., SKINNER, M.F. Priming effect of biuret addition on native soil N mineralization under laboratory conditions. Soil Biology & Biochemistry, v. 37, p. 1959-1961, 2005