

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Dinâmica do nitrogênio em função da adubação nitrogenada com ureia

Edson Pereira da Mota

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de
Plantas

Piracicaba
2017

Edson Pereira da Mota
Engenheiro Agrônomo

Dinâmica do nitrogênio em função da adubação nitrogenada com ureia

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **GODOFREDO CESAR VITTI**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Mota, Edson Pereira da

Dinâmica do nitrogênio em função da adubação nitrogenada com ureia /
Edson Pereira da Mota. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr
6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

134p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz".

1. Fertilizantes 2. Tecnologia agregada 3. Milho 4. Fracionamento
nitrogênio I. Título

Dedico,

A minha família,

Minha mãe Cecília Aparecida Pereira da Mota e meu pai Jário Couto da Mota os quais incansavelmente me dedico para recompensar todo amor, doação e esforço que me foram aplicados em minha formação. Sou apenas um fruto originado nessa árvore.

aos meus irmãos Caio César Pereira da Mota e ao não tão pequeno Giovanni Pereira da Mota, que o mundo se abra em oportunidades e caminhos para as novas gerações.

A minha esposa Luana Yoneda Coletti, que por quase uma década mostra que a felicidade nada mais é do que um quarto cheio de janelas que se abrem, uma após a outra, aumentando nossa visão da alegria. Agradeço por todos os momentos em que a tenho ao meu lado e, nos que não a tenho, a sinto. Um grande mestre me ensinou que a vida é momento, o meu momento começou em 24/11/2007 e perdurará enquanto eu puder ver o sorriso de Luana, digo apenas que vivo para poder abraça-la de novo...

Ofereço,

*A toda a sociedade e especialmente para aqueles que lutam para
tentar fazer desse mundo um lugar um pouco melhor.*

AGRADECIMENTOS

Um simples obrigado não seria possível para expressar o sentimento que levo a todos que, de alguma forma, com um simples gesto, uma palavra de apoio, um olhar, colocaram um degrau a mais na escada que encaramos a cada dia. Amo a todos os verdadeiros amigos sentindo-me honrado de ter dividido a companhia e amizade que me foram dados a cada dia desta empreitada.

Agradeço ao meu orientador e amigo, Professor Doutor Godofredo Cesar Vitti que, com seu grande coração, me inspirou a confiança de tomar minhas próprias decisões e seguir meu caminho.

Aos amigos de todo dia:

- Doutora e grande amiga Cintia Masuco Lopes, humilde e trabalhadora, digna de um futuro brilhante;
- Eterno Doutor Carlos Antônio Costa do Nascimento, sempre guiado pela fé e pela ciência;
- Doutor dos cultivos Eduardo Zavaschi, grande visionário da agricultura brasileira;
- Doutora (e professora) Letícia de Abreu Faria (Eva), onde coragem e esforço nunca faltam;
- A quase doutora Roberta Clemente Santin, pessoa que tive a honra de conhecer e o prazer de ter como eterna amiga;
- Doutora Fernanda Latanze Mendes Rodrigues, de bondade e humildade incomparáveis;
- Professora (sim professora) Silvia Helena Carvalho, pessoa fantástica e alegre que sempre está à disposição para ajudar o próximo;
- Doutora Priscila de Oliveira Martins com sua grande personalidade;
- Doutor Thiago Moura (Ba-t-ria), com certeza um homem a frente de seu tempo;
- Doutor Diego Willian do Vale que leva alegria por aonde passa;
- Ao professor Rafael Otto e seus orientados Thales, Greice, Acácio, Sarah, Rafaela, Lilian, Saulo, Camilo pela amizade do dia a dia;
- A empresa Produquímica Indústria e Comércio S.A pelo apoio técnico, especialmente na pessoa do mestre Fábio Scudeler, pessoa de caráter que tornou este trabalho possível;
- A Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos no Brasil e nos Estados Unidos da América, muito obrigado;
- Ao Professor Doutor Richard L. Mulvaney e sua orientada Kelsey Luella Griesheim pelo acolhimento e ajuda durante meu estágio na Universidade de Illinois em Urbana Champaign;
- Aos Professores Dr. Marcos Yassuo Kamogawa e Dra. Sônia Maria de Stefano Piedade, do Departamento de Ciências Exatas (ESALQ/USP) por toda ajuda e disponibilidade;
- A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, ao Departamento de Ciência do Solo e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade concedida;
- A minha segunda família: Miwaco Yoneda, André Coletti, André Yuji Yoneda Coletti e sua futura esposa Gisele, Argos Yoneda Coletti e sua futura esposa Anna Carolina;
- A Coordenadora do Grupo de Apoio à Pesquisa e Extensão, Bianca de Almeida Machado, muito ainda está reservado para ela;
- Meu tios e grandes amigos Wagner e Couto pela solidariedade e amizade;

Faltam palavras, mas não sentimentos para dizer

Muito obrigado...

*“UM PROBLEMA NUNCA É TÃO GRANDE
QUE NÃO POSSA SER SUPERADO COM ALEGRIA,
SE CAIR, LEVANTE
LEVANTAR-SE NADA MAIS É QUE SORRIR FRENTE A ADVERSIDADE”.*

(EDSON PEREIRA DA MOTA)

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	15
1. INTRODUÇÃO	17
REFERÊNCIAS	23
2. FRAÇÕES DE NITROGÊNIO PROVENIENTES DE UREIA COM TECNOLOGIA AGREGADA, EM SOLO COM E SEM PALHADA	27
RESUMO	27
ABSTRACT	27
3. INTRODUÇÃO	29
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	31
4.2. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	31
4.2.1. <i>Delineamento e tratamentos utilizados</i>	31
4.2.2. <i>Análise nitrogênio volatilizado (N-NH₃)</i>	32
4.2.3. <i>Análise das frações de N-mineral no solo (N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, N-ureia)</i>	36
4.2.3.1. Preparo dos extratos de solo	37
4.2.3.2. Análise de N-NH ₄ ⁺	38
4.2.3.3. Análise de N-NO ₃ ⁻ e N-NO ₂ ⁻	39
4.2.3.4. Análise de N-ureia	40
4.2.4. <i>Análise da fração do N-orgânico no solo (total)</i>	41
4.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	59
7. LIBERAÇÃO DE UREIA RECOBERTA COM POLÍMERO	63
RESUMO	63
ABSTRACT	63
8. INTRODUÇÃO	65
9. MATERIAIS E MÉTODOS	69
9.1. ÁREA EXPERIMENTAL	69
9.2. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	69
9.3. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	70
9.3.1. <i>Polímero utilizado</i>	70
9.3.2. <i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	70
9.3.3. <i>Análise da curva de liberação</i>	73
9.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA	75
10. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
11. CONCLUSÃO	89
REFERÊNCIAS	91
12. PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO SOB ADUBAÇÃO COM UREIA RECOBERTA COM POLÍMEROS E ENXOFRE	95

RESUMO	95
ABSTRACT	95
13. INTRODUÇÃO	97
14. MATERIAIS E MÉTODOS	101
14.1. ÁREA EXPERIMENTAL	101
14.2. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	101
14.3. INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	102
14.3.1. <i>Correção do solo</i>	102
14.3.2. <i>Adubação de nivelamento da área</i>	103
14.3.3. <i>Híbrido utilizado</i>	103
14.3.4. <i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	104
14.3.5. <i>Avaliações</i>	106
14.3.5.1. Aspectos biométricos	106
14.3.5.2. Produtividade e massa de 1000 grãos	107
14.3.5.3. Avaliação do estado nutricional e concentração de N foliar	107
14.3.5.4. Análise qualitativa dos grãos	109
14.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	109
14.5. ANÁLISE ECONÔMICA	109
15. RESULTADOS E DISCUSSÃO	111
15.1. ASPECTOS BIOMÉTRICOS	111
15.2. AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL	113
15.3. MASSA DE 1000 GRÃOS E PRODUTIVIDADE	116
15.4. QUALIDADE DOS GRÃOS.....	118
15.5. RESUMO DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS	121
15.6. ANÁLISE ECONÔMICA	123
16. CONCLUSÃO	127
REFERÊNCIAS	129

RESUMO

Dinâmica do nitrogênio em função da adubação nitrogenada com ureia

O nitrogênio é um dos nutrientes mais importante para o desenvolvimento vegetal e o mais aplicado em diversos cultivos agrícolas. Dentre as fontes nitrogenadas disponíveis, a ureia se destaca pela alta concentração de nitrogênio que remete a diversas vantagens econômicas e operacionais no sistema de produção agrícola. Porém, além da alta propensão a perdas, principalmente por volatilização do gás amônia, tem-se a necessidade do aumento da produtividade de modo ao suprimento da demanda crescente de alimentos, fibras e energia. Considerando estes fatores, uma nova vertente de pesquisa está voltada a aplicação de tecnologias à ureia, os fertilizantes com tecnologia agregada, estes vêm se destacando e disponibilizando alternativas de novos produtos no mercado. Com base no exposto, buscou-se elucidar os seguintes questionamentos: As novas tecnologias aplicadas a ureia possibilitam a redução de perdas por volatilização? As novas tecnologias aplicadas a ureia modificam suas transformações inorgânicas e orgânicas no solo e, em caso de modificação, estas são positivas? O uso de tecnologias aplicadas à ureia reflete em maior longevidade na liberação do nutriente ao solo e, em caso positivo, esta longevidade é vantajosa? A combinação entre produtos de ureia convencional e com tecnologia agregada, pode trazer mais benefícios à cultura do milho do que a aplicação destes isoladamente? A substituição do uso/aplicação da ureia em sua forma tradicional pela ureia com tecnologia agregada, na cultura do milho, é viável economicamente ao produtor? Para responder a estes questionamentos, foram conduzidos três experimentos: análise das frações do nitrogênio provenientes da ureia com inibidores de urease; caracterização da dinâmica de liberação e longevidade de fertilizantes recobertos com polímero e enxofre e; análise da produtividade da cultura do milho submetida a adubação com ureia recoberta com polímero e enxofre. O primeiro experimento permitiu concluir que o uso dos inibidores de urease tem potencial para a redução das perdas por volatilização da amônia, foi possível verificar as transformações sofridas pelo nitrogênio desde a aplicação do grânulo até a disponibilidade das formas minerais, passando a incorporação do nutriente na matéria orgânica. No segundo experimento concluiu-se que os fertilizantes recobertos com polímero e enxofre possuem dinâmica exponencial de liberação, o recobrimento é dependente da temperatura, umidade do solo, tipo de material de recobrimento e processo de recobrimento (espessura), que afetam diretamente a liberação e longevidade destes fertilizantes. O último experimento mostrou que uso dos fertilizantes recobertos com polímero e enxofre aumenta a produtividade, os parâmetros biométricos, os parâmetros nutricionais e a qualidade do grão da cultura do milho. As combinações realizadas entre os produtos recobertos com a ureia convencional são alternativas para o aumento da produtividade resultando em valores superiores a aplicação dos insumos de forma isolada. A combinação de produtos recobertos com a ureia convencional é opção para a redução do investimento e, conseqüentemente, custo de produção resultante da adoção destas novas tecnologias.

Palavras-chave: Frações de nitrogênio; Liberação lenta; Liberação controlada; Milho

ABSTRACT

Nitrogen Dynamics from nitrogen fertilization with urea

Nitrogen is one of the most important nutrient for plant development and the most applied nutrient in several agricultural crops. Among the available nitrogen sources, urea differ due to the high concentration of nitrogen that result to several economic and operational advantages in the agricultural production system. However, in addition to the high propensity for losses, mainly due to the ammonia volatilization, the need to increase yield in order to supply the growing demand for food, fiber and energy emerge. Considering these factors, a new research area is focused to aggregate technologies to the urea, they call fertilizers with aggregate technology, this type of fertilizers emerges and brings new alternatives about new products available in the market. Based on the above, it was tried to answer the following questions: Does the new technologies applied to urea fertilizer enable the reduction of losses by volatilization? The new technologies applied to urea modify their inorganic and organic transformations in the soil and, if modified, are these positive? Does the use of technologies applied to urea reflect in a longer longevity in the release of the nutrient to the soil and, if so, is this longevity advantageous? Can the combination of conventional urea and aggregate technology products brings more benefits to cons than the application of these alone? Is the substitution of urea in its traditional form by urea with aggregate technology in the maize crop economically viable to the producer? In order to answer these questions, three experiments were conducted: analysis of nitrogen fractions from urea and urea mixed with inhibitors; Dynamics of release and longevity of polymer sulfur-coated fertilizers; Analysis of maize yield submitted to fertilization with polymer and sulfur coated urea. The first experiment allowed concluding that the use of the urea inhibitors has potential to reduce losses by ammonia volatilization, it was possible to verify all the changes undergone by the nitrogen fertilization since the granule until the availability of the mineral forms, including the immobilization of the nutrient in organic matter. In the second experiment, it was concluded that the polymer and sulfur coated fertilizers have exponential dynamics of release, the coating depends on the temperature, soil moisture, type of coating material and coating process (thickness), which directly affects the release and longevity of these fertilizers. The last experiment showed that the use of the coated fertilizers with polymer and sulfur increases the yield, the biometric parameters, the leaf concentration and the quality of grain to the maize crop. The combinations performed between the coated products with conventional urea are alternatives for increasing the yield resulting in higher application values of the inputs in an isolated way. Combinations of coated products with conventional urea is an alternative to reduce investment and consequently the production costs, it will result the adoption of these new technologies.

Keywords: Fractions of nitrogen; Slow release; Controlled release; Maize

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. PREPARAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS PARA O EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE; A=GARRAFA PLÁSTICA UTILIZADA PARA UNIDADE AMOSTRAL; B=PESAGEM DO SOLO PARA A UNIDADE AMOSTRAL; C=EQUIPAMENTO PARA ADIÇÃO DE H₂O DI À UNIDADE AMOSTRAL; D=PESAGEM DA PALHA PARA A UNIDADE AMOSTRAL; E=EQUIPAMENTO PARA ADIÇÃO DE ÁGUA E VOLUME ADICIONADO; F=DETALHE DA ADIÇÃO DE ÁGUA NA UNIDADE EXPERIMENTAL; G E H=ALOCAÇÃO DO GRÂNULO DE UREIA NAS UNIDADES AMOSTRAIS COM AUSÊNCIA E PRESENÇA DE PALHA DE MILHO 33**
- FIGURA 2. PREPARAÇÃO DAS UNIDADES AMOSTRAIS E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE; A=ADIÇÃO DE SOLUÇÃO ÁCIDA À TAMPA ADAPTADA; B=TUBO DE AERAÇÃO DA UNIDADE AMOSTRAL; C=CONTAINER DE ALOCAÇÃO DAS AMOSTRAS; D=AMOSTRAS EM PRATELEIRAS NO INTERIOR DO CONTAINER; E=DETALHE GALÃO DE ÁGUA PARA UMEDECIMENTO DO AR; F=COBERTURA PLÁSTICA PERFURADA PARA COBERTURA DO CONTAINER; G=TAMPA PARA SELAMENTO DO CONTAINER 34**
- FIGURA 3. VISTA LATERAL ESQUEMÁTICA DO CONTAINER CONTENDO AS UNIDADES AMOSTRAIS DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE 34**
- FIGURA 4. MODELO ESQUEMÁTICO DE MONTAGEM DO “MASON JAR” UTILIZADO NAS ANÁLISES DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE 35**
- FIGURA 5. PREPARAÇÃO DE FRASCOS PARA PROCESSO DE DIFUSÃO, COM POSTERIOR ANÁLISE, DO NITROGÊNIO VOLATILIZADO DA UNIDADES AMOSTRAIS DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE; A= FRASCO “MASON JAR” UTILIZADO PARA PROCESSO DE DIFUSÃO; B= COLOCAÇÃO DE TUDO DE VIDRO COM NAOH (2 M) NO INTERIOR DO FRASCO; C=DETALHE DO TUDO DE VIDRO IMERSO NA AMOSTRA PIPETADA NO “MASON JAR”; D=FRASCO FECHADO (E SELADO) COM TAMPA ADAPTADA CONTENDO PLACA DE PETRI COM SOLUÇÃO ÁCIDA; E=CHAPA AQUECEDORA UTILIZADA PARA PROCESSO DE DIFUSÃO; F=TITULADOR AUTOMÁTICO 36**
- FIGURA 6. PREPARO DOS EXTRATOS DE SOLO DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE; A=SOLUÇÃO DE KCL PMA PARA EXTRAÇÃO DO N-MINERAL DO SOLO; B=SOLUÇÃO DE K₂SO₄ (0,5 M); C=REFRIGERADOR PARA ACONDICIONAMENTO DAS AMOSTRAS; D=RESÍDUO DE SOLO DO EXTRATO FILTRADO; E=CONJUNTO DE FILTRAGEM E EXTRATOS DE SOLO SOB REPOUSO PARA DECANTAÇÃO; F=DETALHE DO ACOPLAMENTO DOS FRASCOS DE COLETA DO EXTRATO FILTRADO; G=EXTRATO DE SOLO PRONTO 37**
- FIGURA 7. PROCEDIMENTOS DE DIFUSÃO PARA AS ANÁLISES DE N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻ DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE; A=EXTRATO DE SOLO; B=AMOSTRA PIPETADA EM FRASCO “MASON JAR”; C=REAGENTE BÁSICO UTILIZADO (MGO); D=ADIÇÃO DE MGO À AMOSTRA PIPETADA EM FRASCO “MASON JAR”; E=LIGA DE DEVARDA; F=APLICAÇÃO DA LIGA DE DEVARDA A AMOSTRA PIPETADA; G=APLICAÇÃO DE ÁCIDO SULFÂMICO A AMOSTRA PIPETADA; H=ADIÇÃO DE ÁGUA DEIONIZADA À AMOSTRA DIFUNDIDA; I=CHAPA AQUECEDORA PARA DIFUSÃO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DAS AMOSTRAS DO EXTRATO DE SOLO; J=TITULADOR AUTOMÁTICO 39**
- FIGURA 8. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DE N-UREIA DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE; A=EXTRATO DE SOLO; B=PIPETAGEM DA ALÍQUOTA DO EXTRATO DO SOLO; C, D, E, F PREPARAÇÃO E APLICAÇÃO DO REAGENTE DE COR; G=BANHO MARIA; H=DETALHE DO BANHO MARIA - HÉLICE DE AGITAÇÃO PARA MANUTENÇÃO DA HOMOGENEIDADE TÉRMICA; I=CUBETA DO COLORÍMETRO;**

J=EQIPAMENTO COLORIMÉTRICO PARA LEITURA DAS ABSORBÂNCIAS DAS AMOSTRAS	41
FIGURA 9. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DO NITROGÊNIO ORGÂNICO PROVENIENTE DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE; A=AMOSTRA DO RESÍDUO DE SOLO SECO; B=MOAGEM DA AMOSTRA EM MORTAR; C=TRANSFERÊNCIA E ACONDICIONAMENTO DA AMOSTRA MOÍDA; D=CAPELA DE EXAUSTÃO E PROGRAMADOR DO BLOCO DIGESTOR; E=BLOCO DIGESTOR PARA 40 TUBOS; F=HIDRÓXIDO DE SÓDIO UTILIZADO PARA NEUTRALIZAÇÃO DAS AMOSTRAS Digeridas; G=NEUTRALIZAÇÃO DO EXTRATO Digerido; H=AGITAÇÃO E FECHAMENTO DOS FRASCOS; I=EVOLUÇÃO DA NEUTRALIZAÇÃO DOS EXTRATOS DAS AMOSTRAS Digeridas – FRASCOS A ESQUERDA POSSUEM MAIOR TEMPO DE NEUTRALIZAÇÃO.....	42
FIGURA 10. PERFIS DE VOLATILIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS, EM RELAÇÃO A PRESENÇA DE PALHA, DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE; U=UREIA; B=ÁCIDO BÓRICO (H_3BO_3); CU=SULFATO DE COBRE ($CUSO_4$); S=APLICAÇÃO DO INIBIDOR NA SUPERFÍCIE DO GRÂNULO; I=APLICAÇÃO DO INIBIDOR INCORPORADO NA ESTRUTURA DO GRÂNULO.....	46
FIGURA 11. COMPARAÇÃO DOS PERFIS DE VOLATILIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE; U=UREIA; B=ÁCIDO BÓRICO (H_3BO_3); CU=SULFATO DE COBRE ($CUSO_4$); S=APLICAÇÃO DO INIBIDOR NA SUPERFÍCIE DO GRÂNULO; I=APLICAÇÃO DO INIBIDOR INCORPORADO NA ESTRUTURA DO GRÂNULO	47
FIGURA 12. ANÁLISE DE REGRESSÃO, EM RELAÇÃO A AUSÊNCIA DE PALHA, DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE; U=UREIA; B=ÁCIDO BÓRICO (H_3BO_3); CU=SULFATO DE COBRE ($CUSO_4$); S=APLICAÇÃO DO INIBIDOR NA SUPERFÍCIE DO GRÂNULO; I=APLICAÇÃO DO INIBIDOR INCORPORADO NA ESTRUTURA DO GRÂNULO.....	48
FIGURA 13. ANÁLISE DE REGRESSÃO, EM RELAÇÃO A PRESENÇA DE PALHA, DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE; U=UREIA; B=ÁCIDO BÓRICO (H_3BO_3); CU=SULFATO DE COBRE ($CUSO_4$); S=APLICAÇÃO DO INIBIDOR NA SUPERFÍCIE DO GRÂNULO; I=APLICAÇÃO DO INIBIDOR INCORPORADO NA ESTRUTURA DO GRÂNULO.....	49
FIGURA 14. COMPARAÇÃO DOS PERFIS DE VOLATILIZAÇÃO ACUMULADA DOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE; U=UREIA; B=ÁCIDO BÓRICO (H_3BO_3); CU=SULFATO DE COBRE ($CUSO_4$); S=APLICAÇÃO DO INIBIDOR NA SUPERFÍCIE DO GRÂNULO; I=APLICAÇÃO DO INIBIDOR INCORPORADO NA ESTRUTURA DO GRÂNULO	53
FIGURA 15. DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DE NITROGÊNIO, EM AUSÊNCIA DE PALHA, DOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE; U=UREIA; B=ÁCIDO BÓRICO (H_3BO_3); CU=SULFATO DE COBRE ($CUSO_4$); S=APLICAÇÃO DO INIBIDOR NA SUPERFÍCIE DO GRÂNULO; I=APLICAÇÃO DO INIBIDOR INCORPORADO NA ESTRUTURA DO GRÂNULO	54
FIGURA 16. DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DE NITROGÊNIO, EM PRESENÇA DE PALHA, DOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE; U=UREIA; B=ÁCIDO BÓRICO (H_3BO_3); CU=SULFATO DE COBRE ($CUSO_4$); S=APLICAÇÃO DO INIBIDOR NA SUPERFÍCIE DO GRÂNULO; I=APLICAÇÃO DO INIBIDOR INCORPORADO NA ESTRUTURA DO GRÂNULO	55
FIGURA 17. LOCAIS DE INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO DA UREIA RECOBERTA; A=EXPERIMENTO DE CAMPO NO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS - SP; B=CASA DE VEGETAÇÃO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PIRACICABA – SP; C=DETALHE INTERIOR DA CASA DE VEGETAÇÃO	69
FIGURA 18. LOCAL E FORMA DE APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO DOS FERTILIZANTES; A=APLICAÇÃO AS BOLSAS POROSAS NO CAMPO; B=APLICAÇÃO DAS BOLSAS POROSAS NA CASA DE VEGETAÇÃO; C=ORGANIZAÇÃO DOS BLOCOS DO EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO NO CAMPO; D=MANUTENÇÃO DA UMIDADE EM CASA DE VEGETAÇÃO.....	72

FIGURA 19. PREPARO DAS AMOSTRAS PROVENIENTES DO EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO DOS FERTILIZANTES NITROGENADOS; A=AMOSTRAS DESCONGELADAS ACONDICIONADAS EM SACOS PLÁSTICOS; B=ABERTURA DAS BOLSAS POROSAS; C=RETIRADA DOS GRÂNULOS DA BOLSA POROSA PARA DESINTEGRAÇÃO; D=ADIÇÃO DE H₂O DEIONIZADA PARA DESINTEGRAÇÃO EM MEIO AQUOSO; E=DETALHE GRÂNULOS ANTERIOR A DESINTEGRAÇÃO; F=MESA DE FILTRAGEM E AMOSTRAS PRONTAS PARA DESINTEGRAÇÃO; G=PROCESSO DE DESINTEGRAÇÃO; H=FINALIZAÇÃO DA DESINTEGRAÇÃO; I=DETALHE DA AMOSTRA DESINTEGRADA E MATERIAL RESIDUAL DAS CÁPSULAS DE RECOBRIMENTO; J=PROCESSO DE FILTRAGEM DA AMOSTRA; K=MATERIAL RESIDUAL DA FILTRAGEM; L=LAVAGEM DO FILTRO PARA SOLUBILIZAÇÃO DE SOLUÇÃO RESIDUAL; M=MATERIAL PREPARADO E ACONDICIONADO EM TUBOS FALCON (50ML).....	73
FIGURA 20. PROCEDIMENTOS DE DIGESTÃO DAS AMOSTRAS; A=AQUISIÇÃO DE ALÍQUOTA DE 0,5 ML DA AMOSTRA; B=TRANSFERÊNCIA PARA TUBO DE DIGESTÃO; C=ADIÇÃO DE LIGA DE RANEY; D=ADIÇÃO DE H₂O DEIONIZADA; E=ADIÇÃO DE H₂SO₄ CONCENTRADO (18M); F=PROCEDIMENTO DE DIGESTÃO; G=EXTRATO FINAL DIGERIDO; H=ADIÇÃO DE H₂O DEIONIZADA; I=TRANSFERÊNCIA PARA TUDO FALCON (50 ML); J=VOLUME FINAL E ARMAZENAMENTO DO EXTRATO	74
FIGURA 21. EQUIPAMENTO DE LEITURA DE INJEÇÃO EM FLUXO – FIA.....	75
FIGURA 22. CURVAS DE LIBERAÇÃO DE N NOS TRATAMENTOS ISOLADOS E COMBINAÇÕES 2 A 2; *=INVERSÃO DAS PROPORÇÕES DOS FERTILIZANTES NITROGENADOS UTILIZADOS NOS TRATAMENTOS.....	78
FIGURA 23. CURVAS DE LIBERAÇÃO DOS TRATAMENTOS COMBINADOS 3 A 3; *=INVERSÃO NAS PROPORÇÕES DOS FERTILIZANTES UTILIZADOS NOS TRATAMENTOS	80
FIGURA 24. COMPARATIVO DAS CURVAS DE LIBERAÇÃO DE N NOS TRATAMENTOS CONDUZIDOS EM CONDIÇÕES DE CASA DE VEGETAÇÃO	81
FIGURA 25. COMPARATIVO DAS CURVAS DE LIBERAÇÃO DE N NOS TRATAMENTOS CONDUZIDOS EM CONDIÇÕES DE CAMPO	82
FIGURA 26. LINEARIZAÇÃO E COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE LIBERAÇÃO DE N, DOS TRATAMENTOS ISOLADOS E EM COMBINAÇÕES 2 A 2, EM EXPERIMENTOS CONDUZIDOS EM CAMPO E CASA DE VEGETAÇÃO (CV)	85
FIGURA 27. LINEARIZAÇÃO E COMPARAÇÃO DAS CURVAS DE LIBERAÇÃO DE N, DOS TRATAMENTOS COMBINADOS 3 A 3, EM EXPERIMENTOS CONDUZIDOS EM CAMPO E CASA DE VEGETAÇÃO (CV)	86
FIGURA 28. DADOS DE TEMPERATURA E PLUVIOSIDADE DA REGIÃO DE LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE PRODUTIVIDADE DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE, NO PERÍODO DO EXPERIMENTO	101
FIGURA 29. ÁREA DE REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE PRODUTIVIDADE DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE; A=INDICAÇÃO DA ÁREA UTILIZADA E DISPOSIÇÃO DO EXPERIMENTO; B=TRINCHEIRA PARA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	102
FIGURA 30. PREPARO DO SOLO DA ÁREA DO EXPERIMENTO DE PRODUTIVIDADE DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE; A=ARAÇÃO; B=DETALHE DO FUNCIONAMENTO DO ARADO; C=APLICAÇÃO DA CAL HIDRATADA; D=ÁREA PRONTA PARA INCORPORAÇÃO DO CORRETIVO; E=ESTAQUEAMENTO E ÁREA PRONTA PARA INSTALAÇÃO	103
FIGURA 31. ÁREA TOTAL E ÁREA ÚTIL DA PARCELA DO EXPERIMENTO DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE	105
FIGURA 32. PLANTIO E APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE; A=LINHAS DE SEMEADURA; B=COLOCAÇÃO DA SEMENTE; C=HOMOGENEIZAÇÃO FINAL DOS TRATAMENTOS; D=APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS; E=DETALHE TRATAMENTO APLICADO AO SOLO.....	106

FIGURA 33. MEDIDAS BIOMÉTRICAS REALIZADAS NAS PLANTAS NO EXPERIMENTO DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE; A=MEDIDA DO DIÂMETRO DO COLMO; B=MEDIDA DA ALTURA DE INSERÇÃO DA ESPIGA 107

FIGURA 34. METODOLOGIA DE DIGESTÃO DO MATERIAL VEGETAL DO EXPERIMENTO DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE, EM MICRO-ONDAS; A=PESAGEM DAS AMOSTRAS; B=TRANSFERÊNCIA PARA TUBOS DE TEFLON; C=TUBOS COM MATERIAL PRÉ-DIGERIDOS PRONTOS PARA AQUECIMENTO; D=APARELHO DE MICRO-ONDAS; E=FILTRAGEM DOS EXTRATOS; F=ESPECTRÔMETRO DE EMISSÃO ÓPTICA (ICP-OES) 108

FIGURA 35. METODOLOGIA DE ANÁLISE DE NITROGÊNIO FOLIAR DO EXPERIMENTO DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE; A=MATERIAL VEGETAL EM TUBO DE DIGESTÃO DE 70 ML; B=MISTURA DIGESTORA; C=TUBO PREPARADO PARA AQUECIMENTO; D=BLOCOS DIGESTORES; E,F,G=FASES DA DIGESTÃO; H=RESULTADO DIGESTÃO; I=EQIPAMENTO DE INJEÇÃO EM FLUXO (FIA) 109

FIGURA 36. RETORNO ECONÔMICO GERADO PELA INSERÇÃO DOS TRATAMENTOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO DE CULTIVO DE MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA 126

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. FONTES DE FERTILIZANTES AVALIADAS NO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DE NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E COM INIBIDORES DE UREASE	32
TABELA 2. ALÍQUOTAS PIPETADAS PARA ANÁLISE DO NITROGÊNIO MINERAL CONTIDO NOS EXTRATOS DE SOLO DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE	38
TABELA 3. RESULTADOS DA ANÁLISE DE CONTRASTE ENTRE OS GRUPOS COM E SEM PRESENÇA DE PALHA DO EXPERIMENTO DE FRACIONAMENTO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E, COM INIBIDORES DE UREASE	46
TABELA 4. TRATAMENTOS, QUANTIDADES E PROPORÇÕES DAS DOSES DE NITROGÊNIO UTILIZADOS NO EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO DA UREIA, UREIA RECOBERTA E COMBINAÇÕES ENTRE OS FERTILIZANTES	71
TABELA 5. NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS E DE OBSERVAÇÃO DO EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO OU LONGEVIDADE CONDUZIDOS EM CASA DE VEGETAÇÃO E NO CAMPO	71
TABELA 6. COLETAS EXPERIMENTO DE LIBERAÇÃO DOS FERTILIZANTES NITROGENADOS EM CASA DE VEGETAÇÃO E EM CAMPO	72
TABELA 7. FAIXA DE DIAS PARA LIBERAÇÃO DE 100% DO N CONTIDO NOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE DINÂMICA DE LIBERAÇÃO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA POR POLÍMERO E ENXOFRE POR METODOLOGIA DE VELOCIDADE MÉDIA.....	83
TABELA 8. ESTIMATIVA DA LONGEVIDADE DOS TRATAMENTOS OBTIDOS POR LINEARIZAÇÃO DAS CURVAS EXPONENCIAIS DE LIBERAÇÃO DE N DO EXPERIMENTO DE DINÂMICA DE LIBERAÇÃO DO NITROGÊNIO PROVENIENTE DA UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE, CONDUZIDOS EM CASA DE VEGETAÇÃO E EM CAMPO.....	87
TABELA 9. TRATAMENTOS, QUANTIDADES E PROPORÇÕES DAS COMBINAÇÕES UTILIZADAS NO EXPERIMENTO DE PRODUTIVIDADE DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA COM POLÍMERO E ENXOFRE.....	105
TABELA 10. RESULTADOS DA ALTURA DE INSERÇÃO DE ESPIGA DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	112
TABELA 11. RESULTADOS DO DIÂMETRO DOS COLMOS DAS PLANTAS DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	113
TABELA 12. RESULTADOS DE MACRONUTRIENTES DAS PLANTAS DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	114
TABELA 13. RESULTADOS DE MICRONUTRIENTES DAS PLANTAS DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	114
TABELA 14. RESULTADOS DA CONCENTRAÇÃO DE N FOLIAR DAS PLANTAS DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	115
TABELA 15. RESULTADOS DA MASSA DE 1000 GRÃOS DAS PLANTAS DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	116
TABELA 16. RESULTADO DE PRODUTIVIDADE DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA.....	117
TABELA 17. RESULTADOS DE N NO GRÃO DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA.....	119
TABELA 18. RESULTADOS DE N PROTEICO NOS GRÃOS DO CULTIVO DE MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	120

TABELA 19. RESULTADOS DE CONCENTRAÇÃO DE MACRO E MICRONUTRIENTES NOS GRÃOS DAS PLANTAS DO CULTIVO DO MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	121
TABELA 20. RESUMO RESULTADOS ESTATÍSTICOS DE TODAS AS AVALIAÇÕES DO EXPERIMENTO DE CULTIVO DE MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	122
TABELA 21. CUSTOS DE PRODUÇÃO (EXCLUINDO CUSTO DOM UREIA) DO CULTIVO DE MILHO PARA ANÁLISE ECONÔMICA DA INSERÇÃO DOS TRATAMENTOS COM UREIA CONVENCIONAL, RECOBERTA E COMBINAÇÕES ENTRE PRODUTOS	124
TABELA 22. ORÇAMENTAÇÃO RESULTANTE DA APLICAÇÃO DOS TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE CULTIVO DE MILHO SUBMETIDO A ADUBAÇÃO COM UREIA CONVENCIONAL E RECOBERTA	125

.

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é um dos elementos mais difundidos na natureza sendo importante para a manutenção da vida em nosso planeta. Sua forma gasosa principal (N_2), encontrada constituindo 78% dos gases da atmosfera, possui grande estabilidade gerada pela tripla ligação covalente entre suas moléculas resultando em pouca reatividade desta forma de nitrogênio na atmosfera (SOUZA; FERNANDES, 2006; CANTARELLA, 2007; MALAVOLTA; MORAES, 2007; RAIJ, 2011).

Nos solos, diferentemente dos outros elementos minerais, o nitrogênio não está presente na constituição das rochas, exceto em poucas regiões no mundo, normalmente áridas, onde é encontrado na forma de nitratos, por exemplo o salitre do Chile ($NaNO_3$), encontrado na Bolívia, Chile e Peru e, o salitre de Bengala (KNO_3), encontrado nos desertos do Egito, Irã e Iraque (DUZI, 2005; VITTI, 2010, RAIJ, 2011).

Em oposição a grande quantidade de nitrogênio atmosférico, estável, adjunto a sua ausência na composição das rochas que compõe os solos, tem-se que este elemento é um nutriente de planta fundamental, exercendo papel vital para o desenvolvimento vegetal.

Nas plantas, o nitrogênio constitui diversos compostos como os aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos (DNA e RNA), compõe o núcleo da molécula clorofila, coenzimas, vitaminas e fitormônios como as auxinas (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009; MALAVOLTA; MORAES, 2009; TAIZ; ZEIGER, 2009). O N se apresenta em todas as etapas do ciclo de desenvolvimento vegetal se estendendo desde a germinação, passando pelo crescimento da planta até a maturação dos frutos no final do ciclo reprodutivo (MALAVOLTA; MORAES, 2007). Desta forma, o fornecimento deste elemento, por ser um dos nutrientes essenciais às plantas, torna-se processo fundamental à manutenção dos sistemas naturais e agrícolas, onde as plantas se destacam como o núcleo destes sistemas.

O suprimento de N às plantas ocorre por três vias principais de fornecimento do N ao solo, podendo ser classificadas como naturais e artificiais. A primeira via se caracteriza como natural não biológica, este fornecimento, dentre os três, é o que contribui em menores quantidades na produção de N reativo assimilável pelo vegetal. Através da alta energia provida por descargas elétricas, tem-se a quebra da ligação estável do N atmosférico que reage com o oxigênio formando óxidos que se convertem em ácido nítrico, assim, por meio do carregamento pela água da chuva, infiltra-se no solo tornando-se nitrato disponível à absorção pelas raízes das plantas (MALAVOLTA, 2006; LOPES, 2007; RAIJ, 2011).

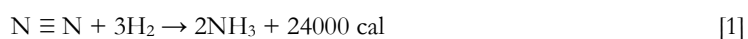
A segunda via, assim como a primeira, também se caracteriza como natural, entretanto, a conversão do nitrogênio estável se dá por meio de atividade biológica. O processo ocorre pela fixação do N presente no ar na estrutura de microrganismos. Por meio da redução bioquímica do N_2 via enzima nitrogenase, com presença de ferro, molibdênio e cobalto, o nitrogênio é hidrogenado para a forma amoniacal (NH_4^+) sendo incorporado ao metabolismo do microrganismo com subsequente aprisionamento nas cadeias orgânicas deste (RAIJ, 2011).

Ressalta-se que as plantas leguminosas possuem vantagem no processo de fixação do N atmosférico, dada a realização de associação simbiótica ocorrida nas raízes das plantas, principalmente com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, há assimilação direta do nitrogênio, ocorrida em nódulos formados por esta associação nas raízes das plantas, assim, os microrganismos fornecem o N fundamental a nutrição da planta e, esta fornece compostos fundamentais aos microrganismos (CANTARELLA, 2007; LOPES, 2007; RAIJ, 2011). Esta associação, diferentemente da primeira via de fornecimento de nitrogênio, pode fornecer grandes quantidades do nutriente ao solo e as plantas e, para os sistemas agrícolas, a fixação biológica de nitrogênio (FBN) é muito interessante para

otimizar o sistema produtivo, pois supre a planta naturalmente com o elemento sem adicional de custos (adubação e operacionais).

A última via de fornecimento do nitrogênio ao solo, artificial, é realizada, principalmente para os sistemas agrícolas. Os processos de fertilização mineral ou orgânica são realizados por ação antropogênica sendo que, para o nitrogênio, são aplicados em maior quantidade e maior frequência que os demais nutrientes (MALAVOLTA, 2006).

A obtenção do fertilizante nitrogenado, dado o elevado gasto energético e o uso de altas temperaturas e pressão, é muito onerosa, a fonte primária de N para a produção artificial de fertilizantes, a atmosfera, resulta na necessidade da quebra da tripla ligação covalente do N₂, assim, são demandados 2,2 x 10⁵ kcal kmol⁻¹, além da combinação com o gás hidrogênio (H₂), obtido de combustíveis fósseis como o gás natural (Equação 1) (VITTI; HEIRINCHS, 2007; MALAVOLTA; MORAES, 2009). A amônia (NH₃) gerada no processo é o elemento base para a produção dos fertilizantes.



A intensificação agrícola, necessária para o aumento da produtividade demandado à cobertura da necessidade do aumento da produção de alimentos, fibras e energia que supra o crescente aumento da população, resulta em aumento do consumo deste nutriente (RAIJ, 1991; ANDA, 2011; FAO, 2016).

Ao considerar os fertilizantes nitrogenados mais utilizados, pode-se destacar o sulfato de amônio, o nitrato de amônio e a ureia. Entre estes, a ureia se destaca sendo o fertilizante nitrogenado sólido com maior teor do elemento (45% N), esta alta concentração resulta em atratividade para o produtor por refletir em vantagens tanto econômicas, como o menor custo do insumo por unidade de nutriente, quanto operacionais no sistema de produção, como o menor espaço ocupado pela mesma quantidade de N reduzindo gastos com armazenamento, transporte, aplicação e manutenção de máquinas e implementos (LARA CABEZAS; KORNORFER; MOTTA, 1997; FRANCO; SARAIVA NETO, 2007; MALAVOLTA; MORAES, 2009; FERNANDES, 2010).

A ureia, fonte mineral de nitrogênio na forma amídica, tem por características alta solubilidade, facilidade de mistura com outras fontes, baixa corrosividade que reflete em aspecto interessante à industrialização do insumo. É um produto não ionizável que minimiza possíveis problemas de aumento da pressão osmótica da solução do solo quando comparada aos sais amoniacais e aos nitratos e, apresenta-se em formato de pérolas (1 – 2 mm) ou grânulos (2 – 4 mm) (FRANCO; SARAIVA NETO, 2007; MALAVOLTA; MORAES, 2009). A produção deste fertilizante se baseia na reação da unidade de base de produção dos fertilizantes nitrogenados, a amônia, com o principal subproduto da sua síntese, o gás carbônico, que é gerado pela queima de combustíveis fósseis para obtenção do hidrogênio. Por não envolver reações com ácidos, que requerem materiais e equipamentos especiais, a ureia é atrativa tanto ao produtor rural, quanto ao produtor do insumo (CANTARELLA, 2007).

Relatos mostram que, em termos econômicos, a participação da ureia na matriz dos fertilizantes nitrogenados no mundo ultrapassa 50% sendo o fertilizante mais produzido e utilizado na agricultura (FRANCO; SARAIVA NETO, 2007; LOPES; BASTOS; DAHER, 2007). Entretanto, mesmo sendo um produto com uma variedade de vantagens econômicas e operacionais, este fertilizante possui alta higroscopicidade que, além do maior problema com o empedramento dificultando sua dispersão no campo, a torna propensa a perdas de N por volatilização na forma do gás amônia (NH₃) (CANTARELLA, 2007; RAIJ, 2011). Em condições adversas à absorção do amônio (NH₄⁺) e favoráveis à volatilização da NH₃, a perda do fertilizante nitrogenado pode chegar a mais de

50% da quantia aplicada sendo este o maior impasse na eficiência deste fertilizante na agricultura (MARTHA JR et al., 2004; MOTA, 2013).

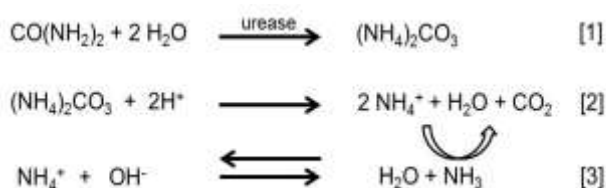
O processo de volatilização de amônia é definido como a transferência da amônia gasosa, oriunda da ureia, do solo para a atmosfera. Para que esse processo ocorra é necessário que haja suprimento de amônia próximo à superfície do solo (MARTHA JR et al., 2004).

O sistema envolve, inicialmente, a hidrólise da ureia por meio da enzima urease ativada pelo níquel, resultando na formação de carbonato de amônio (Equação 1) (MALAVOLTA; MORAES, 2009). A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, principalmente, originada de restos vegetais e animais (LONGO; MELO, 2005; LANNA et al., 2010). Ressalta-se que a manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo, muito utilizada hoje na agricultura, por possuir grande quantidade de restos vegetais, possui, também, maior quantidade de urease que, como citado, aumenta a hidrólise da ureia (processo inicial da volatilização) aumentando sua volatilização.

A ureia aplicada pode ser rapidamente hidrolisada em 2 ou 3 dias mediante condições de disponibilidade de umidade de solo e temperatura, quantidade e forma de aplicação (REYNOLDS; WOLF; ARMBRUSTER, 1987; SANGOI, et al., 2003; BERNARDI et al., 2010).

Após a fase de formação do carbonato de amônio resultante da hidrólise da ureia, tem-se a formação de NH_3 , CO_2 e água (RAIJ, 1991). Parte da NH_3 formada reage com íons H^+ provenientes da solução do solo e dissociáveis do complexo coloidal, resultando no cátion NH_4^+ (Equação 2). Entretanto, a neutralização da acidez gerada na dissociação do carbonato reflete na elevação do pH, que geralmente atinge valores acima de 7 no entorno dos grânulos da ureia, ou seja, tem-se aumento da concentração e atividade de íons OH^- (RODRIGUES; KIEHL, 1992).

O aumento no pH do solo em torno do grânulo aumenta a possibilidade de ocorrência do encontro e reação do amônio (NH_4^+) com as hidroxilas ocasionando as perdas de NH_3 para a atmosfera (Equação 3). Quantidades significativas de N podem ser perdidas variando de 1,7 a 80% do N aplicado, podendo, também, ser influenciadas pela temperatura do solo, umidade, pH, velocidade do vento, matéria orgânica do solo (relação C/N) e tipo de fertilizante (OVERREIN, 1968; VLEK; CRASWELL, 1979; LARA CABEZAS; KORNORFER; MOTTA, 1997; GIOACCHINI; NASTRI; SILVA, 2002; FERNANDES, 2010).



Dada a magnitude do problema da volatilização da amônia associada à necessidade do aumento de eficiência dos fertilizantes para atender a demanda da produção agrícola e, a adoção de práticas conservacionistas que mantém ou adicionam restos de cultura na superfície do solo, tem-se hoje a busca por alternativas viáveis através da agregação de tecnologia aos insumos em suas formas convencionais. Esta nova linha de produtos se denomina fertilizantes tecnológicos ou com tecnologia agregada.

A agregação de tecnologia à ureia, objetiva evitar a rápida transformação do N contido no adubo em formas menos estáveis em determinados ambientes reduzindo as perdas de nutrientes para o sistema solo-atmosfera

e, conseqüentemente, aumentar sua eficiência e o aproveitamento deste pelas culturas. Além disso, visa-se modificar a dinâmica de liberação do fertilizante de forma a resultar em fornecimento mais lento e longo da ureia.

Muito tem se estudado sobre compostos que, de alguma forma, inibam ou atrasem as transformações sofridas pela ureia no solo. Assim, o N se mantém em sua forma original, após a sua aplicação e, a disponibilidade de absorção e uso pelas plantas é retardada, ou ainda, possa estender sua disponibilidade às plantas a períodos significativamente maiores do que a ureia convencional. Podemos dividir essa nova vertente dos fertilizantes em três classes: liberação lenta, estabilizados e liberação controlada.

Nesse contexto, pesquisas científicas atuais voltam-se à utilização econômica dos fertilizantes com destaque a importância da avaliação de fatores que interferem no ciclo do N, assim como fatores associados à tecnologia de uso das fontes nitrogenadas minimizando perdas do sistema solo-planta-atmosfera (LARA CABEZAS, 1987; CANTARELLA, 2007).

Ao considerar que se a ureia for utilizada em quantidades excessivas ou condições desfavoráveis e inapropriadas, o N, como citado, pode ser perdido e transferido a outros locais ou ecossistemas, assim, o elemento aplicado buscando desenvolvimento mais durável da produção agrícola torna-se um poluente em cursos de água (superficiais ou subterrâneas), via arraste e transporte superficial por chuvas e outros e, da atmosfera sob formas de óxido nitroso e amônia, intensificando o efeito estufa.

O desenvolvimento de novas tecnologias provenientes da indústria e da pesquisa como alternativas menos agressivas ao ambiente e redução de custos para o consumidor final, permitem maior retorno econômico das adubações, e é fundamental quando se almeja aumentar a produtividade com sustentabilidade, permitindo, assim, que a vocação agrícola brasileira possa ser exercida em sua plenitude (LOPES; BASTOS; DAHER, 2007; LOPES; GUILHERME, 2009).

Novos produtos são testados surgindo a necessidade da verificação dos mecanismos de ação e influências que estes possam causar a este fertilizante de aplicação já consolidada e, nas culturas aos quais se destinam e ao ambiente. Da mesma forma, o estudo dos efeitos resultantes nos cultivos agrícolas é fundamental para que as características de minimização de perdas se aliem ao alcance de boas produtividades otimizando a atividade rural e auxiliando o manejo por parte do produtor agrícola.

Considerando essa necessidade de aplicação de fertilizantes para a manutenção de produtividade, a grande utilização da ureia para o suprimento de nitrogênio às plantas e, a demanda pela otimização do sistema agrícola por meio desta, seja através de tecnologias ou estratégias de manejo, levantaram-se as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: As novas tecnologias aplicadas à ureia possibilitam redução de perdas por volatilização.

Hipótese 2: As novas tecnologias aplicadas à ureia modificam suas transformações em frações inorgânicas e orgânicas no solo e, em caso de modificação, estas são positivas.

Hipótese 3: O uso de tecnologias aplicadas à ureia reflete em maior longevidade na liberação do fertilizante ao solo.

Hipótese 4: A combinação entre produtos ureia convencional e com tecnologia agregada pode trazer mais benefícios à cultura do milho do que a aplicação destes isoladamente.

Hipótese 5: A substituição do uso/aplicação da ureia em sua forma tradicional pela ureia com tecnologia agregada na cultura do milho é viável economicamente ao produtor.

O objetivo foi estudar a dinâmica do N oriunda da aplicação do fertilizante nitrogenado ureia em seu estado convencional e com agregação de tecnologias ao grânulo. Verificar as dinâmicas de liberação destes produtos

avaliando seu efeito na cultura agrícola do milho e, analisar economicamente se a adoção dos fertilizantes com tecnologia agregada é viável no sistema de produção considerado.

REFERÊNCIAS

- ANDA. Agência Nacional de Difusão de Adubos. **Anuário Estatístico**. 2011.
- BERNARDI, A.C.C; MOTA, E.P.; CARDOSO, R.D.; MONTE, M.B.M; OLIVEIRA, P.P.A. Ammonia Volatilization from Soil, Dry Matter Yield, and Nitrogen Levels of Italian Ryegrass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 131218114051009-162, 2013.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap.7 p.375–470.
- DUSI, D. M. **Efeito da adição do polímero hidrorretentor na eficiência da adubação nitrogenada no crescimento de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk. em dois diferentes substratos**. 2005. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- FERNANDES, F.M. Manejo do nitrogênio e do enxofre no solo. In: VALE, D.W.; SOUZA, J.I.; PRADO, R.M. (Ed). **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas**. Jaboticabal: FCAV, 2010, cap.5 p. 97–118.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 25 nov. 2016.
- FRANCO, J.A.M.; SARAIVA NETO, A. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimento de matéria prima. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 3, p. 73–108.
- GIOACCHINI, P.; NASTRI, A.; MARZADORI, C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**. New York, v. 36, p. 129–135, 2002.
- LANNA, A.C.; SILVEIRA, P.M.; SILVA, M.B.; FERRARESI, T.M.; KLIEMANN, H.J. Atividade da urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p. 1933–1939, 2010.
- LANGHE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema plantio direto no Cerrado**. Lavras: UFLA, 2002. 148p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, E.J.(Ed). **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. Cap.2, p. 81-132.

- LARA CABEZAS, W.A.R. **Calibração de um método para estimar perdas por volatilização de N-NH₃ de fertilizantes nitrogenados aplicados no solo**. 1987. 202 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 481–487, 1997a.
- LONGO, R.M.; MELO, W. J. Hidrólise da ureia em latossolos: efeito da concentração da ureia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 651–657, 2005.
- LOPES, E.S. Fixação biológica do nitrogênio no sistema solo-planta. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap.2, p.43–72.
- LOPES, A.S.; BASTOS, A.R.R.; DAHER, E. Uso eficiente dos fertilizantes nitrogenados e sulfatados na agricultura brasileira: Uma visão do futuro. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap.5, p. 161–187.
- LOPES, A.; GUILHERME, L.R.G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, E.J.(Ed). **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. Cap.1, p.33-80.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 639 p
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. Fundamentos do nitrogênio e do enxofre na nutrição mineral das plantas cultivadas. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 6, p. 189–249.
- MALAVOLTA, E.; MORAES, M.F. O nitrogênio na agricultura brasileira. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, E.J.(Ed). **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. Cap.7, p.211-256.
- MARTHA JR., G.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T.L.F.; TEIXEIRA, G.M.; MANZONI, C.S.; BARIONI, L.G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-Tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, supl. 3, p. 2240–2247, 2004.
- MOTA, E.P. **Fertilizantes nitrogenados de liberação gradual: longevidade e volatilização em ambiente controlado**. 2013. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

- OVERREIN, L.N. Lysimeter studies on tracer nitrogen in forest soil: 1. Nitrogen losses by leaching and volatilization after addition of urea – 15N. **Soil Science**, Baltimore, v. 106, p. 280–290, 1968.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.
- REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C.; ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 104-108, 1987.
- RODRIGUES, M.B.; KIEHL, J.C. Distribuição e nitrificação da amônia proveniente da ureia aplicada ao solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, p. 403-408, 1992
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687–692, 2003.
- SOUZA, R.S.; FERNANDES, M.S. Nitrogênio In: FERNANDES, M.S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2006. p. 215-252.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.
- VITTI, G.C. **Fertilizantes nitrogenados: obtenção, características físicas e químicas, ação fertilizante e emprego**. Piracicaba: ESALQ, 2010.
- VITTI, G.C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: Uma visão holística. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 4, p. 109–160.
- VLEK, P.L.G.; CRASWELL, E.T. Effect of nitrogen source and management on ammonia volatilization losses from flooded rice-soil systems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 43, p. 352–359, 1979.

2. FRAÇÕES DE NITROGÊNIO PROVENIENTES DE UREIA COM TECNOLOGIA AGREGADA EM SOLO, COM E SEM PALHADA

Resumo

A grande dinâmica do N é representada pelas diversas frações do nutriente encontradas no solo, disto surge a necessidade da melhor compreensão da dinâmica das transformações sofridas pelo N no solo. Ao conhecer os processos de conversão das formas deste elemento no solo, é possível estimar a disponibilidade das formas preferenciais de nitrogênio absorvidas pelas plantas (NH_4^+ , NO_3^- e, em menor quantidade $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Dentre os fertilizantes nitrogenados disponíveis, a ureia se destaca pela maior concentração de nitrogênio (45% de N) sendo mais atrativa a aplicação pela redução de custos frente a outras fontes. Entretanto, sua propensão a perdas por volatilização de amônia leva a busca por tecnologias que minimizem esta problemática. O uso de inibidores de urease é uma alternativa disponível no mercado que pode diminuir essas perdas e aumentar a eficiência do fertilizante nas aplicações. O objetivo foi estudar a dinâmica da ureia de liberação lenta (estabilizada) desde a aplicação do grânulo do fertilizante, até suas transformações em frações minerais e orgânicas em solo com e sem palhada de milho e, suas perdas por volatilização. As avaliações das frações do N foram realizadas por meio de incubação, em laboratório, utilizando como tratamentos a ureia convencional e 2 inibidores de urease ($\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e NBPT) aplicados na superfície e incorporado ao grânulo, totalizando 5 tratamentos, 3 repetições, em condições de presença e ausência de palha de milho, organizados em delineamento inteiramente casualizado. Avaliaram-se as frações N- NH_3 , N- NH_4 , N- NO_3 , N- NO_2 , N-ureia e N-orgânico, por período de 28 dias, nos quais foram realizadas 5 coletas. Foi possível analisar as transformações sofridas pelo N no solo e quantificar suas perdas por volatilização. O sistema apresentou alta interdependência entre as frações do nitrogênio evidenciadas pelos altos coeficientes encontrados nas regressões realizadas. As formas de aplicação dos inibidores, assim como as duas fontes utilizadas, apresentaram significância por contrastes ortogonais tanto em relação a presença ou ausência de palha de milho na superfície do solo, quanto a comparação entre os próprios inibidores utilizados, ocorrendo variação dos efeitos no tempo. O balanço de 100% do sistema, atingido na recuperação das frações, evidencia a eficiência e funcionalidade da metodologia empregada, assim como, permite fácil visualização dos processos e etapas das transformações ocorridas nas frações do nitrogênio no solo, proveniente da adubação com ureia. Concluiu-se que houve total interdependência entre as frações de nitrogênio no solo provenientes da adubação com ureia. O uso dos inibidores de urease $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e NBPT, possui potencial para a redução de perdas por volatilização da amônia e, apresentam diferentes dinâmicas quando aplicados em solos com presença ou ausência de palhada de milho. Concluiu-se, também, que o nitrogênio sofre alta imobilização no solo atingindo valores superiores a 40% do total do fertilizante aplicado.

Palavras chave: Inibidores; Volatilização de amônia; Laboratório; Palha de milho; Difusão

Abstract

The nitrogen dynamics is represented by the different fractions of the nutrient found in the soil, then arises the need for a better knowledges about the dynamics of the transformations suffered by N in the soil. Through of the knowing the processes of conversion of the forms of this element in the soil, it is possible to estimate the availability of the main ionic forms of nitrogen uptake by the plants (NH_4^+ , NO_3^- and, in smaller amount $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Among the sources of nitrogen fertilizers the urea is distinguished by the higher concentration of nitrogen (45% of N), being more attractive to be applied due to the reducing costs in comparison to other sources, however, urea has high propensity to losses by ammonia volatilization leads to the researches for technologies that minimize this problem. The use of inhibitors is an alternative to available on the market that can reduce these losses and increase fertilizer efficiency in fertilizations. The aims was study the slow release (stabilized) urea dynamics since the application of the fertilizer granules until the mineral and organic transformations occurred on the soil with and without corn straw and its losses by volatilization. Nitrogen fractions were evaluated by incubation experiment in laboratory using conventional urea and 2 inhibitors ($\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ and NBPT) applied in two forms: on the surface of the granules and incorporated into the granule structure, the treatments totalizing 5 treatments, 3 replicates in conditions of presence and absence of corn straw, organized by completely randomized design. It were evaluated N- NH_3 , N- NH_4 , N- NO_3 , N- NO_2 , N-urea and N-organic fractions for a period of 28 days with 5 collections. It was possible to evaluate the transformations suffered by N in the soil and to quantify their losses by ammonia volatilization. The system showed high interdependence among the nitrogen fractions evidenced by the high coefficients found in the regressions analysis. The forms of the inhibitors application, as well as the two

inhibitors sources used, they showed significant effect by orthogonal contrasts in relation to the presence or absence of corn straw on the soil surface, in addition to comparison between the inhibitors themselves. The 100% balance reached in the system, showed by recovery of the fractions, presents the efficiency and functionality of the methodology used, as well as allows easy visualization of the processes and the stages of transformations occurred in the nitrogen fractions in the soil, from urea fertilization. It was concluded that there is total interdependence among nitrogen fractions in the soil from urea fertilization. The use of the $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ and NBPT inhibitors has the potential to minimizing losses by ammonia volatilization and they present different dynamics when applied to the soils with presence or absence of corn straw. It was also concluded that the nitrogen suffers high immobilization in the soil reaching values higher than 40% of the total of fertilizer applied.

Keywords: Inhibitors; Ammonia volatilization; Laboratory; Corn straw; Diffusion

3. INTRODUÇÃO

O nitrogênio é um nutriente essencial e necessário ao desenvolvimento das plantas. Possui alto dinamismo no solo e sofre diversas transformações tanto químicas quanto biológicas, o que pode ser ilustrado pela grande versatilidade e diferentes estados de oxidação encontrados, desde formas bastante reduzidas, na forma de amônio (NH_4^+), até oxidadas, como o nitrato (NO_3^-), lhe conferindo especial importância nos ciclos biogeoquímicos e no metabolismo das plantas, as quais absorvem as duas formas citadas (LANGE, 2002; CANTARELLA, 2007; LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009).

Esta grande variedade das frações de nitrogênio encontradas no solo leva a necessidade da melhor compreensão da dinâmica das transformações deste elemento sofridas no solo. Ao conhecer os processos de conversão das formas minerais e orgânicas no solo é possível verificar a disponibilidade das formas preferenciais de nitrogênio absorvidas pelas plantas (NH_4^+ , NO_3^- e, em menor quantidade $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), assim como estimar os momentos que se encontrariam mais disponíveis uma, ou outra, destas formas.

A posse destas informações pode permitir o melhor manejo das fontes, os momentos de adubação que disponibilizariam em maior quantidade as formas absorvíveis do nitrogênio e, até mesmo, o potencial de imobilização do nutriente na fração orgânica. Assim, possibilita o incremento da eficiência do programa de adubação para as culturas agrícolas.

As fontes nitrogenadas mais utilizadas na atualidade são o sulfato de amônio, o nitrato de amônio e a ureia. Dada a menor concentração de nitrogênio contida no sulfato de amônio (em comparação às outras fontes) (21% N) e, as restrições de venda encontradas para a aquisição do nitrato de amônio (33% N), por se tratar de um produto com características explosivas, a ureia (45% N) é a melhor opção de fertilizante nitrogenado disponível à aplicação no campo.

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado na agricultura, dados mostram que este insumo ocupa mais da metade de toda a matriz de utilização dos fertilizantes nitrogenados (FRANCO; SARAIVA NETO, 2007). Apesar das vantagens de alta concentração do nutriente, que reflete na economia de custos com armazenamento, transporte e aplicação, este insumo possui alta propensão a perdas, principalmente por volatilização da amônia (NH_3).

A volatilização do gás amônia é o maior fator de perda de nitrogênio proveniente das adubações com ureia resultando em diminuição da eficiência do insumo e refletindo no menor aproveitamento do nutriente pela cultura. O processo tem início com a hidrólise sofrida pela ureia via enzima urease, enzima extracelular produzida por bactérias e fungos ou, principalmente, originada em restos vegetais (LONGO; MELO, 2005; LANNA et al., 2010). Após a hidrólise, há a formação de carbonato de amônio que, ao interagir e consumir os prótons do solo (H^+), forma o ácido carbônico (que dissocia dada sua baixa estabilidade) e o amônio (NH_4^+), com isso há elevação no pH ao redor do grânulo de ureia podendo atingir valores superiores a 7. Esta elevação do pH possibilita a reação do amônio com as hidroxilas do solo (OH^-) fazendo com que seja formada a amônia que, por ser um gás, é transferido para a atmosfera (FENN; KISSEL, 1973; KISSEL; CABRERA; FERGUNSON, 1988).

Os fatores que mais afetam a ocorrência destes processos são temperatura, umidade do solo, quantidade de ureia aplicada em superfície, pH e a presença de restos vegetais (OVERREIN; MOE, 1967; RAO; BATRA, 1983). Em relação a este último, ao considerar os sistemas de produção agrícola atuais, onde a manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo é comum e, sabendo-se que a enzima responsável pela hidrólise é encontrada em maior quantidade nesses materiais, as perdas de nitrogênio podem ser mais significativas. Valores superiores a 70%

podem ser encontrados quando a ureia é exposta aos fatores citados, estes intensificam a ocorrência do fenômeno da volatilização e, assim, ratifica-se a importância de estudos para minimização deste problema (LARA CABEZAS; KORNDORFER; MOTTA, 1997b; MARTHA JUNIOR, 2004; FARIA, 2013).

Nesse contexto, uma nova linha de fertilizantes com agregação de tecnologia vem tomando destaque com foco ao aumento da eficiência da ureia e a diminuição de perdas por volatilização. Os fertilizantes estabilizados que, da mesma forma que os fertilizantes de liberação lenta, liberam o fertilizante de forma mais lenta que o mesmo em seu estado convencional e objetivam, através do uso de compostos inibidores, manter o fertilizante em sua forma original. Estas estratégias via agregação de tecnologia aos fertilizantes convencionais surgem como alternativa à minimização do problema das perdas de N no sistema.

Entre os inibidores, o uso de inibidores de urease pode ser citado. Compostos que a inibem a ação da urease no solo, ou que mantenham a ureia em sua forma amídica evitando a hidrólise, são propostas interessantes a minimização do problema da volatilização aumentando a eficiência do fertilizante. Os compostos inibidores estudados compreendem uma grande gama produtos dos quais podem ser destacados o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) e, a mistura de ácido bórico (H_3BO_3) com sulfato de cobre ($CuSO_4 \cdot xH_2O$) (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009).

A urease tem propensão a complexação com íons metálicos no solo. Shaw (1954), relatou a ocorrência de grupos sulfidrilas ativos na urease, estes grupos podem se ligar a um íon metálico precipitando-o na forma de sulfetos insolúveis. Compostos que tenham maior afinidade com o grupo sulfidrilas, como os cátions metálicos bivalentes, tem maior propensão a inativação da enzima. De tal modo, o uso do sulfato de cobre em mistura com o ácido bórico se torna interessante, pois em ordem de afinidade encontrada por Tabatabai (1977), o cobre se apresenta como o terceiro íon em potencial para inibir a urease ficando apenas atrás da prata e do mercúrio, que não podem ser utilizados por serem metais pesados tóxicos ao ambiente. O ácido bórico também tem se apresentado como alternativa a inibição da enzima urease, assim, esses dois elementos são recomendados por apresentarem efeitos inibidores e não serem elementos tóxicos a serem aplicados às plantas.

O NBPT é o inibidor de urease de maior importância entre os fertilizantes estabilizados. O efeito positivo na redução da volatilização, mesmo em baixas concentrações, tem sido encontrado em diversos trabalhos na literatura. É o produto mais utilizado comercialmente aplicado à ureia (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009).

Do exposto, pesquisas envolvendo o uso destes novos produtos são fundamentais para a verificação da diminuição das perdas sofridas pela ureia, assim como o conhecimento sobre a dinâmica das transformações ocorridas por estes produtos que podem fornecer ferramentas para o melhor manejo do programa de adubação das culturas no campo.

O objetivo foi estudar a dinâmica da ureia estabilizada desde a aplicação do grânulo do fertilizante, até suas transformações minerais e orgânicas em solo com e sem palhada de milho e, suas perdas por volatilização.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Caracterização do solo

O solo foi caracterizado como Neossolo Quartzarênico Órtico típico, possui textura arenosa com 910 g kg⁻¹ de areia, da qual 570g kg⁻¹ se constitui de areia fina (0,21 – 0,053 mm) e 340 g kg⁻¹ de areia grossa (0,21 – 2,00 mm), possui 4 g kg⁻¹ de silte e 86 g kg⁻¹ de argila (GEE; OR, 2002). De acordo com metodologia descrita por Raij et al. (2001) e Vitti (1989), possui valor de pH (CaCl₂) = 5,4, conteúdo de matéria orgânica de 11 g dm⁻³, o teor de P (resina) e S equivalente a 24 e 6 mg dm⁻³, respectivamente. O teor de K, Ca e Mg situando-se em 0,8, 14 e 8 mmol_c dm⁻³, respectivamente e, a acidez potencial (H + Al) com valor de 18 mmol_c dm⁻³ e CTC com valor de 41 mmol_c dm⁻³, assim, este solo possui valores de SB = 22,8 mmol_c dm⁻³, V = 56% (camada de 0 – 20 cm).

4.2. Instalação e condução dos experimentos

O experimento foi desenvolvido na Universidade de Illinois localizada em Urbana-Champaign sob orientação do Professor Doutor Richard L. Mulvaney.

A avaliação das transformações do nitrogênio no solo provenientes do fertilizante, foi realizada por meio de incubação em condições de laboratório. A incubação foi realizada por período de 28 dias em condições de presença e ausência de palha de milho em superfície.

4.2.1. Delineamento e tratamentos utilizados

Os tratamentos foram a ureia convencional (45% N) e ureias de liberação lenta. As ureias de liberação lenta foram obtidas utilizando dois inibidores de urease aplicados por dois diferentes processos, resultando, assim, em quatro ureias de liberação lenta (Tabela 1).

O primeiro produto inibidor utilizado foi a mistura de ácido bórico (0,4%) e sulfato de cobre (0,14%), estes foram aplicados de duas formas na ureia convencional: na superfície e na estrutura do grânulo. O segundo produto utilizado foi o tiofosfato de N-(n-butil) triamida (NBPT), aplicado na dose de 530 mg kg⁻¹ na superfície e na estrutura do grânulo. A ureia foi moída, adicionaram-se os inibidores e, então, regranulou-se a ureia.

Tabela 1. Fontes de fertilizantes avaliadas no experimento de fracionamento de nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease

Tratamentos	Fórmula	% Nitrogênio	Palha	Solo
TS1 Ureia	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	45	Não	Arenoso
TS2 Ureia+H₃BO₃+CuSO₄*	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}+\text{H}_3\text{BO}_3+\text{CuSO}_4$	43,8	Não	Arenoso
TS3 Ureia+H₃BO₃+CuSO₄**	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}+\text{H}_3\text{BO}_3+\text{CuSO}_4$	43,8	Não	Arenoso
TS4 Ureia + inibidor*	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{NBPT}$	45	Não	Arenoso
TS5 Ureia + inibidor**	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{NBPT}$	45	Não	Arenoso
TP1 Ureia	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	45	Sim	Arenoso
TP2 Ureia+H₃BO₃+CuSO₄*	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}+\text{H}_3\text{BO}_3+\text{CuSO}_4$	43,8	Sim	Arenoso
TP3 Ureia+H₃BO₃+CuSO₄**	$(\text{NH}_2)_2\text{CO}+\text{H}_3\text{BO}_3+\text{CuSO}_4$	43,8	Sim	Arenoso
TP4 Ureia + inibidor*	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{NBPT}$	45	Sim	Arenoso
TP5 Ureia + inibidor**	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{NBPT}$	45	Sim	Arenoso

*aplicado na superfície do grânulo; **aplicado incorporado ao grânulo; TS=tratamento com solo (sem palha); TP=tratamento com solo e palha

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 3 repetições em esquema fatorial 5x2. Os tratamentos aplicados constaram de 4 produtos adicionados de um tratamento com ureia convencional.

As avaliações foram periódicas, realizaram-se 5 coletas (2, 4, 8, 14 e 28 dias após a instalação do experimento) em 28 dias de condução do experimento, utilizou-se sistema de análise destrutiva da unidade experimental, ou seja, cada coleta possuía suas unidades de observação. Desta forma, o experimento constou de 5 tratamentos, 3 repetições, 2 manejos de palha (ausência e presença) e 5 coletas, totalizando 150 unidades amostrais

4.2.2. Análise nitrogênio volatilizado (N-NH₃)

A análise do nitrogênio volatilizado foi realizada por meio do sistema fechado estático. As parcelas foram montadas utilizando garrafas plásticas de 250 mL com tampas de rolha de borracha, adaptadas com recipiente para solução ácida. Foram adicionados/pesados 16g de solo seco ao ar e, para os tratamentos contendo palha, foi adicionado mais 0,16 g de palha de milho (Figura 1 a, b, d).

A adição de água foi realizada com o objetivo de se obter 60% da capacidade de campo. A capacidade de campo foi estabelecida através de filtragem e percolação de 20 mL de H₂O deionizada (DI) através de 20g de solo seco ao ar, sustentado por fibra de vidro em funil de vidro, para proveta de 50 mL, por período de 24 horas. A diferença entre o volume final encontrado na proveta e o total adicionado foi considerada a capacidade de campo do solo.

A água foi adicionada com o auxílio de dispensador automático, assim, irrigou-se a unidade amostral com volume de 3,418 mL de água destilada, atingindo 60% da capacidade de campo do solo (Figura 1 c, e, f). Ressalta-se que, para melhor distribuição da palha adicionada às unidades amostrais, recomenda-se a aplicação dos 0,16 g da palha, após irrigação do solo.

Após a irrigação da unidade, foi adicionado o fertilizante. Cada tratamento constou de um único grânulo de ureia de massa igual a $10,1 \pm 0,1$ mg, ou 4,474 mg de N, equivalente a dose de aplicação de 210 kg de N por hectare atuando nos primeiros 5 cm de solo (Figura 1 g, h).

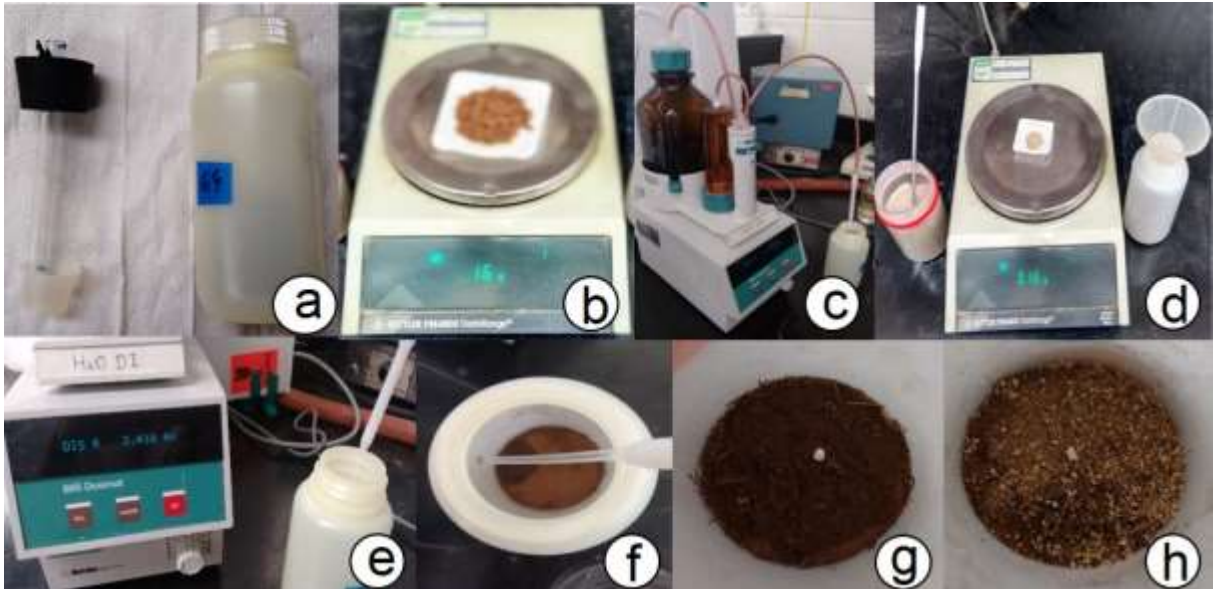


Figura 1. Preparação das unidades amostrais para o experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease; a=garrafa plástica utilizada para unidade amostral; b=pesagem do solo para a unidade amostral; c=equipamento para adição de H₂O DI à unidade amostral; d=pesagem da palha para a unidade amostral; e=equipamento para adição de água e volume adicionado; f=detalhe da adição de água na unidade experimental; g e h=alocação do grânulo de ureia nas unidades amostrais com ausência e presença de palha de milho

Com a aplicação dos tratamentos, foi adicionada, com auxílio de dispensador, 5 mL de solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄ 0,25M) ao recipiente das tampas adaptadas (Figura 2a), cita-se o cuidado na adição da solução ácida para que está não obstrua o tubo de ligação da unidade com o meio externo (aeração) (Figura 2 a, b, Figura 3).

As garrafas foram fechadas cuidadosa e firmemente e levadas a container alimentado por fluxo de ar. O ar foi direcionado via tubulação de borracha anexa na parte inferior do container (submersa em água deionizada) e umedecido por meio da sua passagem por água em galão com rolha adaptada com capacidade para 22 L de água deionizada e, por meio de sua passagem por água contida na parte inferior do container (Figura 3). Este procedimento foi realizado para a garantia da umidade relativa do ar no interior do container (Figura 2 c, e).

As garrafas foram alocadas dentro do container dispostas em prateleiras (Figura 2 d, Figura 3). O container foi coberto com cobertura plástica (com perfurações) e fechado com tampa para o selamento do ambiente, atentar para que não ocorra movimentação do container durante o período de experimento (Figura 2 f, g, Figura 3).

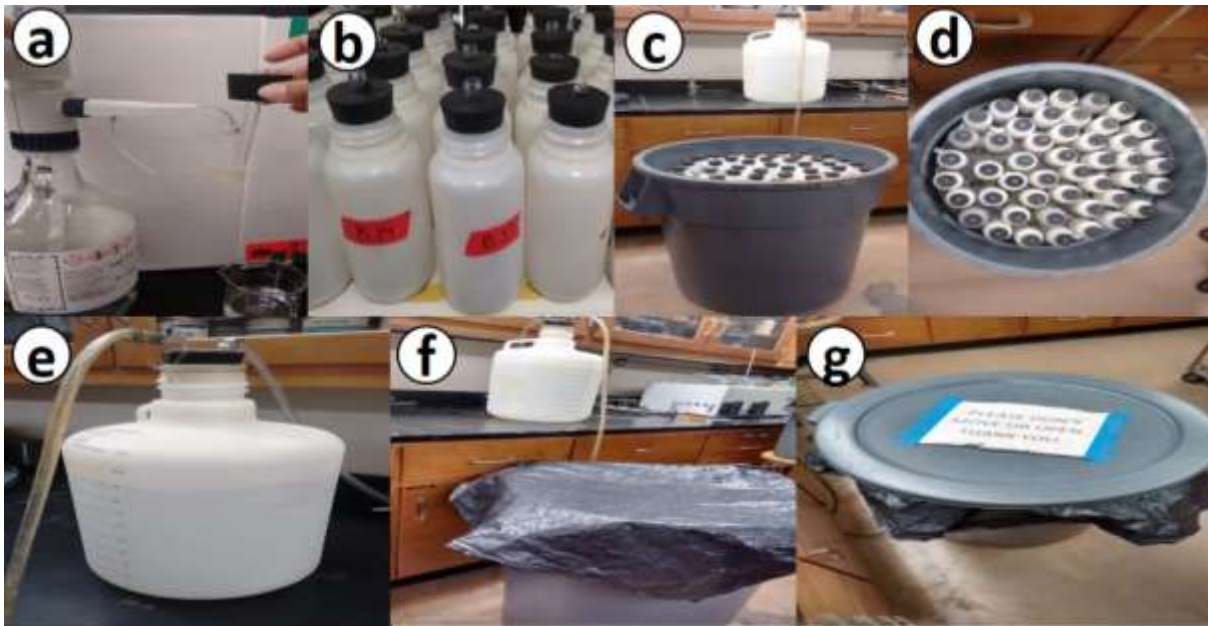


Figura 2. Preparação das unidades amostrais e instalação do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease; a=adição de solução ácida à tampa adaptada; b=tubo de aeração da unidade amostral; c=container de alocação das amostras; d=amostras em prateleiras no interior do container; e=detalhe galão de água para umedecimento do ar; f=cobertura plástica perfurada para cobertura do container; g=tampa para selamento do container

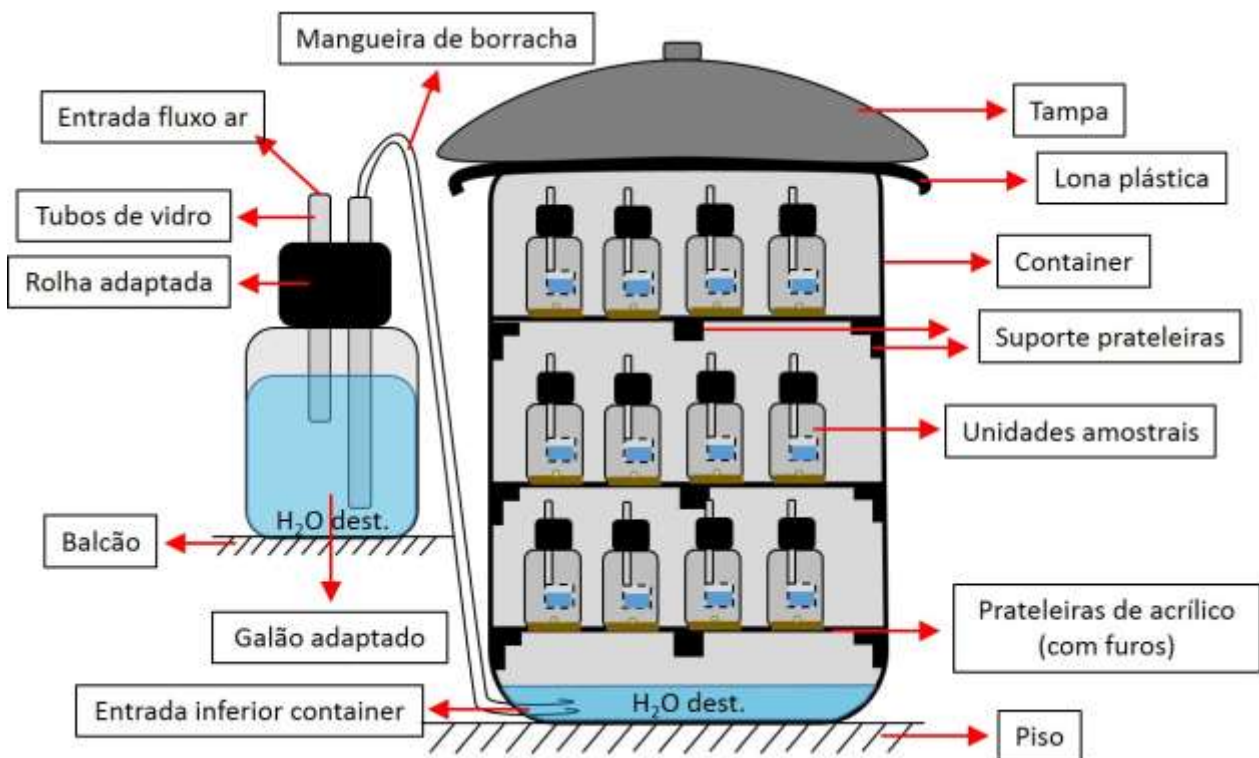


Figura 3. Vista lateral esquemática do container contendo as unidades amostrais do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease

As coletas foram realizadas periodicamente aos 2, 4, 8, 14, 28 dias após a instalação do experimento (DAI). As unidades (garrafas) foram retiradas do container e, retirou-se a tampa adaptada da unidade amostral

(Figura 1 a) para a realização do procedimento de recuperação da amônia capturada pela solução ácida contida no recipiente no interior da unidade (H_2SO_4 0,25 M) (Figura 2a).

A solução ácida (5 mL) foi transferida para balão volumétrico com capacidade para 25 mL e completado o volume com H_2O deionizada. Através dessa nova solução, foi pipetado, nas primeiras 3 coletas, 10 mL da solução e, para as duas últimas, 5 mL da solução (nesta pipetagem adicionou-se 5 mL de H_2O deionizada completando o volume para 10 mL, volume igual as primeiras 3 coletas) em frasco “Mason Jar” de boca larga (Marca Ball com tampa de 86 mm, modificada para anexar placa de Petri, marca Pirex, de 60 mm com auxílio de tira plástica ajustável e, anel de metal para fixação da tampa) (Figura 4).

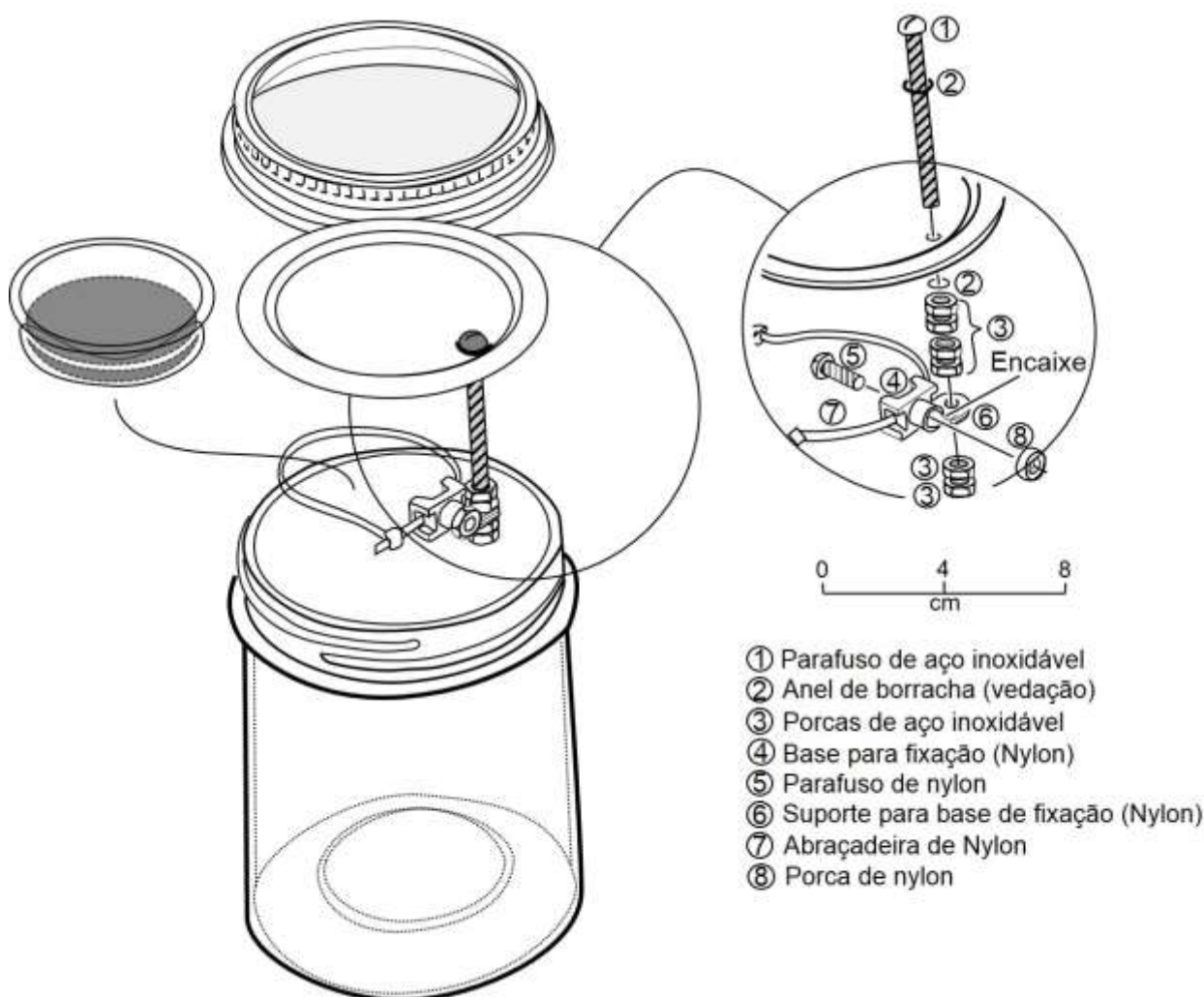


Figura 4. Modelo esquemático de montagem do “Mason Jar” utilizado nas análises do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease Khan, Mulvaney, Mulvaney, 1997).

No interior do “Mason Jar” foi colocado, com auxílio de pinça, tubo de vidro com capacidade para 2 mL contendo 2 mL NaOH 2M (Figura 5 a, b, c). A tampa para o fechamento do “Mason Jar” foi preparada fixando a placa de Petri na tira plástica adaptada na tampa, então foi adicionado à placa de Petri, com auxílio de dispensador, 5 mL de solução ácida de H_3BO_3 4% mais indicadores (verde de bromocresol – 0,099g; vermelho de metila – 0,066g para 20 L de solução produzida) (Figura 5 d).

O frasco foi selado com a tampa e fechado com o auxílio de anel de metal, sendo realizado leve movimentação circular do “Mason Jar” para o tombamento do tudo de vidro colocando o NaOH em contato (e misturando) com a amostra já pipetada no frasco.

O conjunto foi levado para chapa aquecedora (45 - 50°C) por período de pelo menos 2 horas para processo de difusão do nitrogênio da amostra para o ácido bórico contido na placa de Petri (Figura 5 e). Ressalta-se que período superiores as 2 horas não implicam em problemas na análise, pois após difundido, o nitrogênio fica estável na solução ácida da placa de Petri (Khan; Mulvaney; Mulvaney, 1997).

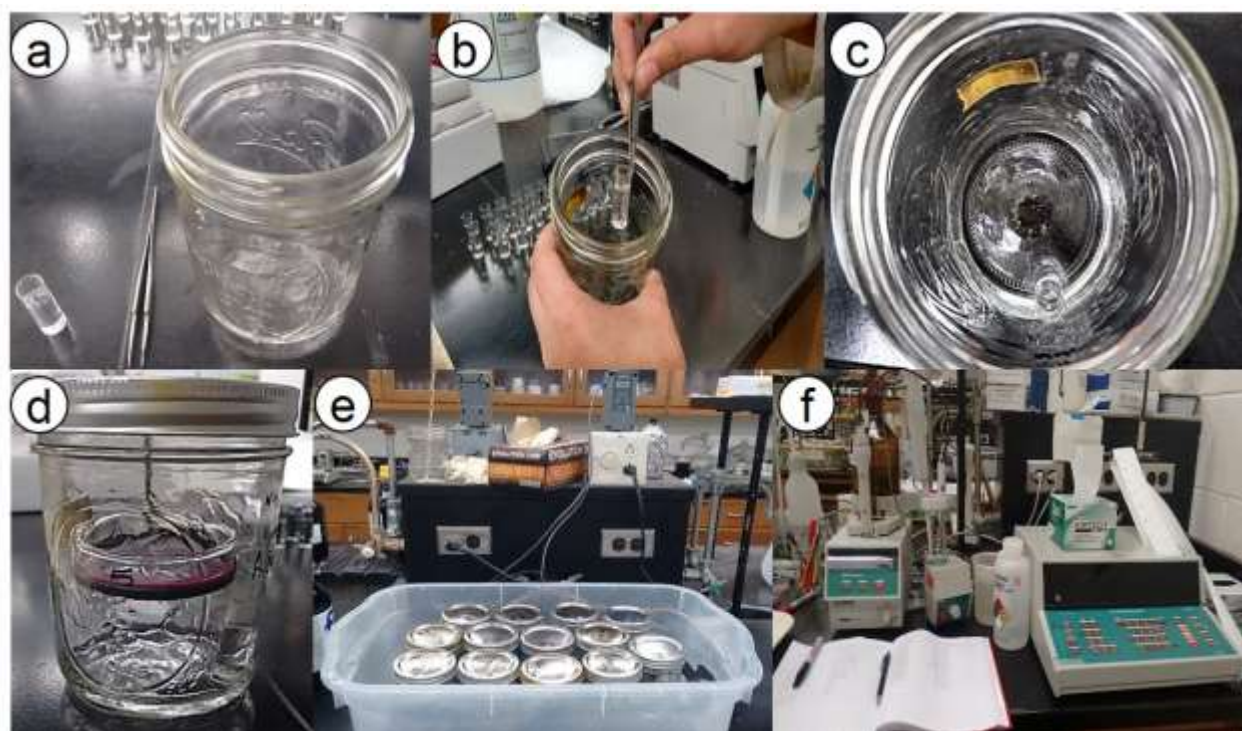


Figura 5. Preparação de frascos para processo de difusão, com posterior análise, do nitrogênio volatilizado das unidades amostrais do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease; a= frasco “Mason Jar” utilizado para processo de difusão; b= colocação de tudo de vidro com NaOH (2 M) no interior do frasco; c=detalhe do tudo de vidro imerso na amostra pipetada no “Mason Jar”; d=frasco fechado (e selado) com tampa adaptada contendo placa de Petri com solução ácida; e=chapa aquecedora utilizada para processo de difusão; f=titulado automático

Ao final do processo de difusão, os frascos foram retirados da chapa aquecedora, abertos, retirou-se a placa de Petri com solução ácida (adicionada agora do nitrogênio capturado na difusão) e, adicionou a ela 5 mL de H₂O deionizada. Foi realizada a titulação da solução resultante utilizando H₂SO₄ 0,01 M em titulador automático (Modelo 13-620-289; Fisher Scientific) (Figura 5 f). A calibração do aparelho (amostra branco) foi realizada previamente com o uso da mistura de 5 mL de H₃BO₃ mais indicadores, com água deionizada.

4.2.3. Análise das frações de N-mineral no solo (N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, N-ureia)

As análises de N-mineral no solo, provenientes dos fertilizantes aplicados, seguiram metodologias descritas em Mulvaney et al. (1997) e Khan, Mulvaney e Mulvaney (1997) (para as frações N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻) e, a análise de N-ureia foi realizada de acordo com Mulvaney e Bremner (1979).

4.2.3.1. Preparo dos extratos de solo

Após a retirada da rolha adaptada com o recipiente contendo solução ácida de H_2SO_4 0,25M, da análise de NH_3 volatilizado (Figura 1 a), foi adicionado à garrafa 160 mL de KCl PMA 2M (mistura de cloreto de potássio com acetato de fenilmercúrio, utilizado para paralisar as transformações no nitrogênio no extrato – 5 mg L^{-1}) ao solo contido na unidade (Figura 6 a). A unidade foi fechada e agitada, em mesa agitadora, por período de 1 hora seguida de pelo menos 1 hora em repouso para decantação do solo em suspensão (Figura 6 e).

Após o repouso, as garrafas foram abertas e levadas para procedimento de filtração a vácuo utilizando filtro Whatman nº42 (Figura 6 f, g). O material filtrado (extrato de solo) foi acondicionado em refrigerador para conservação das amostras para as análises minerais (Figura 6 c) e, ao material residual retido no filtro, adicionou 25 mL de K_2SO_4 0,5M para eliminação e arraste de possível resíduo de N-mineral no solo e realizou-se nova filtração (Figura 6 b, d). O material retido lavado com o K_2SO_4 0,5M, na segunda filtração, foi seco e analisado o N-orgânico e, o extrato resultante desta filtração, foi descartado.

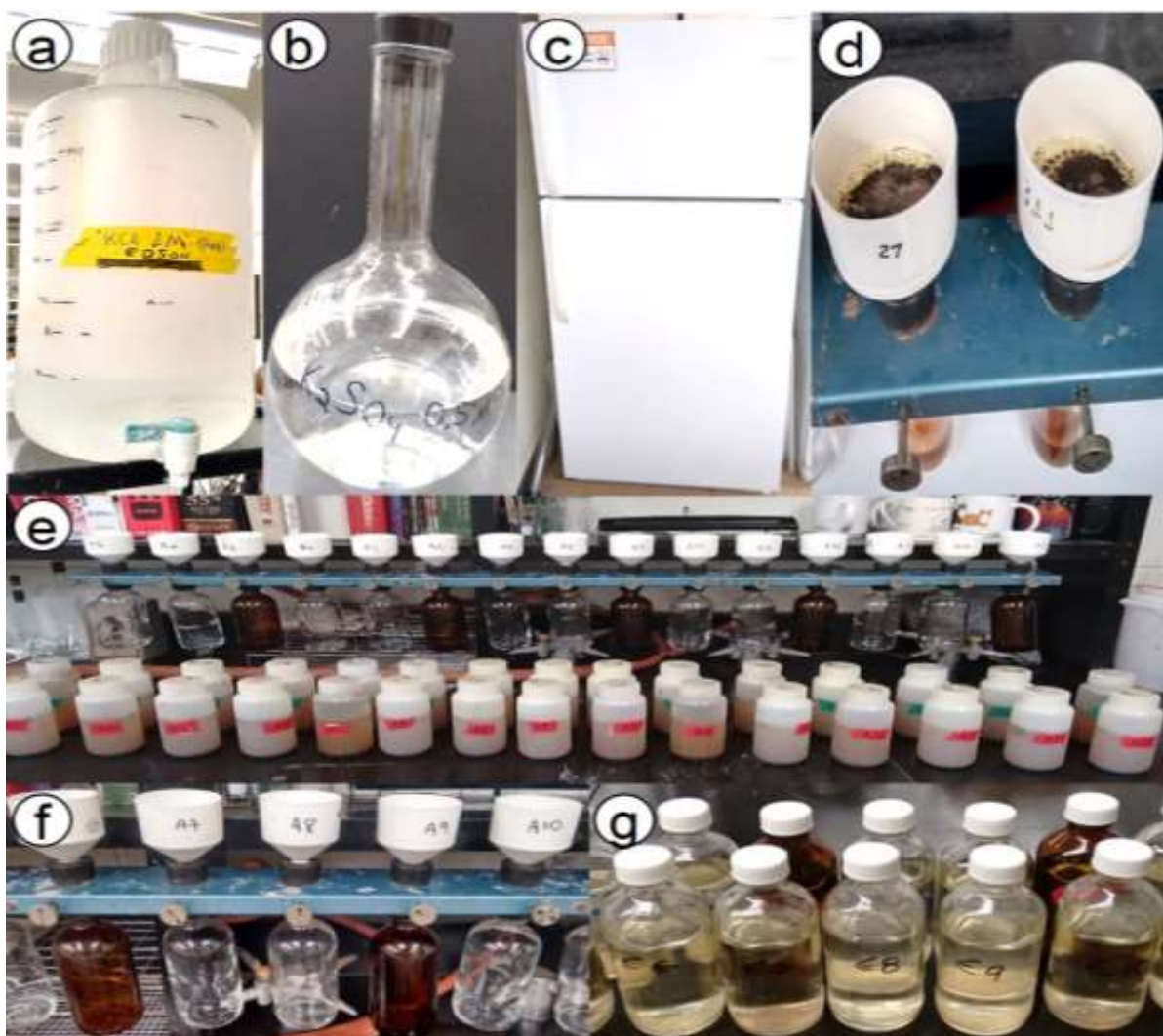


Figura 6. Preparo dos extratos de solo do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease; a=solução de KCl PMA para extração do N-mineral do solo; b=solução de K_2SO_4 (0,5 M); c=refrigerador para acondicionamento das amostras; d=resíduo de solo do extrato filtrado; e=conjunto de filtração e extratos de solo sob repouso para decantação; f=detalhe do acoplamento dos frascos de coleta do extrato filtrado; g=extrato de solo pronto

4.2.3.2. Análise de N-NH₄⁺

Utilizando o extrato de solo, foi pipetada alíquota (Tabela 2) em frascos “Mason Jar” (Figura 7 a, b). Adicionou-se 0,3 g de MgO com auxílio de cachimbo e realizou-se leve agitação para mistura da amostra com o reagente básico (Figura 7c, d).

A tampa do frasco foi preparada fixando a placa de Petri contendo 5 mL de solução ácida de H₃BO₃ mais indicadores e, o frasco foi fechado e selado com auxílio do anel de metal do “Mason Jar” (Figura 5 d). As unidades foram levadas para chapa aquecedora (45 – 50°C) por pelo menos 4 horas para completo processo de difusão (Figura 7 i).

Tabela 2. Alíquotas pipetadas para análise do nitrogênio mineral contido nos extratos de solo do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease

Coleta	Análises		
	NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺ +NO ₃ ⁻
	mL		
1	15	15	15
2	20	20	20
3	20	20	20
4	25	20	20
5	15+2*	15+2*	15+2*

*mL de padrão (NH₄)₂SO₄ 100 mg mL⁻¹

Ao retirar os frascos da chapa aquecedora, estes foram abertos e removeu-se a placa de Petri com a amostra difundida, adicionou-se 5 mL de H₂O deionizada à amostra e, realizou-se a titulação com H₂SO₄ 0,01 M para a análise da quantidade de nitrogênio da unidade (Figura 7 h, j).

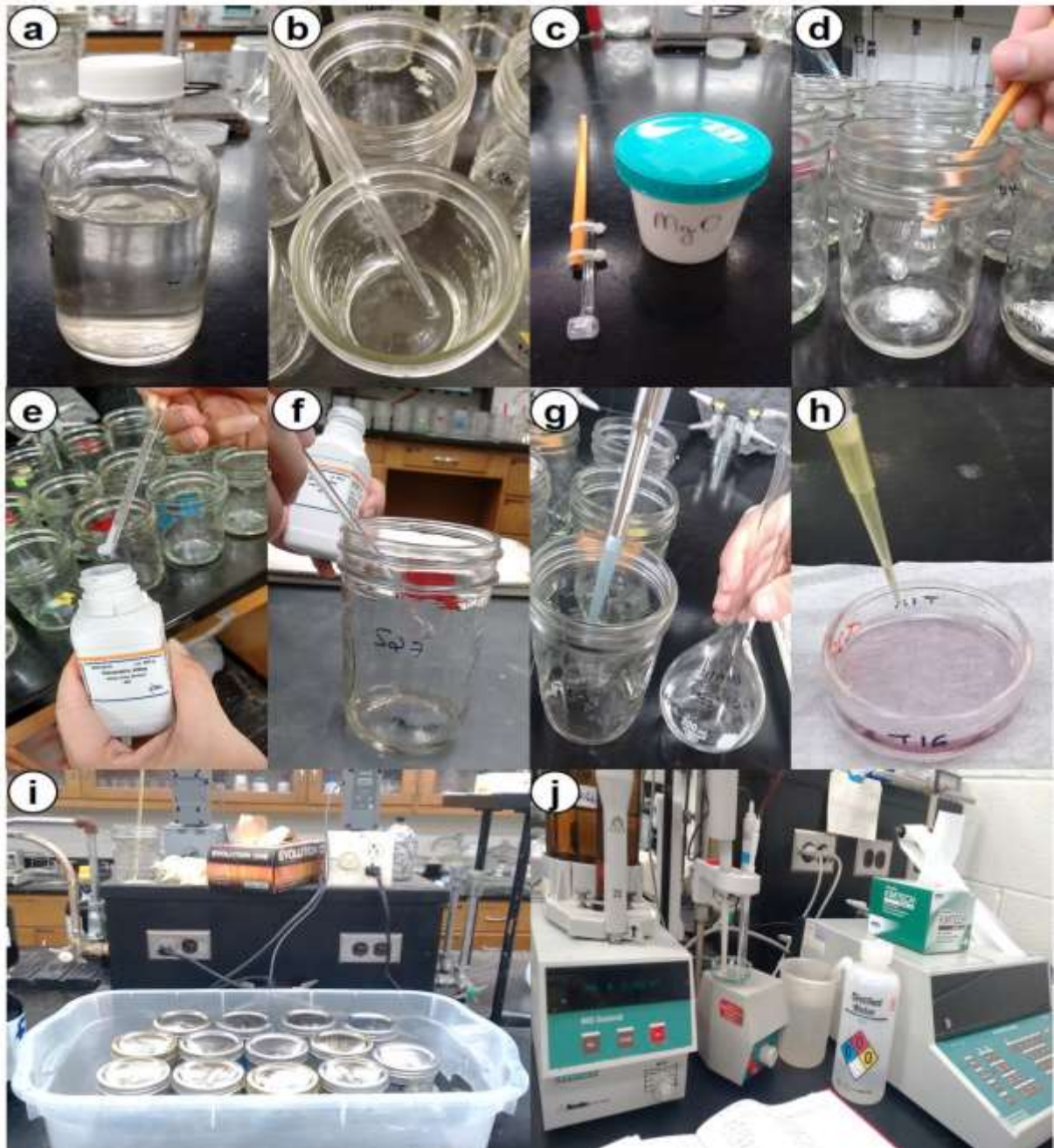


Figura 7. Procedimentos de difusão para as análises de N-NH_4^+ , N-NO_3^- , N-NO_2^- do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease; a=extrato de solo; b=amostra pipetada em frasco “Mason Jar”; c=reagente básico utilizado (MgO); d=adição de MgO à amostra pipetada em frasco “Mason Jar”; e=Liga de Devarda; f=aplicação da Liga de Devarda a amostra pipetada; g=aplicação de ácido sulfâmico a amostra pipetada; h=adição de água deionizada à amostra difundida; i=chapa aquecedora para difusão do nitrogênio proveniente das amostras do extrato de solo; j=titulado automático

4.2.3.3. Análise de N-NO_3^- e N-NO_2^-

As análises de N-NO_3^- e NO_2^- provenientes do extrato de solo foram realizadas através de análises de $\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-+\text{NO}_2^-$ e $\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-$, assim os dados foram obtidos por diferenças entre as metodologias aplicadas.

Para as análises de N-NO_3^- , foi pipetada alíquota (Tabela 2) do extrato do solo em frascos de “Mason Jar” (Figura 7 b) e adicionou-se, com auxílio de cachimbo, para a análise de $\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-+\text{NO}_2^-$, 0,2 g de Liga de Devarda

(conversão do N- NO_3^- para NH_4^+) com posterior agitação leve e, adicionou 0,3 g de MgO com posterior agitação leve para completa mistura da amostra com o reagente (Figura 7 c, d, e, f).

Para as análises de $\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-$, foi adicionado, na amostra pipetada proveniente do extrato de solo, 1 mL de ácido sulfâmico (H_3NSO_3 0,2M) seguido de agitação circular leve por período de 30 segundos (adicionado para a eliminação de todo o NO_2^- na amostra) (Figura 7 g). Após isso, foi adicionado 0,2 g de Liga de Devarda, agitado levemente e, então, adicionou-se 0,7 g de MgO com auxílio de cachimbo agitando o frasco levemente (Figura 7 c, d, e, f).

A tampa do frasco foi preparada pela fixação da placa de Petri e adição de 5 mL de solução ácida de H_3BO_3 mais indicadores, fechou-se e selou-se o “Mason Jar” utilizando o anel do frasco e, foi levado a chapa aquecedora (45 – 50°C) por pelo menos 4 horas para completo processo de difusão (Figura 7 i). Os frascos foram retirados da chapa aquecedora, abertos e tiveram sua placa de Petri (com a amostra difundida) removida para a adição de 5 mL de água deionizada e, realizou-se a titulação com H_2SO_4 0,01 M (Figura 7 h, j).

O valor de NO_2^- foi obtido descontando se o resultado da análise de $\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-$ da análise de $\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-+\text{NO}_2^-$ e, o valor de NO_3^- foi obtido descontando o resultado da análise de NH_4^+ da análise de $\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-$.

4.2.3.4. Análise de N-ureia

Utilizando o extrato de solo, foi pipetada alíquota de 3 -5 mL em balão volumétrico com capacidade para 50 mL trazendo seu volume a 10 mL com solução de KCl PMA 2M (Figura 8 a, b, c). Destaca-se que, o uso do acetato de fenilmercúrio na solução salina utilizada para o preparo dos extratos de solo teve por objetivo inibir a continuidade das transformações químicas da ureia para outras formas (minerais e/ou orgânicas), deste modo, preveniu-se que a agitação decorrente do preparo dos extratos, o tempo decorrido e, a maior interação do fertilizante com o solo e solução, interferisse com os resultados no momento da análise e, assim, não superestimou ou subestimou as frações de nitrogênio analisadas.

Adicionou-se ao balão volumétrico 30 mL de reagente cromogênico, preparado através da mistura de 50 mL de solução de Diacetil monoxime (preparada com 2,5 g do reagente diluído em 100 mL H_2O deionizada) com 30 mL de solução de Tiosemicarbazida (preparada com 0,25 g do reagente diluído em 100 mL de H_2O deionizada), diluída essa mistura, a 1000 mL com reagente ácido, composto de 40 mL de ácido sulfúrico concentrado (18M) em 1000 mL de ácido fosfórico com volume completado a 2000 mL com H_2O deionizada, em balão volumétrico com capacidade para 2 L. É importante citar que o reagente de cor deve ser preparado apenas no momento do uso (Figura 8 d, e, f).

Os balões contendo a alíquota amostral foram agitados e levados a banho Maria (85°C \pm 0,5 sob agitação) por período de 30 minutos, ocorrendo a reação no escuro, ou seja, o banho maria necessitou ser coberto, ou as luzes do laboratório foram apagadas (Figura 8 g, h).

Após 30 minutos as luzes foram acesas, as amostras foram retiradas do banho Maria e, resfriadas em água corrente. O volume do balão foi completado para 50 mL com H_2O deionizada e agitado, então foi levado para leitura de absorbância e intensidade da cor vermelha em colorímetro (marca Klett – Summerson) ajustado a 540 nm (Figura 8 i, j). Ressalta-se que, para estas leituras, foi traçada curva padrão de ureia em KCl PMA 2 M nas concentrações de 0, 10, 50 e 100 μg , de N, os padrões foram submetidos aos mesmos procedimentos das amostras (Figura 8 j).



Figura 8. Procedimentos de análise de N-ureia do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease; a=extrato de solo; b=pipetagem da alíquota do extrato do solo; c, d, e, f preparação e aplicação do reagente de cor; g=Banho Maria; h=detalhe do Banho Maria - hélice de agitação para manutenção da homogeneidade térmica; i=cubeta do colorímetro; j=equipamento colorimétrico para leitura das absorbâncias das amostras

Após a análise de N-ureia, foram finalizadas todas as amostras de nitrogênio mineral.

4.2.4. Análise da fração do N-orgânico no solo (total)

As análises de N-orgânico no solo foram realizadas, como citado, com o resíduo de solo retido na filtragem do preparo do extrato de solo, após lavagem com 25 mL de K_2SO_4 0,5M para eliminação de possíveis resíduos de N-mineral (Figura 6 e, f, g).

O resíduo de solo foi seco ao ar e moído em mortor com pistilo, as amostras moídas foram acondicionadas em potes plásticos para a análise do conteúdo total de N (Figura 9 a, b, c).

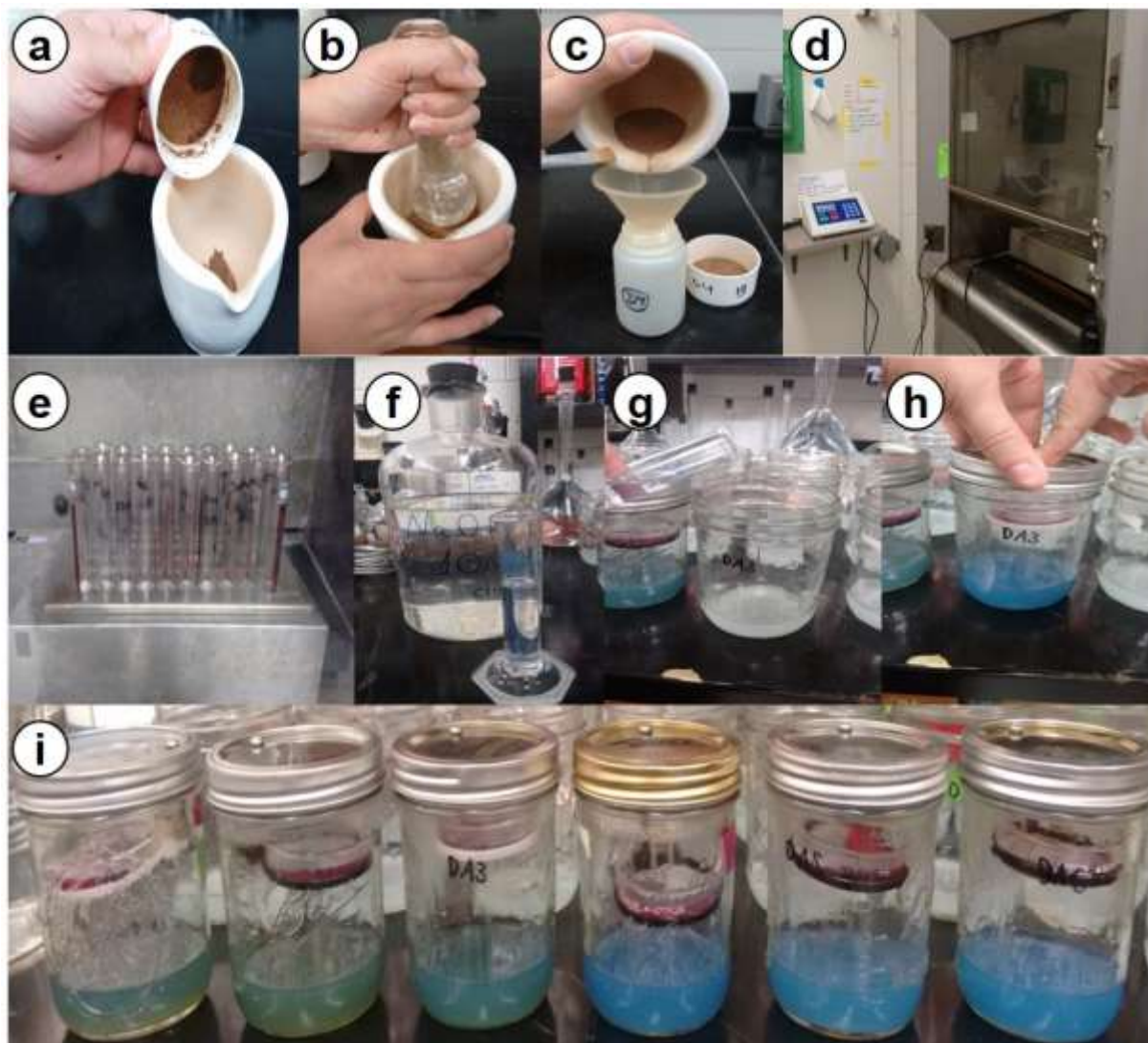


Figura 9. Procedimentos de análise do nitrogênio orgânico proveniente do experimento de fracionamento da ureia convencional e com inibidores de urease; a=amostra do resíduo de solo seco; b=moagem da amostra em mortor; c=transferência e acondicionamento da amostra moída; d=capela de exaustão e programador do bloco digestor; e=bloco digestor para 40 tubos; f=hidróxido de sódio utilizado para neutralização das amostras digeridas; g=neutralização do extrato digerido; h=agitação e fechamento dos frascos; i=evolução da neutralização dos extratos das amostras digeridas – frascos a esquerda possuem maior tempo de neutralização

A análise de N-orgânico total foi realizada em bloco digestor com capacidade para 40 tubos, dentro de capela de exaustão, seguida foi conduzida a metodologia de difusão em “Mason Jar” (Figura 9 d, e).

Amostras contendo 0,5 g de solo foram transferidas para tubos de digestão com capacidade para 50 mL, foi adicionado 1,5 g de mistura catalítica de K_2SO_4 (preparada pela moagem, em mortor, por completo, de 20 g de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ seguida de mistura com 2 g de Se e, adicionou-se a mistura 200 g de K_2SO_4 em pó), adicionada através de funil de cano longo (evitou que a mistura fosse aderida as paredes do tubo). Adicionaram-se, então, 4 mL de H_2SO_4 concentrado (18 M) levando os tubos para bloco digestor. A temperatura foi elevada para $250^\circ C$ por período de 5 horas.

Após o término da digestão, os tubos foram deixados em repouso para resfriamento e, então, adicionaram-se 5 mL de H₂O deionizada ao tubo. O extrato mais o material decantado foram agitados vigorosamente em vortex e transferiu-se a amostra para o “Mason Jar”, realizou-se procedimento de lavagem do tubo (adicionou 5 mL de H₂O deionizada, agitou em vortex e novamente transferiu para o “Mason Jar”) por mais 4 vezes sendo todo o conteúdo transferido para os frascos. Utilizando pisceta, as paredes dos frascos foram lavadas resultando em volume final de cerca de 40 mL.

A amostra nos frascos foi neutralizada adicionando, com auxílio de proveta graduada, 20 mL de NaOH 10 M agitando levemente o frasco (Figura 9 f, g). Aguardou-se cerca de 5-10 segundos após agitação e, então, o frasco foi fechado com a tampa do “Mason Jar” (preparada com a placa de Petri contendo 5 mL de solução de H₃BO₃ mais indicadores) e selado com o anel (Figura 9 h, i).

Os frascos foram levados para chapa aquecedora (45 – 50°C) para difusão por período de pelo menos 12 horas, após o término desta, os frascos foram abertos, removeu-se a placa de Petri com a amostra difundida e, adicionou-se 5 mL de H₂O deionizada, sendo levada para titulação com H₂SO₄ 0,01 M, como as demais análises por difusão.

4.3. Análise estatística

Os dados foram analisados realizando análises de contraste ortogonais nos tratamentos e, análises de regressão das variações das frações de nitrogênio provenientes da ureia, no tempo. Os dados finais da volatilização de amônia foram submetidos a análise de comparação de médias por Tukey a 5% de probabilidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do fracionamento do nitrogênio proveniente da aplicação da ureia convencional e com inibidores de urease foram submetidos à análise de contrastes, nos quais comparou-se a influência da presença da palha na superfície do solo sobre as diferentes frações resultantes da aplicação do fertilizante no tempo.

A primeira fração analisada foi a amônia volatilizada, com exceção da coleta de 4 dias após instalação experimento, houve significância da presença e ausência da palha sobre a volatilização. Ao considerar a primeira coleta foi verificado que a palha exerceu efeito sobre a volatilização de amônia, ou seja, a presença de palha resultou em maiores perdas de nitrogênio dos tratamentos sob esta condição (Tabela 3 e Figura 10).

Lara Cabezas, Korndorfer e Motta (1997b), Pereira et al. (2009), assim como Rojas et al. (2012) relataram a influência da palha no início da volatilização, o maior conteúdo de urease contida nos resíduos vegetais, assim como as condições favoráveis de temperatura e umidade do solo disponível, fundamentais a volatilização (OVERREIN; MOE, 1967; WATKINS et al., 1972; RAO; BATRA, 1983; BOUWMEESTER; VLEK; STUMPE, 1985) ocasionaram maior intensidade de volatilização nos tratamentos na primeira coleta do experimento.

Ressalta-se que o padrão de volatilização encontrado para todos os tratamentos ratifica a rápida solubilização da ureia, com subsequente hidrólise. Desta forma, a maior hidrólise inicial resulta na maior velocidade e adiantamento do pico de volatilização logo nos primeiros dias, como encontrado em diversos trabalhos na literatura (BERNARDI et al., 2013; FARIA et al., 2013; GURGEL, et al., 2016) (Figura 10, 11). As tecnologias de inibição da urease podem auxiliar na diminuição e no atraso dos picos de volatilização permitindo assim a manutenção do nitrogênio no solo, o que possibilita maior absorção do nutriente pelas culturas e, portanto, aumento da eficiência da aplicação do insumo.

No decorrer das demais coletas, foi observado que houve inversão nos valores das maiores volatilizações dos tratamentos (Figura 10, 11). Os tratamentos com ausência de palha em superfície obtiveram maiores volatilizações frente à ausência desta condição, indo de encontro ao encontrado na literatura por (SANGOI et al., 2003; DA ROS; AITA; GIACOMINI, 2005), porém muitos relatos são encontrados contrastando com o resultado obtido.

Pôde-se inferir dois aspectos para este resultado, o primeiro é relativo a umidade retida pela palha, a maior manutenção desta, frente ao solo sem presença de palha, diminuiria os processos de difusão ascendente do NH_3 e, tendo a unidade de observação trocas gasosas pelo orifício superior da unidade, a volatilização poderia ser diminuída, além das condições mais favoráveis a nitrificação, sendo evidenciado maiores valores de N-NO_2 e N-NO_3 no decorrer das coletas nos tratamentos com palhada (SANGOI et al., 2003).

A segunda inferência, em contraste a primeira, se deveria a menor umidade na região de contato do grânulo com a palha frente ao solo sem palha, dada a instalação ter sido realizada com a colocação da palhada sobre o solo úmido (para evitar a dispersão dos resíduos vegetais) a ascendência da água nos resíduos vegetais (evidenciada visualmente), pode ter resultado em umidade inferior a condição contrastante e, sendo a umidade fundamental para a volatilização (DA ROS; AITA; GIACOMINI, 2005), os valores encontrados foram menores.

Tabela 3. Resultados da análise de contraste entre os grupos com e sem presença de palha do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease

DAI	Contraste	N-NH ₃		N-NH ₄		N-NO ₃	
		F	média %	F	média %	F	média %
2	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	136,16**	8,83 x 10,20	0,06 ^{ns}	68,94 x 69,00	45,30**	4,53 x 3,31
4	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	8,59 ^{ns}	25,32 x 25,01	43,63**	57,18 x 58,40	0,17 ^{ns}	3,09 x 3,18
8	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	4815,08**	45,15 x 33,86	123,37**	27,89 x 26,24	240,73**	5,18 x 8,85
14	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	16993,7**	50,03 x 37,45	5417,15**	20,62 x 10,14	2171,07**	7,52 x 19,24
28	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	3521,20**	51,98 x 38,37	1306,36**	7,71 x 0,42	419,55**	19,69 x 25,56

DAI	Contraste	N-NO ₂		N-Ureia		N-Org	
		F	média %	F	média %	F	média %
2	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	167,34**	0,74 x 2,73	55,51**	14,05 x 11,19	63,75**	2,86 x 5,35
4	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	84,03**	1,82 x 4,00	693,87**	5,49 x 2,32	0,94 ^{ns}	10,44 x 10,88
8	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	113,32**	11,54 x 14,20	85,82**	2,18 x 2,60	14,53 ^{ns}	15,39 x 17,61
14	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	166,40**	9,21 x 5,78	0,73 ^{ns}	0,95 x 1,03	400,91**	18,31 x 28,14
28	TS1 TS2 TS3 TS4 TS5 vs TP1 TP2 TP3 TP4 TP5	4,22 ^{ns}	4,09 x 3,49	0,00 ^{ns}	0,00 x 0,00	753,64**	23,15 x 34,54

ns=não significativo; *=significativo a 5% de probabilidade; **=significativo a 1% de probabilidade; DAI=dias após instalação do experimento; TS1=Ureia (sem palha); TS2=Ureia+H₃BO₃+CuSO₄ aplicado na superfície do grânulo (sem palha); TS3=Ureia+H₃BO₃+CuSO₄ aplicado incorporado ao grânulo (sem palha); TS4=Ureia+NBPT aplicado na superfície do grânulo (sem palha); TS5=Ureia+NBPT aplicado incorporado ao grânulo (sem palha); TP1=Ureia (com palha); TP2=Ureia+H₃BO₃+CuSO₄ aplicado na superfície do grânulo (com palha); TP3=Ureia+H₃BO₃+CuSO₄ aplicado incorporado ao grânulo (com palha); TP4=Ureia+NBPT aplicado na superfície do grânulo (com palha); TP5=Ureia+NBPT aplicado incorporado ao grânulo (com palha)

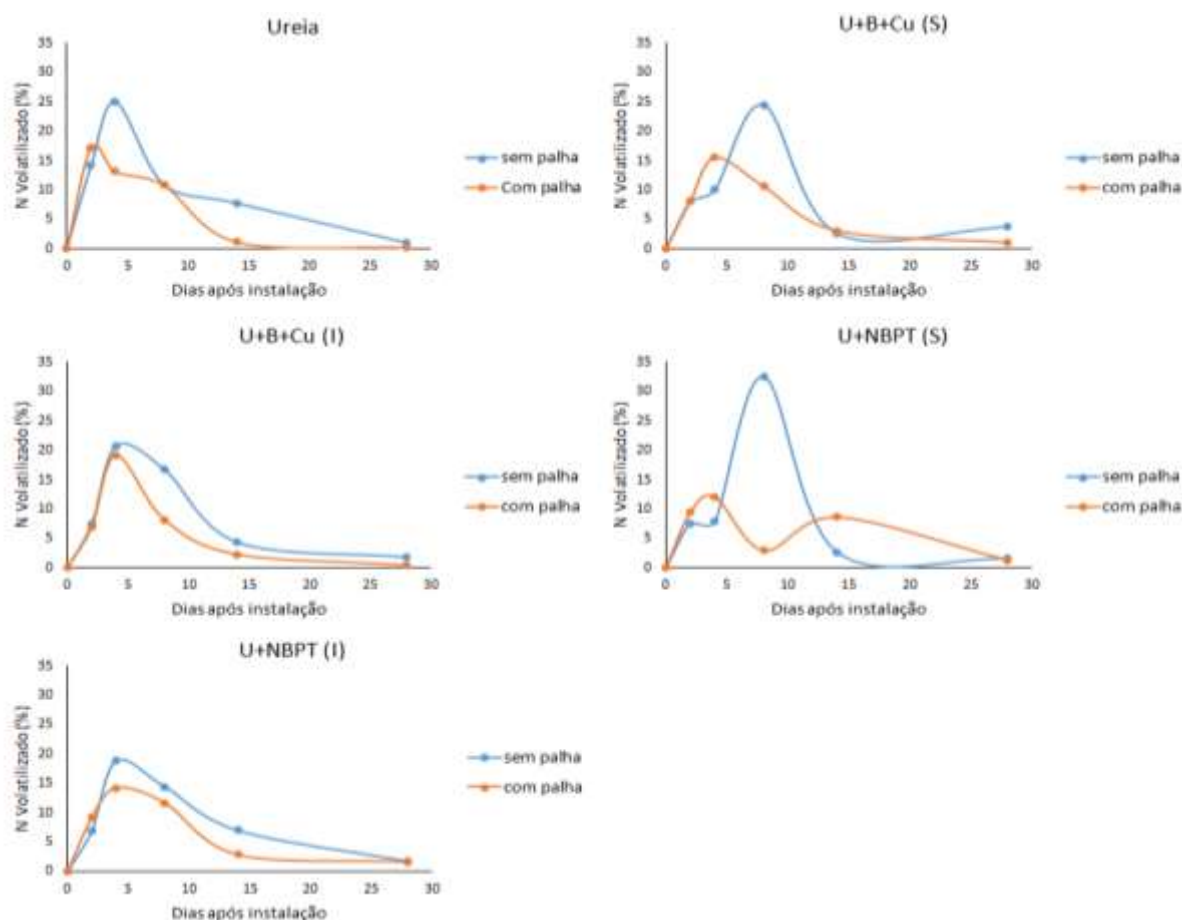


Figura 10. Perfis de volatilização dos tratamentos, em relação a presença de palha, do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e com inibidores de urease; U=ureia; B=ácido bórico (H₃BO₃); Cu=sulfato de cobre (CuSO₄); S= inibidor na superfície do grânulo; I= inibidor incorporado na estrutura do grânulo.

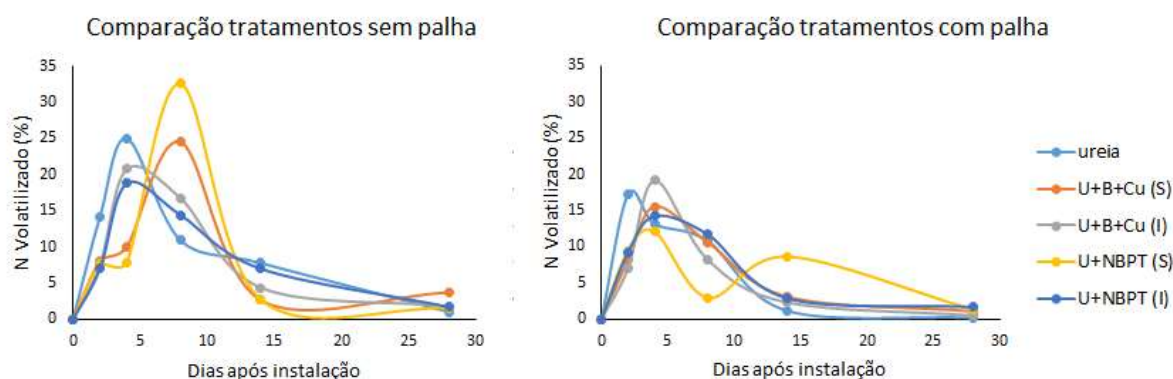


Figura 11. Comparação dos perfis de volatilização dos tratamentos do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease; U=ureia; B=ácido bórico (H_3BO_3); Cu=sulfato de cobre ($CuSO_4$); S=aplicação do inibidor na superfície do grânulo; I=aplicação do inibidor incorporado na estrutura do grânulo

Em relação ao N-Ureia, dada sua alta solubilidade, esta foi em grande parte solubilizada e hidrolisada no solo restando fração inferior a 3% do seu total logo nos primeiros dias do experimento. Em relação à palha, houve influência do solo sobre esta fração, na primeira e segunda coletas, sendo que o pico de volatilização ocorrido ratifica a maior hidrólise e conversão do N amídico para as outras formas no solo (Tabela 3).

Análise de regressão realizada indicou que o decaimento da ureia foi determinante para as demais frações, onde foi destacado o maior decaimento da ureia frente a maior elevação da fração N-NH₄, além do aumento da volatilização, sendo que toda a ureia foi passada para as formas de amônia e amônio (Figura 12, 13).

Ao considerar a influência da presença ou ausência da palha na fração N-NH₄, foi constatado que, a primeira coleta não apresentou significância. A segunda coleta mostrou que a presença de palha de milho aplicada na superfície do solo foi dominante à fração amônio, resultado inverso encontrado nas demais coletas onde a ausência de palha resultou nos maiores resultados em comparação a presença da palha. O N-NH₄ é o primeiro produto mineral resultante no solo, após a hidrólise da ureia e a reação do NH₃ formado com os prótons do solo (FENN; KISSEL, 1973; KISSEL; CABRERA; FERGUNSON, 1988; CANTARELLA, 2007). Diante deste exposto, a maior influência ocorrida pelos tratamentos com ausência de palha, encontrada para a volatilização, indica maior hidrólise da ureia, assim, este fato refletiu na maior taxa de amonificação do nitrogênio amídico encontrada no início do experimento (Tabela 3).

O decaimento desta fração, no decorrer das coletas, foi mostrado pela transformação e incremento ocorridos nas demais frações, não importando a presença ou ausência da palha. As análises de regressão mostraram que a fração N-NH₄ obteve alta dependência da variação das demais frações na qual pôde se destacar as elevações ocorridas nas frações N-NO₃ (processo de nitrificação) e N-orgânico (processo de imobilização) (Figura 12, 13).

Desta forma, é evidenciada a ocorrência dos processos de nitrificação e imobilização do fertilizante no solo onde se ressalta a alta velocidade e o alto dinamismo sofrido pelo nitrogênio que, em curto período de tempo, passou por diversas transformações no solo.

Os dados de nitrito (N-NO₂) mostraram que a presença da palha apresentou efeito significativo para esta fração durante a primeira semana do experimento sendo esse efeito contrário para os demais dias de coleta, porém atentar que as quantidades encontradas até a coleta de 4 dias foram pequenas (Tabela 3). Cantarella (2007), apresentou relato de Firestone (1982) que, durante o processo de nitrificação, podem haver acúmulos de nitrito resultante da inibição das bactérias do gênero *Nitrobacter*, responsáveis pela passagem da forma N-NO₂ para N-NO₃, dada a

presença de NH₃. Do exposto, inferiu-se que a maior volatilização ocorrida, na presença de palha, no início do experimento causou inibição de maior intensidade, frente a ausência de palha (primeira coleta), causando maiores valores de nitrato para os tratamentos com palha.

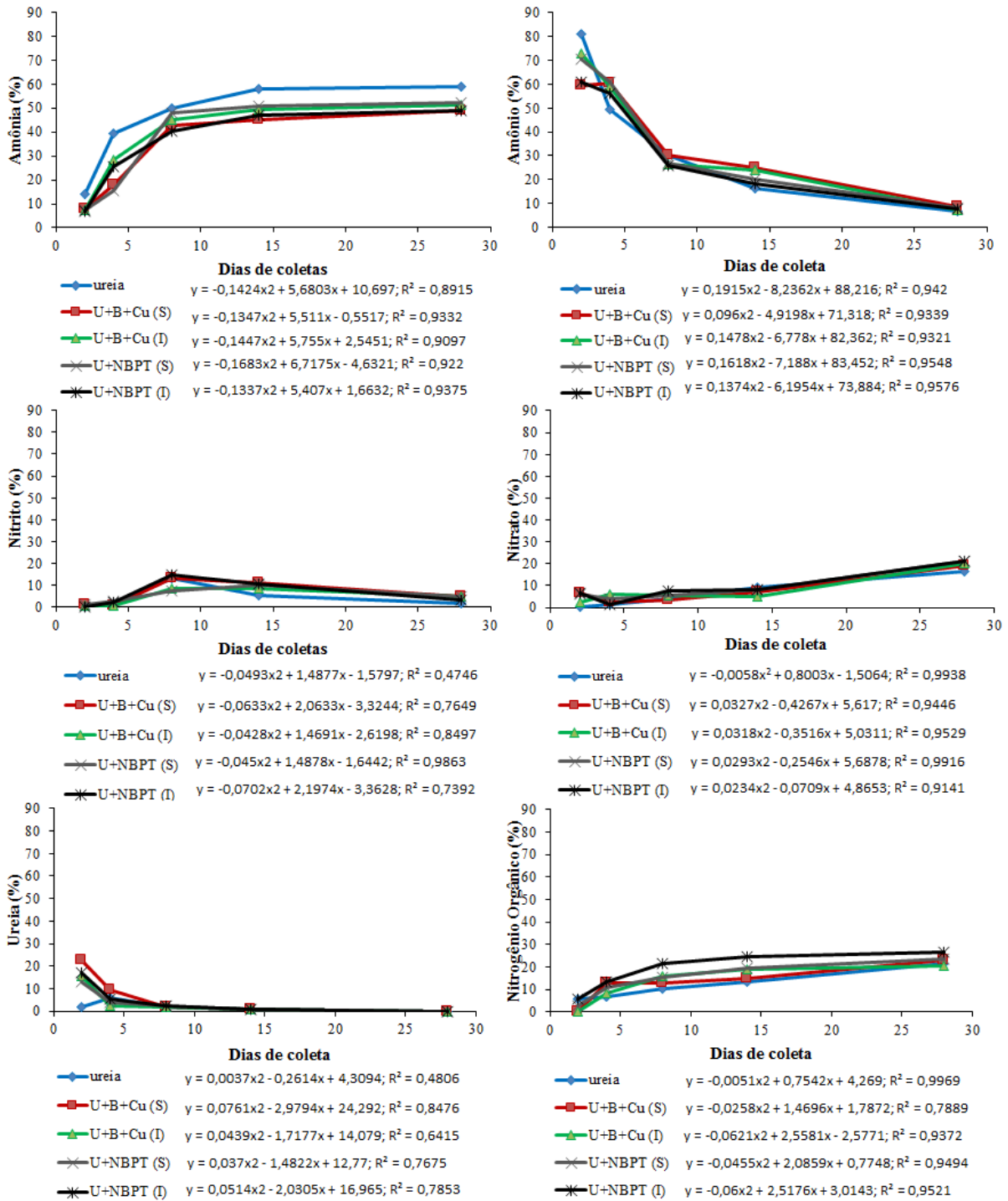


Figura 12. Análise de regressão, em relação a ausência de palha, do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease; U=ureia; B=ácido bórico (H₃BO₃); Cu=sulfato de cobre (CuSO₄); S=aplicação do inibidor na superfície do grânulo; I=aplicação do inibidor incorporado na estrutura do grânulo.

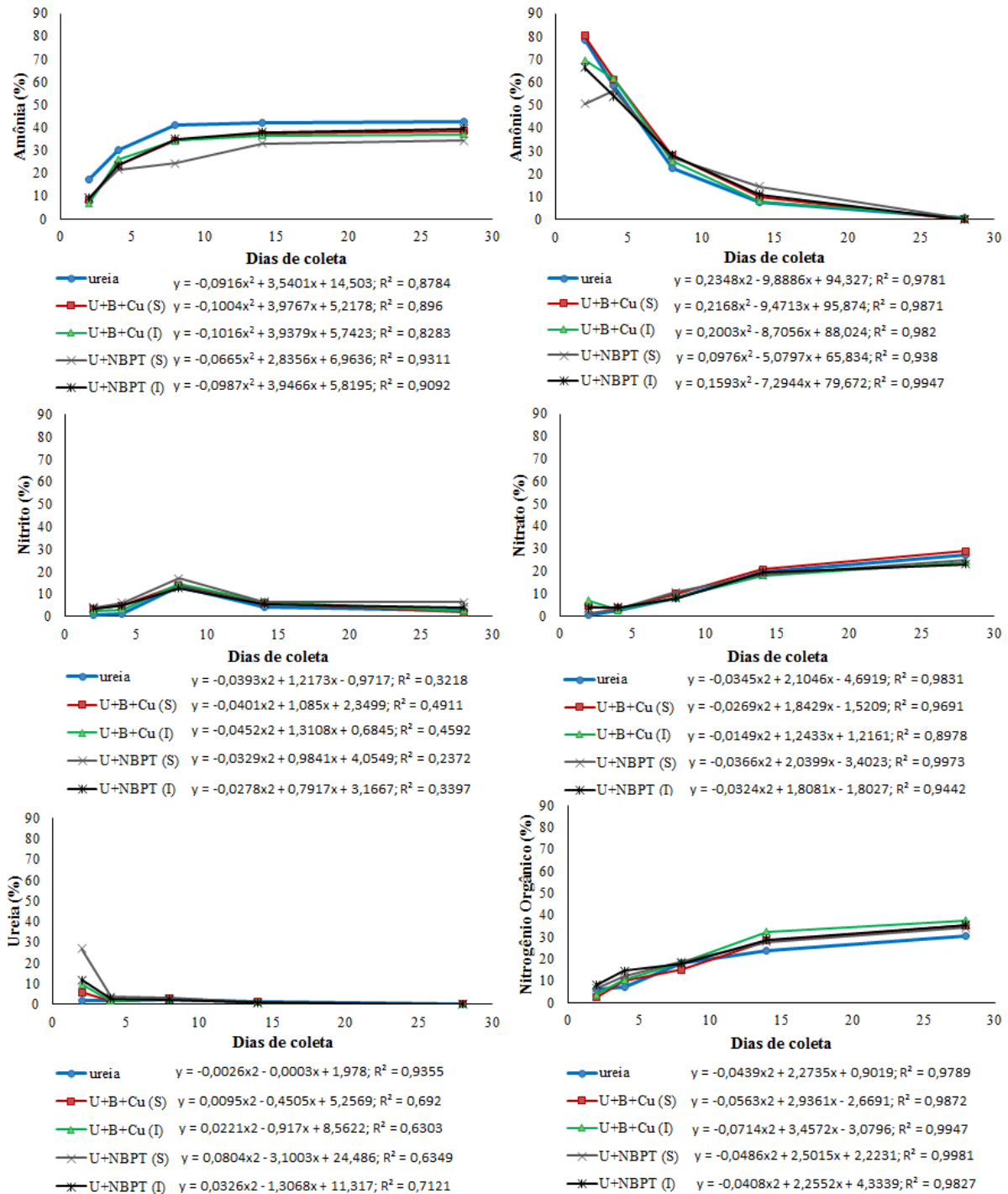


Figura 13. Análise de regressão, em relação a presença de palha, do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease; U=ureia; B=ácido bórico (H_3BO_3); Cu=sulfato de cobre ($CuSO_4$); S=aplicação do inibidor na superfície do grânulo; I=aplicação do inibidor incorporado na estrutura do grânulo.

No decorrer do experimento, a inversão ocorrida nos valores de volatilização resultou no efeito contrário observado na coleta de 14 dias do experimento e, ao final do experimento não houve influência da presença ou ausência da palha nas quantidades de nitrito encontradas.

Em relação as análises de regressão, podem ser utilizadas para mostrar a alta dependência da dinâmica do nitrato frente as demais fontes. Pode ser inferido que a diminuição das quantidades de amônio, ocorrida pelo processo de nitrificação, iniciou as variações na quantidade de nitrato e, com a maior formação de nitrato, houve o decaimento desta fração no solo (Figura 12, 13).

O prosseguimento do processo de nitrificação representado pela fração N-NO₃ evidenciou que a presença, ou ausência, de restos vegetais apresentou efeito a partir da primeira semana do experimento. A ausência de significância pode ter se dado devido a maior intensificação do processo de nitrificação ocorrida apenas a partir da coleta de 8 dias, em que a presença de palha exerceu influência nas quantidades de nitrato encontradas (Tabela 3). O resultado corrobora com o encontrado por Silva e Vale (2000), em que a maior quantidade de material orgânico resultou em maiores taxas de nitrificação e, assim, nos maiores valores de nitrato encontrados. A análise de regressão mostrou alta dependência da elevação dos valores do N-NO₃ frente as demais frações, independente da presença ou não de resíduos vegetais sobre a superfície do solo (Figura 12, 13). Ressalta-se que a importância desta forma no cenário final estudado se destaca pelo fato do nitrato ser uma das formas preferenciais de absorção e, dada a nitrificação constituir um processo natural, a fonte de N mineral à planta proveniente dos fertilizantes, no decorrer do tempo, terá como produto o NO₃⁻.

Ao considerar o nitrogênio relativo à fração orgânica, foi evidenciado que houve diferenças entre a presença, e ausência, de palha no sistema (Tabela 3). A palha exerceu efeito sobre a imobilização do nitrogênio nos primeiros dias e após duas semanas do experimento, ou seja, sua presença resultou em maiores taxas de imobilização do nitrogênio aplicado proveniente do fertilizante. O resíduo vegetal aplicado ao solo, palhada de milho, por possuir alta relação C/N (superior a 50), reflete em maior necessidade de consumo de N mineral por parte dos microrganismos para a manutenção do crescimento da população uma vez que, há maior disponibilidade de carbono (energia) (CANTARELLA, 2007).

Ao aplicar os tratamentos sobre a palhada, a grande disponibilidade de energia tendeu ao aumento da população microbiana para a decomposição do resíduo e, para esta decomposição foi necessário maior consumo do nitrogênio, sendo este imobilizado ao solo (CANTARELLA, 2007; RAIJ, 2011). Como citado, embora os tratamentos sem palha tenham resultado em maior quantidade de amônio, foi no tratamento com palha que a houve a maior disponibilidade de carbono/energia, assim o decaimento da fração N-NH₄, na primeira coleta, se deveu a maior processo de nitrificação nos tratamentos sem presença de palha e imobilização na presença da palhada de milho.

Considerando as práticas de plantio direto utilizadas na agricultura, a imobilização do nitrogênio no solo com resíduos de alta relação C/N será comum fazendo com que grande parte do que foi aplicado seja incorporado ao solo, a curto prazo, não ficando disponível para a planta até a mineralização. Entretanto, por ser a matéria orgânica do solo a principal fonte de nitrogênio utilizada pelas plantas (CANTARELLA, 2007), a manutenção desse sistema induzindo a decomposição (baixando a relação C/N) e mineralizando o nitrogênio, é fundamental ao melhor funcionamento do sistema de produção.

As análises de regressão mostram que, independente da presença de palhada de milho no solo, houve dependência da imobilização do N aplicado frente as demais frações. Verificou-se que houve imobilização logo nos primeiros dias mostrando a importância deste processo que pode ser iniciado horas após a aplicação do insumo no campo.

A diferenciação da presença de palha se deu pelo cenário final encontrado onde evidenciou-se que, no período considerado, houve rápida transformação do fertilizante para as frações minerais, com predomínio da forma nítrica, frente a imobilização sofrida pelo nitrogênio no solo.

Ressalta-se que, mesmo com diferenciação na proporção das formas orgânicas e minerais ao final do experimento, foi observado, nos tratamentos com ausência de palha em superfície, valor entre 21 – 27% do nitrogênio imobilizado chegando a 30 – 38% em solo com resíduos de palha de milho.

Após a análise das diferenças analisadas entre os grupos ausência e presença de palha, foram analisados os contrastes envolvendo a forma de aplicação dos inibidores de urease aos grânulos da ureia. Foram observados os efeitos resultantes da utilização dos produtos aderidos a superfície, ou incorporados na estrutura do grânulo, quanto a volatilização da amônia e seus reflexos na quantidade do N-Ureia.

Tabela 4. Resultados da análise de contraste entre os tratamentos, com e sem presença de palha, do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease

Contraste	Coleta 1 (2 DAI)		Coleta 2 (4 DAI)		Coleta 3 (8 DAI)		Coleta 4 (14 DAI)		Coleta 5 (28 DAI)	
	N-NH ₃									
	F	média	F	média	F	média	F	média	F	média
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
TS2 vs TS3	4,10ns	8,01 x 7,48	1925,25**	18,03 x 28,23	44,89**	42,43 x 44,96	373,01**	44,15 x 49,32	19,09*	48,87 x 51,11
TS2 vs TS4	2,87ns	8,01 x 7,57	123,89**	18,03 x 15,44	226,52**	42,43 x 48,00	658,62**	44,15 x 50,69	42,70**	48,87 x 52,22
TS4 vs TS5	5,55ns	7,57 x 6,95	1964,00**	15,44 x 25,74	465,96**	48,00 x 40,15	271,79**	50,69 x 47,13	43,39**	52,22 x 48,84
TS3 vs TS5	4,10ns	7,48 x 6,95	114,19**	28,23 x 25,74	175,18**	44,96 x 40,15	102,73**	49,32 x 47,13	19,55*	51,11 x 48,84
TP2 vs TP3	18,75ns	8,14 x 7,01	111,45**	23,68 x 26,14	0,00ns	34,30 x 34,33	12,30ns	37,38 x 36,62	6,90ns	38,43 x 37,09
TP2 vs TP4	24,66**	8,14 x 9,44	87,19**	23,68 x 21,52	733,13**	34,30 x 24,46	396,65**	37,38 x 33,08	62,42**	38,43 x 34,38
TP4 vs TP5	0,91ns	9,44 x 9,19	65,68**	21,52 x 23,39	851,74**	24,46 x 35,07	504,00**	33,08 x 37,92	101,84**	34,38 x 39,56
TP3 vs TP5	69,57**	7,01 x 9,19	139,02**	26,14 x 23,39	4,18ns	34,33 x 35,07	36,50**	36,62 x 37,92	23,22**	37,09 x 39,56

ns=não significativo; *=significativo a 5% de probabilidade; **=significativo a 1% de probabilidade; DAI=dias após instalação do experimento; TS2=Ureia+H₃BO₃+CuSO₄ aplicado na superfície do grânulo (sem palha); TS3= Ureia+H₃BO₃+CuSO₄ aplicado incorporado ao grânulo (sem palha); TS4=Ureia+NBPT aplicado na superfície do grânulo (sem palha); TS5= Ureia+NBPT aplicado incorporado ao grânulo (sem palha); TP2=Ureia+H₃BO₃+CuSO₄ aplicado na superfície do grânulo (com palha); TP3= Ureia+H₃BO₃+CuSO₄ aplicado incorporado ao grânulo (com palha); TP4=Ureia+NBPT aplicado na superfície do grânulo (com palha); TP5= Ureia+NBPT aplicado incorporado ao grânulo (com palha)

Na primeira coleta, realizada aos 2 dias após instalação do experimento, foi verificado, em solo com ausência de palhada de milho, que não houve efeito da aplicação do H₃BO₃ + CuSO₄xH₂O e do NBPT tanto na superfície quanto incorporado ao grânulo, nas quantidades de amônia volatilizada (Tabela 4).

Na condição de presença de palha, houve diferenças quanto ao tipo de inibidor de urease utilizado. O H₃BO₃ + CuSO₄xH₂O aplicado tanto em superfície, quanto incorporado ao grânulo da ureia convencional, foi mais eficiente na redução inicial da volatilização do nitrogênio via gás amônia em comparação ao NBPT (Tabela 4).

A segunda coleta mostrou que a aplicação em superfície dos inibidores, independente da presença ou ausência de palha, obteve efeito positivo para a mitigação do problema da volatilização. Infere-se que a maior intensificação do processo de volatilização, dadas as condições favoráveis para o fenômeno (principalmente umidade e temperatura), consumiu mais os inibidores que estariam melhor distribuídos nas condições incorporadas ao grânulo após solubilização, ou seja, a maior disponibilidade do inibidor pode ter contribuído para seu maior consumo no solo. Dada a dinâmica encontrada para a volatilização da amônia, de maior intensidade em condições favoráveis a ocorrência do fenômeno por vota dos primeiros 5 dias (COSTA; VITTI; CANTARELLA, 2003; BERNARDI et al.,

2013; MOTA, 2013; GURGEL et al., 2016), a recomendação da aplicação dos inibidores de urease na superfície dos grânulos poderia resultar em melhores valores, para este momento (Tabela 4).

A verificação dos efeitos entre as fontes dos inibidores mostrou, na segunda coleta, que o uso do $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ obteve resultados inferiores aos encontrados no uso do NBPT. Ressalta-se que na presença de palha de milho na superfície do solo, os melhores resultados encontrados para o NBPT (independente da forma de aplicação do inibidor) pode ter se dado pelos melhores resultados encontrados para o $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ na primeira coleta, ou seja, um maior consumo inicial do ácido bórico e do sulfato de cobre com melhores resultados causou menor disponibilidade do produto para redução da volatilização na segunda coleta (Tabela 4).

Na terceira coleta, foi evidenciado, nas condições de ausência de palha, que a aplicação em superfície do inibidor $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ obteve resultado superior na mitigação da volatilização, resultado inverso encontrado para o NBPT. Em relação os efeitos da fonte do inibidor, o ácido bórico e o sulfato de cobre obtiveram melhor resultado em superfície frente a comparação com NBPT, mas ao considerar a aplicação de forma incorporada ao grânulo, O NBPT se mostrou superior ao $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Tabela 4).

Na presença de palha de milho, o ácido bórico combinado ao sulfato de cobre não mostrou significância quanto a forma de aplicação do inibidor. Para o NBPT, a aplicação do inibidor na superfície do grânulo foi superior à forma incorporada. A comparação entre os inibidores, em superfície, mostrou melhores resultados para o NBPT quanto a volatilização de amônia (Tabela 4).

Para a coleta 4, na ausência de palhada de milho, o $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ obteve os melhores resultados aplicado em superfície e, se mostrou superior comparado ao NBPT na mesma condição. Situação inversa foi encontrada para a forma de inibidor incorporada ao grânulo, o NBPT se mostrou superior à aplicação em superfície e superior quando comparado ao $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ com aplicação do inibidor incorporado (Tabela 4).

Em presença de palha de milho na superfície do solo, a forma de aplicação não mostrou significância para o ácido bórico e o sulfato de cobre, quanto ao NBPT a aplicação em superfície foi mais vantajosa na redução da volatilização quando comparado à forma incorporada. Comparando os dois inibidores, o $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ foi melhor em condições de aplicação na superfície do grânulo e, o NBPT foi superior em condições de incorporação do produto ao grânulo (Tabela 4).

A última coleta mostrou que o $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ obteve resultado superior em superfície do que aplicado incorporado ao grânulo, sua comparação ao NBPT nesta condição mostrou superioridade do primeiro na volatilização de amônia. O NBPT incorporado ao grânulo foi superior à sua forma incorporada e, nesta forma, este inibidor mostrou significância frente ao $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Nas condições de presença de palha na superfície do solo, o NBPT obteve melhores resultados aplicados na superfície tanto comparado entre si, quanto comparado a esta mesma condição para o ácido bórico e sulfato de cobre. O $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ apenas mostrou significância na forma incorporada sendo superior ao NBPT (Tabela 4, Figura 14).

Durante as coletas foram verificadas variações quanto aos resultados, como inversões dos efeitos quanto às coletas mostrando complexa dinâmica do nitrogênio e a importância de maiores pesquisas abordando a aplicação dos inibidores já que estes apresentaram potencial na redução da volatilização da amônia (Figura 14).

Ao analisar os valores de volatilização ao final do experimento foi verificado que, para a condição sem palha, a ureia convencional foi o tratamento com maior valor de volatilização atingindo 59% do total de nitrogênio aplicado diferindo dos demais tratamentos (Figura 14). As tecnologias aplicadas mostraram que o $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, quando aplicado em superfície obteve menor resultado diferindo do tratamento onde a tecnologia foi aplicada incorporada ao grânulo, valores de 48,9 e 51,1% foram encontrados, respectivamente (Figura 14). Em

relação ao NBPT, foi verificado que a tecnologia aplicada de forma incorporada ao grânulo resultou em menores valores de volatilização quando comparada à mesma tecnologia aplicada na superfície dos grânulos, os valores encontrados foram 48,8 e 52,2%, respectivamente (Figura 14).

A comparação do conjunto de tecnologias aplicadas mostrou que o uso do $H_3BO_3 + CuSO_4 \cdot xH_2O$ aplicado em superfície não diferiu do uso do NBPT aplicado incorporado ao grânulo sendo mais eficientes na redução da volatilização e, estes, diferiram do uso do $H_3BO_3 + CuSO_4 \cdot xH_2O$ aplicado incorporado ao grânulo e do NBPT aplicado em superfície, sendo que os últimos não diferiram entre si (Figura 14).

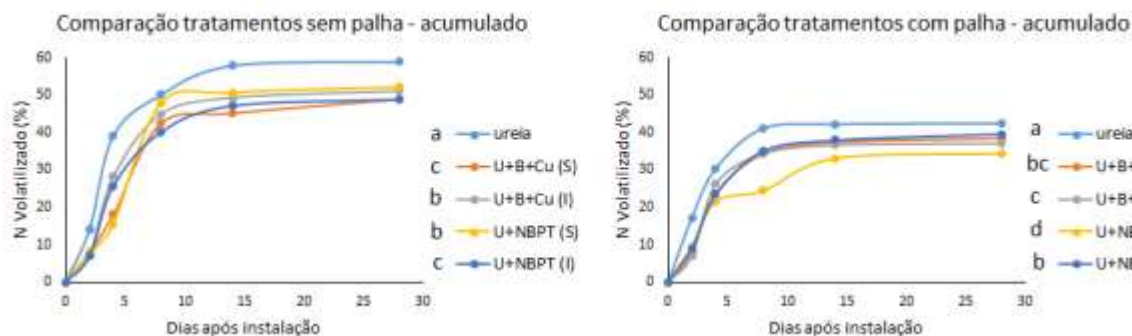


Figura 14. Comparação dos perfis de volatilização acumulada dos tratamentos do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease; U=ureia; B=ácido bórico (H_3BO_3); Cu=sulfato de cobre ($CuSO_4$); S=aplicação do inibidor na superfície do grânulo; I=aplicação do inibidor incorporado na estrutura do grânulo

Ao considerar a condição de presença de palha na superfície do solo, a ureia convencional foi o tratamento com maior valor de N volatilizado encontrado ao final do experimento (42,4%) diferindo de todos os demais tratamentos (Figura 14). A comparação entre a forma de aplicação das tecnologias mostrou que o $H_3BO_3 + CuSO_4 \cdot xH_2O$ não diferiu na aplicação do produto na superfície ou incorporado ao grânulo com valores de 38,4 e 37,1%, respectivamente (Figura 14). O NBPT aplicado em superfície foi mais eficiente na redução da volatilização do que o inibidor aplicado de forma incorporada com valores de 34,3 e 39,6%, respectivamente (Figura 14).

A comparação do conjunto de tecnologias mostrou que o NBPT aplicado na superfície do grânulo foi mais eficiente na redução da volatilização do que o $H_3BO_3 + CuSO_4 \cdot xH_2O$ aplicado incorporado ao grânulo, sendo este último de igual eficiência ao $H_3BO_3 + CuSO_4 \cdot xH_2O$ aplicado na superfície do grânulo, mas diferindo com maior eficiência do NBPT incorporado ao grânulo. O $H_3BO_3 + CuSO_4 \cdot xH_2O$ aplicado na superfície não diferiu do NBPT aplicado de forma incorporada ao grânulo da ureia convencional (Figura 14).

Do exposto, foi possível observar toda a dinâmica do nitrogênio desde a aplicação do grânulo da ureia, até suas transformações minerais e orgânicas no solo. Foi possível evidenciar as etapas de amonificação, nitrificação e imobilização no tempo, assim como as variações e interdependências causadas no balanço total do sistema pelo incremento ou decréscimo das demais frações. Dessa forma foi evidenciado, para ambas as condições, presença e ausência de palha, o rápido processo de hidrólise ocorrido que diminui as quantidades do N-Ureia passando as para a fração N- NH_3 e N- NH_4 e, da mesma maneira, foi verificada a evolução da nitrificação da fração amônio e a evolução do processo de imobilização do nitrogênio no solo, com maior intensidade de imobilização nos tratamentos com presença de material orgânico em superfície (Figura 15, 16).

Estudos mais prolongados podem possibilitar a verificação da maior dinâmica do elemento, principalmente, em relação a fração orgânica imobilizada podendo esta ser mineralizada disponibilizando o nutriente para as culturas agrícolas.

A recuperação do nitrogênio situando-se por volta dos 100% mostrou que a metodologia aplicada foi funcional e efetiva para o fracionamento do N do solo, mapeando as transformações ocorridas com o adubo aplicado de forma quantitativa e qualitativa (Figura 15, 16).

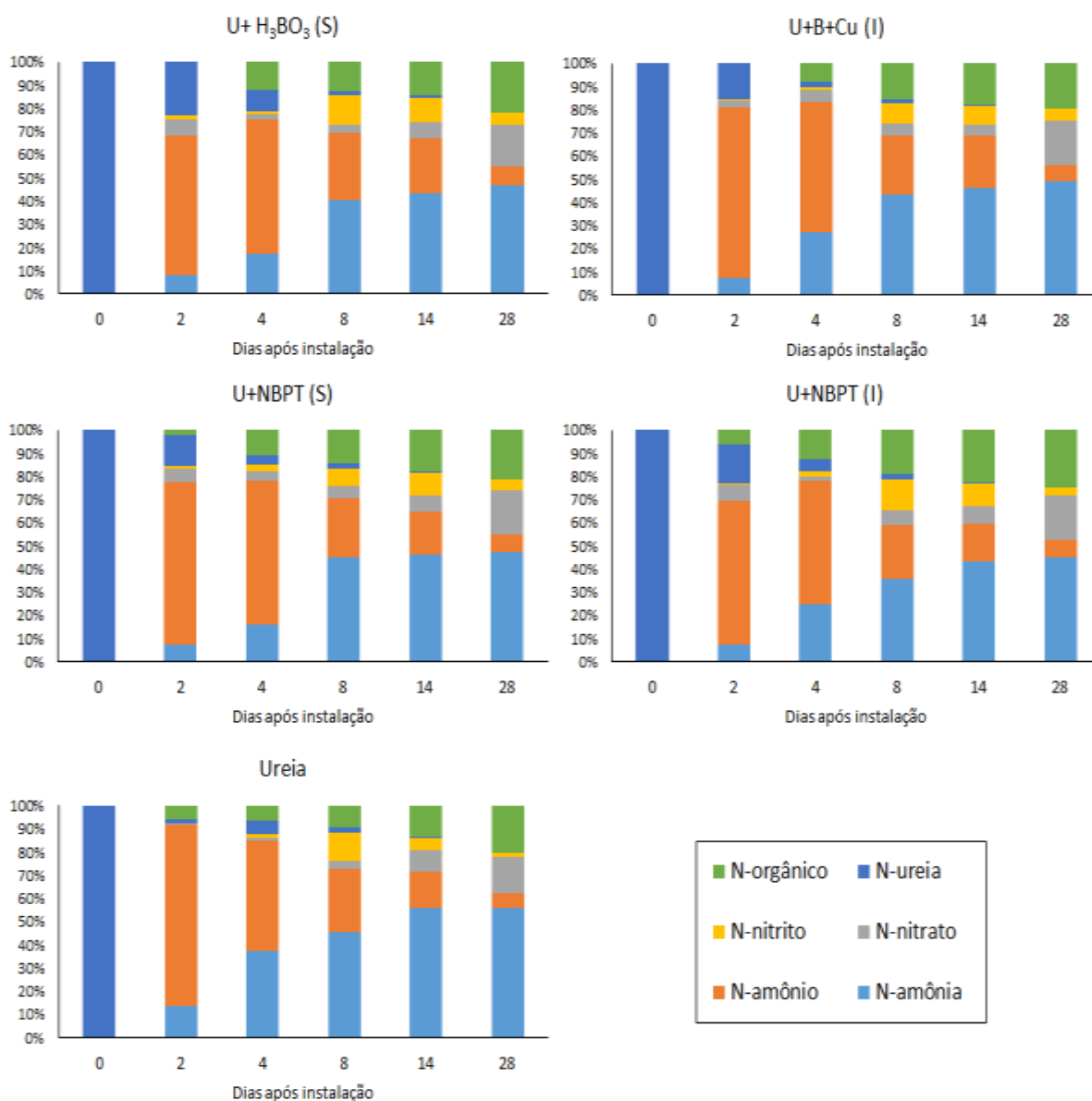


Figura 15. Distribuição das frações de nitrogênio, em ausência de palha, dos tratamentos do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease; U=ureia; B=ácido bórico (H_3BO_3); Cu=sulfato de cobre ($CuSO_4$); S=aplicação do inibidor na superfície do grânulo; I=aplicação do inibidor incorporado na estrutura do grânulo

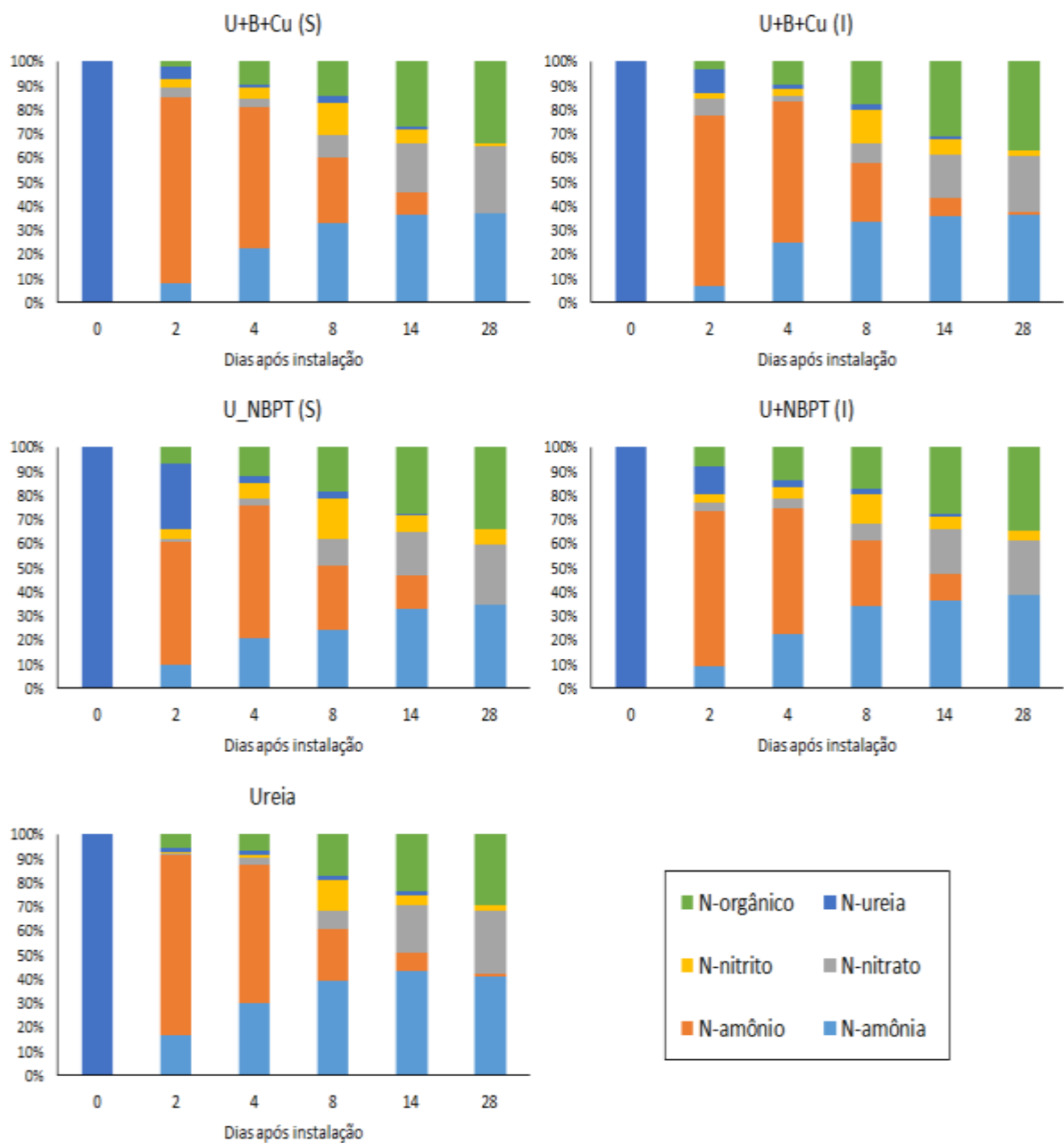


Figura 16. Distribuição das frações de nitrogênio, em presença de palha, dos tratamentos do experimento de fracionamento do nitrogênio proveniente da ureia convencional e, com inibidores de urease; U=ureia; B=ácido bórico (H_3BO_3); Cu=sulfato de cobre ($CuSO_4$); S=aplicação do inibidor na superfície do grânulo; I=aplicação do inibidor incorporado na estrutura do grânulo

O conhecimento do funcionamento do nitrogênio e suas frações é fundamental, além de auxiliar na identificação das formas disponíveis às plantas, possibilita auxiliar o produtor rural na tomada de decisão do momento e condições da aplicação dos adubos.

Ressalta-se que a presença de cultura agrícola poderia complementar os resultados da pesquisa, dadas as modificações ocorridas no ambiente do solo causadas pelas raízes e seus exsudatos que podem modificar a dinâmica do nitrogênio e dos inibidores de urease.

Toda a compreensão do funcionamento dos fertilizantes nitrogenados pode trazer ao produtor mais ferramentas para que este otimize o sistema produtivo, assim, as necessidades de aumento da demanda da produção de alimentos fibras e energia podem ser atendidos com maior eficiência e tranquilidade.

6. CONCLUSÃO

Concluiu-se que há total interdependência entre as frações e transformações ocorridas com o nitrogênio no solo provenientes da adubação com ureia. O uso dos inibidores de urease $H_3BO_3+CuSO_4 \cdot xH_2O$ e NBPT modificam a velocidade das transformações do nitrogênio no solo já que mantem a ureia estável por maior tempo e, reduzem as perdas por volatilização da amônia.

Em condições de ausência de palha de milho na superfície do solo, o uso dos inibidores de urease $H_3BO_3+CuSO_4 \cdot xH_2O$ e NBPT possuem potencial para redução de perdas por volatilização da amônia. O inibidor $H_3BO_3+CuSO_4 \cdot xH_2O$ aplicado na superfície e do NBPT aplicado incorporado ao grânulo da ureia convencional são os mais eficientes na redução de perdas por volatilização da amônia.

Em condições de presença de palha de milho na superfície do solo, o uso dos inibidores de urease $H_3BO_3+CuSO_4 \cdot xH_2O$ e NBPT possuem potencial para redução de perdas por volatilização da amônia. O inibidor NBPT aplicado na superfície do grânulo da ureia convencional é a opção de maior eficiência para minimização das perdas por volatilização.

Concluiu-se, também, que o nitrogênio sofre imobilização no solo mais intensa em presença de palhada de milho na superfície do solo atingindo valores superiores a 30% do total aplicado.

REFERÊNCIAS

- BERNARDI, A.C.C.; MOTA, E.P.; CARDOSO, R.D.; MONTE, M.B.M; OLIVEIRA, P.P.A. Ammonia Volatilization from Soil, Dry Matter Yield, and Nitrogen Levels of Italian Ryegrass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, p. 131218114051009-162, 2013.
- BOUWMEESTER, R.J.B.; VLEK, P.L.G.; STUMPE, J.M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from a urea-fertilized soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, p. 376–381, 1985.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap.7 p.375–470.
- CHIEN, S.H.; PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 102, p. 267-322, 2009.
- DA ROS, C.O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Volatilização de amônia com aplicação de ureia na superfície do solo, no sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 799–805, 2005.
- FARIA, L.A. **Dinâmica do nitrogênio proveniente de ureia combinada a tecnologias redutoras de volatilização**. 2013. 101 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2013.
- FENN, L.B.; KISSEL, D.E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soil: I. General Theory. **Soil Science Society of America Proceedings**, New York, v. 37, p. 855–860, 1973.
- FRANCO, J.A.M.; SARAIVA NETO, A. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimento de matéria prima. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 3, p. 73–108.
- GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of Soil Analysis**. 3rd ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 2002. pt. 4, p.255-293.
- GURGEL, G.C.S.; FERRARI, A.C.; FONTANA, A.; POLIDORO, J.C.; COELHO, L.A.M.; ZONTA, E. Volatilização de amônia proveniente de fertilizantes minerais mistos contendo ureia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1686-1694, 2016.

- KHAN, S.A.; MULVANEY, R.L.; MULVANEY, C.S. Accelerated Diffusion Methods for Inorganic-Nitrogen Analysis of Soil Extracts and Water. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 3, p. 936-942, 1997.
- KISSEL, D.E.; CABRERA, M.L.; FERGUNSON, R.B. Reactions of ammonia and urea hydrolysis products with soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1793–1796, 1988.
- LANGE, A. **Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema plantio direto no Cerrado**. Lavras: UFLA, 2002. 148p.
- LANNA, A.C.; SILVEIRA, P.M.; SILVA, M.B.; FERRARESI, T.M.; KLIEMANN, H.J. Atividade da urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p. 1933–1939, 2010.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.; NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, E.J.(Ed). Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM, 2009. Cap.2, p. 81-132.
- LARA CABEZAS, W.A.R.; KORNDORFER, G.H.; MOTTA, S.A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: II Avaliação de fontes sólidas e fluidas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 489–496, 1997b.
- LONGO, R.M.; MELO, W. J. Hidrólise da ureia em latossolos: efeito da concentração da ureia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 651–657, 2005.
- MARTHA JR., G.; CORSI, M.; TRIVELIN, P.C.O.; VILELA, L.; PINTO, T.L.F.; TEIXEIRA, G.M.; MANZONI, C.S.; BARIONI, L.G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-Tanzânia adubada com uréia no verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, supl. 3, p. 2240–2247, 2004.
- MULVANEY, R.L.; BREMNER, J.M. A modified diacetyl monoxime method for colorimetric determination of urea in soil extracts. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 10, p. 1163-1170, 1979.
- MULVANEY, R.L.; KHAN, S.A.; STEVENS, C.S.; MULVANEY, C.S. Improved diffusion methods for determination of inorganic nitrogen in soil extracts and water. **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, n. 4, p. 413-420, 1997.
- OVERREIN, L.N.; MOE, P.G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 31, p. 57–61, 1967.
- PEREIRA, H.S.; LEÃO, A.F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M.A.C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1685–1694, 2009.

- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285 p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.
- RAO, D.L.N.; BATRA, L. Ammonia volatilization from applied nitrogen in álcali soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 70, p. 219–228, 1983.
- ROJAS, C.A.L.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WEBER, M.A.; VIEIRO, F. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo do solo e plantas de cobertura invernais no Centro-Sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 261-270, 2012.
- SANGOI, L.; ERNANI, P.R.; LECH, V.A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de ureia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687–692, 2003.
- SHAW, W.H.R. The inhibition of urease by various metal ions. **Journal of America Chemical Society**, Washington, v. 76, p. 2160-2163, 1954.
- SILVA, C.A.; VALE, F.R. Disponibilidade de nitrato em solos brasileiros sob efeito da calagem e de fontes e doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 12, p. 2461-2471, 2000.
- TABATABAI, M.A. Effects of trace elements on urease activitie in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 9, p. 9-13, 1977.
- VITTI, G.C. Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, FCAV:Funep, 1989, 37p.
- WATKINS, S.H.; STRAND, R.F.; DEBELL, D.S.; ESCH JR., J. Factors influencing ammonia losses from urea applied to northwestern forest soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 36, p. 354–357, 1972.

7. LIBERAÇÃO DE UREIA RECOBERTA COM POLÍMERO

Resumo

A ureia é o fertilizante nitrogenado de maior importância da atualidade representando mais da metade de todo o nitrogênio aplicado no campo. Sua alta concentração de nitrogênio faz com que a ureia possua diversas vantagens no sistema de produção agrícola seja pelo custo por unidade de nutriente, ou mesmo pela maior quantidade de nitrogênio por volume do insumo frente as outras fontes disponíveis. Com o crescente aumento da necessidade da produção de alimentos, fibras e energia, surge a necessidade da otimização dos recursos utilizados no sistema de produção agrícola onde a vertente de agregação de tecnologia aos fertilizantes se destaca. O uso da ureia de liberação controlada vem crescendo no mercado adjunto à necessidade do conhecimento das dinâmicas de liberação do nutriente ao solo para melhor compreensão e manejo desta fonte, assim como a sua aplicabilidade aos cultivos agrícolas. O objetivo foi estudar a dinâmica de liberação da ureia recoberta com polímero e enxofre, verificar a liberação e longevidade do fertilizante e, traçar o perfil de liberação a partir das cápsulas poliméricas. O experimento foi desenvolvido em condições de casa de vegetação e campo, foram utilizados a ureia convencional e dois produtos recobertos com enxofre e polímero, estes diferiram na espessura de recobrimento das cápsulas. Utilizou-se, também combinações duas a duas e três a três entre os fertilizantes resultando em 15 tratamentos, com 3 repetições organizados no delineamento de blocos ao acaso. Através do uso de bolsas porosas, aplicaram-se 2,5 g de N em solo arenoso realizando 12 coletas por período de 119 dias, as amostras coletadas foram enviadas a laboratório e o conteúdo residual de ureia foi analisado por digestão sulfúrica. Os resultados permitiram traçar as dinâmicas de liberação do nutriente ao solo, assim como estimar a longevidade dos tratamentos através de velocidade média de liberação e, por linearização das curvas encontradas. A dinâmica de liberação encontrada foi caracterizada como exponencial, uma maior proporção da ureia foi liberada nas primeiras semanas do experimento com atenuação do decaimento da curva no decorrer das coletas. Para o tratamento com ureia convencional foi verificada baixa longevidade, evidenciada pelo rápido esgotamento do fertilizante no tratamento, os demais fertilizantes, combinados ou não, foram obtidas maiores longevidades com menores liberações frente a ureia convencional. Os fatores temperatura, umidade do solo, espessura do recobrimento e combinações utilizadas foram determinantes às maiores, ou menores, intensidades de liberação. Conclui-se que os recobrimentos utilizados na ureia na forma dos produtos utilizados resultam em liberação gradual do fertilizante apresentando dinâmica exponencial de liberação onde a combinação entre a ureia com produtos recobertos e, a combinação entre produtos recobertos, resulta em uma gama de curvas de liberação e possibilita maior chance de encontrar uma opção que melhor se ajuste a necessidade das culturas agrícolas.

Palavras chave: Campo; Casa de vegetação; Liberação controlada; Polímero e enxofre

Abstract

Urea is currently the most important nitrogen fertilizer representing more than half of the total nitrogen used on the field. Its high nitrogen content makes urea able to have many advantages on the agriculture production system whether by the cost per nutrient unit or by the highest nitrogen content per input volume compared to other available sources. Considering the growing demand for food, fibers and energy production comes the necessity of optimizing the resources used in the agriculture production system, which highlights the area of technology applied to fertilizers. Controlled release urea use is increasing together with the need of understanding the dynamics of nutrient liberation to the soil. This awareness and management of this source as well as its applicability to the crops. The objective was to study the dynamics of urea release covered with polymer and sulfur, verify the fertilizer release and longevity and, trace the release profile from the polymeric capsule. The experiment was conducted on the field and greenhouse using conventional urea and two products covered with sulfur and polymer differing in the capsule cover thickness. The fertilizers were combined considering two factors and three factors resulting in 15 treatments, with three replicates organized in randomized blocks. The fertilization of 2.5 g of N was through plastic mesh bags on sand soil during 119 days with 12 collections. The samples collected were sent to the lab and the residual urea content analyzed by sulfuric acid digestion. The results allowed the nutrient release dynamics to be traced as well as estimate the longevity by release medium velocity and by lining the curves found. The dynamics of the release found was characterized as exponential as a great proportion of the urea was released on the first weeks of the experiment with mitigation of the curve lowering during the collection. Conventional urea had lower longevity noticed by the quick decrease of the fertilizer compared to the other treatments. The factors temperature, soil moist, cover thickness and used combinations were determinant to higher or lower release intensity. As a conclusion, the cover

used on urea results on gradual release of the fertilizer, showing exponential release dynamics. Urea combined with covered product and the combination among covered products resulted on a range of release curves and allows more chances of finding a better option to adjust to the need of crops.

Keywords: Field; Greenhouse; Controlled release; Polymer and sulphur

8. INTRODUÇÃO

A ureia é o fertilizante nitrogenado de maior importância da atualidade. Dada a sua alta concentração de nitrogênio, a ureia possui diversas vantagens no sistema de produção agrícola seja pelo custo por unidade de nutriente, ou mesmo pela maior quantidade de nitrogênio por volume do insumo (KISS; SIMIÃO, 2002; CANTARELLA, 2007; FRANCO; SARAIVA NETO, 2007). Ao considerar a vantagem espacial trazida por este fertilizante pode-se citar a redução de espaço necessário ao armazenamento e transporte, além da diminuição do número operações de reabastecimento dos reservatórios das adubadoras refletindo, assim, em maior operacionalidade do uso desta fonte.

O alto consumo mundial, superior a metade da matriz dos fertilizantes nitrogenados (FACRE, 2007), ratifica o fato da ureia ser o centro da atenção de pesquisas e estudos de aumento de eficiência no campo.

A aplicação de tecnologias à ureia vem emergindo cada vez mais no mercado e apresenta ao produtor mais opções de insumos a utilizar, enquadrados as estratégias de manejo no campo.

Relatos de Trenkel (2010) mostram evolução exponencial no consumo mundial dos fertilizantes com tecnologia agregada, o que mostra o grande nicho de mercado a ser preenchido por estes novos produtos e tecnologias. Desta forma, a necessidade de aumento de eficiência de uso dos fertilizantes, principalmente da ureia, que possui perspectivas de contínuo aumento em sua aplicação no campo (FACRE, 2007), adicionada da possibilidade de diferenciação de produto a ser comercializado pelas empresas, torna o investimento no desenvolvimento de novas tecnologias opção muito atrativa no mercado de fertilizantes.

Neste contexto pode destacar o uso do recobrimento do N da ureia por encapsulação. Esta vertente dos fertilizantes com agregação de tecnologia engloba, hoje, diversas empresas que desenvolvem com frequências novos materiais ou novos processos de recobrimento. Porém, são necessárias mais pesquisas que caracterizem tanto o mecanismo, quanto a dinâmica de liberação do nutriente ao solo.

Este tipo de estratégia não se destina apenas à proteção do nitrogênio. Atualmente, uma gama de produtos e novas pesquisas relacionadas ao uso dos recobrimentos aplicados a outros nutrientes, como o fósforo ou o potássio e, até mesmo nutrientes em um mesmo grânulo, estão sendo desenvolvidas e encontram-se disponíveis para compra e utilização no mercado (HUETT; GOGEL, 2000; DU et al., 2006; DUNN; STEVENS, 2008). Em vista a maior mobilidade, complexidade e possibilidade de perdas do nitrogênio, esse nutriente é o foco principal da maior quantidade de novos produtos e, como exemplo, compostos como ceras, turfas, látex e outros, podem ser citados. Entretanto o uso de enxofre e, principalmente, polímeros plásticos (polietileno, poliéster, poliuretano, etc.) apresentam maior posição de produção, venda e consumo no mercado (CANTARELLA, 2007; VITTI; HEIRINCHS, 2007).

O material utilizado no recobrimento, assim como a técnica e o processo de aplicação empregados na encapsulação, varia entre as empresas ampliando ainda mais a necessidade de maiores pesquisas, dada a grande diversidade de produtos resultantes desta agregação de tecnologia.

Os insumos resultantes do revestimento dos fertilizantes, seja por películas puramente físicas, como enxofre, ou polímeros de naturezas diversas e de baixa permeabilidade, são normalmente designados aos fertilizantes de liberação controlada (“controlled release fertilizer”) (SHAVIV, 2005; BLAYLOCK, 2007; TRENKEL, 2010).

Porém, as terminologias empregadas para os produtos com tecnologia agregada, como os fertilizantes encapsulados ou controlados, ainda são discutidas. A busca por um melhor enquadramento destes produtos já existentes e, classes mais definidas que possam enquadrar novos insumos em desenvolvimentos são necessárias, não

apenas para maior organização do setor, mas também para a melhor compreensão e transparência do produto pelo produtor rural.

A legislação necessita prosseguir atenta a este fator a fim de esclarecer definições e enquadramento aos novos produtos. De tal modo, assegura-se não apenas aos produtores rurais, mas também as empresas envolvidas em pesquisas dessa natureza, que poderão obter a diferenciação de seu produto e possíveis vantagens comerciais.

Shaviv (2005) enquadra como “fertilizante de liberação controlada” aqueles onde os fatores dominantes, como a taxa, o padrão e a duração da liberação, são melhores conhecidos e controláveis durante a preparação do fertilizante. Para a compreensão dessas variáveis, a obtenção da dinâmica de liberação é fundamental para a identificação dos requisitos de enquadramento da categoria “controlada”.

Dentre esses procedimentos para controle da liberação, a encapsulação tem como objetivo, principalmente da ureia, a proteção física do grânulo de N. Ao evitar o contato direto da ureia com o solo e seus compostos, como a urease, os processos de hidrólise podem ser evitados ou diminuídos. O maior tempo para a liberação e/ou ocorrência da hidrólise da ureia pode atuar, conseqüentemente, em fatores como diminuição de perdas do nitrogênio (como volatilização e lixiviação) e, também, possibilitar maior longevidade do nitrogênio no solo (AZEEM, 2014).

Essa longevidade, que pode ser obtida pelos fertilizantes recobertos, em comparação a ureia em seu estado convencional (alta solubilização na presença de umidade), resulta em diferenciação do padrão de disponibilização do nutriente ao solo e a planta, pode gerar diferentes dinâmicas de liberação, resultando em diversas curvas com perfis que podem se ajustar mais adequadamente à necessidade nutricional dos cultivos agrícolas (MOTA, 2013). A possibilidade de se obter uma curva de liberação do nitrogênio que se sobreponha a absorção deste elemento pelas plantas em desenvolvimento, pode refletir na maior eficiência de uso da ureia e, deste modo, otimizar o sistema de produção (YANG et al., 2012; GAO et al., 2015; GENG et al., 2016).

Como fator indireto do possível aumento da longevidade, um maior desenvolvimento da planta atrelado a um maior desenvolvimento radicular pode possibilitar o aumento da absorção de nutrientes pelo vegetal e, com o fertilizante disponível por mais tempo, as chances de incremento e otimização da absorção são aumentadas, também refletindo em vantagem estratégica para o uso de produtos encapsulados.

Muitos fatores podem impactar a liberação e a longevidade dos fertilizantes recobertos, dentre os mais importantes pode-se citar os ambientais, como a temperatura, umidade do solo e susceptibilidade ao ataque microbiano e, os fatores relativos ao processo de produção como o tipo de material de recobrimento, permeabilidade do recobrimento (porosidade da membrana) e espessura da cápsula (KOCHBA; GAMBASH; AVNIMELECH, 1990; CABRERA, 1997; AL-ZAHRANI, 1999; AZEEM, 2014). Ressalta-se que a ação conjunta dos fatores citados pode intensificar a liberação e, assim, diminuir a longevidade.

Em relação aos fatores de produção, o tipo de material, assim como a espessura da cápsula de recobrimento são fatores fundamentais que afetam diretamente a porosidade do produto final. Como os fertilizantes recobertos têm sua liberação atrelada a processo de difusão, ou seja, a água atravessa a cápsula, solubiliza o fertilizante aumentando a pressão osmótica no interior do recobrimento e o nutriente é difundido para o solo, a porosidade torna-se determinante para na ocorrência do processo de liberação afetando a longevidade do insumo (CANTARELLA, 2007). Ressalta-se que o processo operacional de aplicação do polímero ao fertilizante necessita de controle de qualidade rigoroso, dado que o recobrimento fornece proteção física a ureia, a existência de fissuras ou falhas no recobrimento podem expor o fertilizante (altamente solúvel) à umidade do solo e, assim, anular o efeito de liberação desejado.

A respeito da espessura do recobrimento, é conhecido que, quando aumentada, diminui a porosidade das cápsulas que recobrem os fertilizantes. Como citado, ao aplicar um material sobre o fertilizante, é formada malha de proteção com determinada espessura e porosidade, mas ao aumentar esta espessura, tem-se a diminuição da porosidade da cápsula o que diminui as taxas de liberação (BLOUIN; RINDT; MOORE, 1971; JAROSIEWICZ; TOMASZEWSKA, 2003). Assim, tipo de material e processo de aplicação do polímero, fatores controláveis a indústria, são alvos para o sucesso da produção e funcionamento dos fertilizantes revestidos.

Em relação aos fatores ambientais, estes atuam simultaneamente afetando diretamente os fatores de produção, o que ratifica a necessidade fundamental de processo de produção bem estruturado. A temperatura age dilatando as malhas de recobrimento e, em conjunto com a disponibilidade de umidade no solo tem-se maior, ou menor, intensidade do processo de difusão ocorrido nos fertilizantes (HUSBY, 2000; FAN; LI, 2010). Com isso, a taxa e a velocidade de liberação são alteradas. Os microrganismos que atuam no solo também são importantes para a definição da liberação, através da degradação das cápsulas pode-se ocorrer a exposição do fertilizante e, de tal maneira, anular o efeito do recobrimento (MAJEED, et al., 2015). Cabe citar que, apesar do efeito negativo do risco de exposição do fertilizante às condições do solo, a microbiota é de grande importância por eliminar o material residual polimérico resultante da finalização do processo de liberação da ureia.

O fato de polímeros necessitarem de tempo para a sua degradação, o cuidado da escolha de materiais poliméricos biodegradáveis toma destaque evitando possível efeito acumulativo dos resíduos do recobrimento dos fertilizantes no solo.

Em resumo, a ureia, principal fertilizante foco de pesquisas e aplicações de novas tecnologias de recobrimento, necessita de estudos que caracterizem sua dinâmica de liberação através das cápsulas poliméricas ao solo, atentando para os fatores determinantes a essa liberação como a influência de fatores ambientais (temperatura, umidade do solo e ataque microbiano) e os processos de produção do insumo (tipo de material e espessura da cápsula).

O objetivo foi estudar a dinâmica de liberação da ureia recoberta com polímero e enxofre, verificar a liberação e longevidade do fertilizante e, traçar o perfil de liberação a partir das cápsulas poliméricas.

9. MATERIAIS E MÉTODOS

9.1. Área experimental

Foram conduzidos dois experimentos para avaliação da liberação da ureia recoberta, sendo um, em campo e outro, em casa de vegetação. O experimento de campo foi conduzido no município de São Carlos, estado de São Paulo localizado entre as latitudes 22° 3'19.17"S, e longitude 47°50'30.43"O, possuindo altitude média de 856 m. O clima local, segundo a classificação de Köppen-Geiser, caracteriza-se como Cwa (temperado de altitude, apresenta verão chuvoso e inverno seco). A precipitação média é de 1512 mm (Figura 17a).

O experimento em casa de vegetação foi conduzido no município de Piracicaba, estado de São Paulo, localizado a latitude 22°43'30" S e longitude 47°38'56" O. O clima local, segundo a classificação de Köppen-Geiser, é definido como Cwa (temperado de altitude, apresenta verão chuvoso com temperaturas moderadamente altas e inverno seco) (Figura 17 b, c).

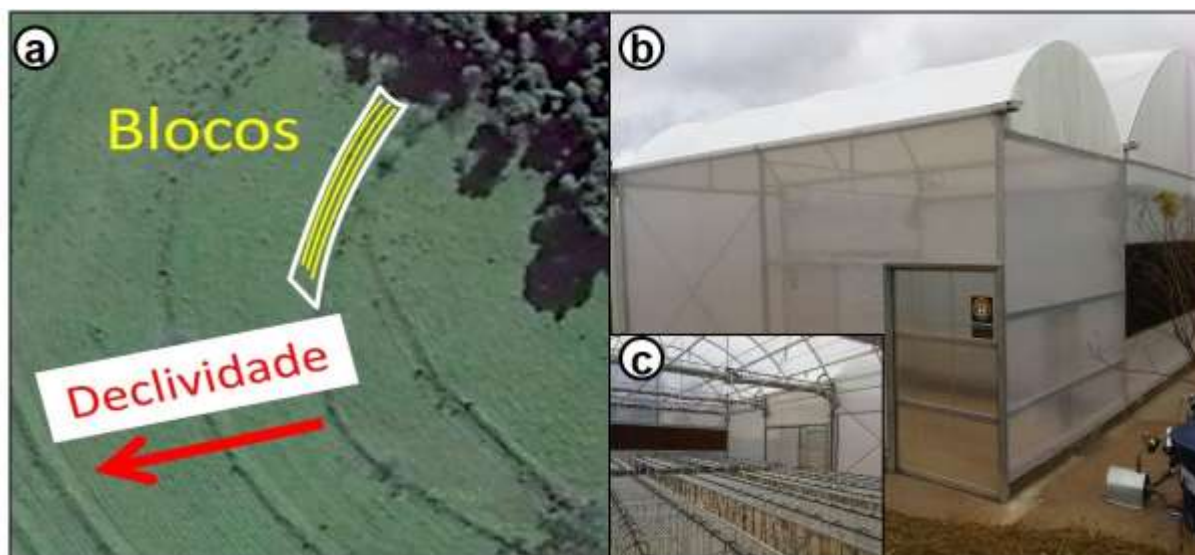


Figura 17. Locais de instalação do experimento de liberação da ureia recoberta; a=Experimento de campo no município de São Carlos - SP; b=Casa de vegetação localizada no município de Piracicaba – SP; c=Detalhe interior da casa de vegetação

9.2. Caracterização do solo

O solo utilizado em ambos os experimentos foi caracterizado como Neossolo Quartzarênico órtico típico (EMBRAPA, 2006), possui textura arenosa com 910 g kg⁻¹ de areia, da qual 570g kg⁻¹ se constitui de areia fina (0,21 – 0,053 mm) e 340 g kg⁻¹ de areia grossa (0,21 – 2,00 mm), possui 4 g kg⁻¹ de silte e 86 g kg⁻¹ de argila (GEE; OR, 2002) e, de acordo com metodologia descrita por Rajj et al. (2001) e Vitti (1989), possui valor de pH (CaCl₂) = 5,3, conteúdo de matéria orgânica de 21 g dm⁻³, o teor de P (resina) e S equivalente a 7 e 6 mg dm⁻³, respectivamente. O teor de K, Ca e Mg situando-se em 1,5, 12 e 6 mmol_c dm⁻³, respectivamente e, a acidez potencial (H + Al), com valor de 22 mmol_c dm⁻³ e CTC com valor de 41,5 mmol_c dm⁻³, assim, este solo possui valores de SB = 19,5 mmol_c dm⁻³, V = 47% (camada de 0 – 20 cm).

9.3. Instalação e condução do experimento

Os experimentos de avaliação da dinâmica de liberação da ureia recoberta com polímero foram realizados simultaneamente em casa de vegetação e em condições de campo. Buscou-se determinar todo o perfil de liberação desde a aplicação do fertilizante até o esgotamento deste nas cápsulas de recobrimento.

9.3.1. Polímero utilizado

Os materiais para o recobrimento da ureia se caracterizam por uma camada de enxofre aplicada à superfície do fertilizante e um recobrimento adicional com polímero de natureza plástica.

Estes recobrimentos têm por objetivo fornecer proteção física a ureia e, assim, diferenciar sua liberação no solo objetivando o aumento da sua eficiência de uso pela planta.

9.3.2. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos utilizados basearam-se no uso da ureia convencional (45% N) e de dois produtos (ureia) recobertos além das combinações entre a ureia convencional com os produtos recobertos (combinações dois a dois e três a três, entre todas as fontes). As ureias recobertas foram desenvolvidas com o mesmo material de recobrimento, porém, com diferentes espessuras das camadas recobertas, como resultado, a quantidade de N é variável entre eles (38% N e 14% S – N2 e, 39% N e 11% S – N1) (Tabela 5). Cabe ressaltar que a diferença entre os produtos recobertos se deu por uma maior quantidade de enxofre aplicada sobre o grânulo do fertilizante (3% maior). Para determinar as proporções aplicadas de cada fertilizante foram adotadas algumas considerações:

- Simulação de adubação para cultura do milho:
 - População de plantas – 64000 por hectare;
 - Dose 160 kg ha⁻¹ de N;
 - Aplicação única: simulação de aplicação completa, em superfície, em operação de plantio (área total);
 - Proporções dos produtos nos tratamentos (combinações): relativas ao que seriam as aplicações de plantio e cobertura;
- Combinações:
 - Produtos aplicados isolados (ureia, produto 1 – N1 e, produto 2 – N2);
 - Combinações 2 a 2 - 30% da quantidade de determinado produto para plantio e 70% para cobertura;
 - Combinações 3 a 3 - 30% da quantidade de determinado produto para plantio e os 70% relativos a operação de cobertura, este foi dividido novamente em 30% e 70% (21 e 49% do total).

As simulações que foram adotadas, em conjunto com as combinações realizadas, resultaram em 15 tratamentos com 3 repetições. O delineamento experimental foi organizado em de blocos casualizados (Tabela 5).

Tabela 5. Tratamentos, quantidades e proporções das doses de nitrogênio utilizados no experimento de liberação da ureia, ureia recoberta e combinações entre os fertilizantes

Tratamentos	Ureia	N 1	N 2	Ureia	N 1	N 2	Massa total	Dose equivalente
	g			%			g	kg ha ⁻¹
Ureia	2,5	-	-	100	-	-	2,5	160
N1	-	2,5	-	-	100	-	2,5	160
N2	-	-	2,5	-	-	100	2,5	160
U+N1	0,75	1,75	-	30	70	-	2,5	160
U+N1*	1,75	0,75	-	70	30	-	2,5	160
U+N2	0,75	-	1,75	30	-	70	2,5	160
U+N2*	1,75	-	0,75	70	-	30	2,5	160
N1+N2	-	0,75	1,75	-	30	70	2,5	160
N1+N2*	-	1,75	0,75	-	70	30	2,5	160
U+N1+N2	0,75	0,525	1,225	30	21	49	2,5	160
U+N1+N2*	0,75	1,225	0,525	30	49	21	2,5	160
U+N1+N2**	0,525	0,75	1,225	21	30	49	2,5	160
U+N1+N2***	0,525	1,225	0,75	21	49	30	2,5	160
U+N1+N2****	1,225	0,75	0,525	49	30	21	2,5	160
U+N1+N2*****	1,225	0,525	0,75	49	21	30	2,5	160

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos)

Bolsas porosas de 11 x 11 cm, produzidas a partir de tela de poliéster de 18 fios, malha 40 (abertura de fios 1,23 mm), foram utilizadas para alocar os fertilizantes e as misturas. Dessa forma, foi possível a recuperação de todo o conteúdo aplicado ao início do experimento no decorrer das coletas.

Cada bolsa recebeu massa de 2,5 g de N. Considerando as condições adotadas de simulação de adubação para a cultura do milho e, população de 64.000 plantas ha⁻¹, uma dose de 160 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia representa, exatamente, 2,5 g de N planta⁻¹, sendo esta a razão da massa alocada no interior das bolsas porosas.

As avaliações foram periódicas, realizaram-se 12 coletas em sistema de análise destrutiva das amostras, ou seja, cada unidade amostral possuía 12 unidades de observação, assim, as 45 unidades amostrais (15 tratamentos x 3 repetições) de cada experimento foram compostas de 540 unidades de observação. Ao se instalar os 2 experimentos idênticos (campo e casa de vegetação), obteve-se o total de 1080 unidades de observação (Tabela 6).

Tabela 6. Número de unidades amostrais e de observação do experimento de liberação ou longevidade conduzidos em casa de vegetação e no campo

Fertilizantes	Repetição	Ambiente	Coletas	Tratamentos	Total
unidades de observação*	3	1	12	15	540
unidades amostrais*	3	1	-	15	45
Total**	3	2	12	15	1080

*Experimentos isolados; **ambos experimentos

O experimento foi instalado no dia 15 de novembro de 2014, sendo as coletas realizadas aos 2, 5, 9, 14, 21, 30, 41, 54, 69, 84, 99, 119 dias após a implementação do projeto (Tabela 7). O sistema de análise do conteúdo total dos tratamentos alocados nas bolsas porosas, adicionado dos diferentes tempos de coleta, permitiu a projeção

gráfica da liberação dos fertilizantes no tempo. Desta forma, foi possível estudar a longevidade do fertilizante e verificar as possíveis implicações às plantas. Após coletadas, as bolsas foram colocadas em sacos plásticos e levadas para freezer para preservação até o momento da análise.

Tabela 7. Coletas experimento de liberação dos fertilizantes nitrogenados em casa de vegetação e em campo

Tratamentos aplicados	Número de dias após instalação (DAI)												Total coletas
	2	5	9	14	21	30	41	54	69	84	99	119	
Número de dias sujeito a alteração conforme liberação total dos tratamentos													

No ambiente de casa de vegetação, as bolsas porosas foram alocadas superficialmente em recipientes contendo 0,9 kg de solo, a aplicação dos tratamentos foi realizada com o cuidado para que o solo estivesse totalmente em contato com o fertilizante no interior da bolsa. A umidade do solo foi mantida 70% da capacidade de campo e a sua manutenção foi realizada através da pesagem de todos os recipientes completando o volume com água, quando necessário (Figura 18 b, d)



Figura 18. Local e forma de aplicação dos tratamentos do experimento de liberação dos fertilizantes; a=aplicação as bolsas porosas no campo; b=aplicação das bolsas porosas na casa de vegetação; c=organização dos blocos do experimento de liberação no campo; d=manutenção da umidade em casa de vegetação

No campo, as bolsas porosas foram aplicadas em superfície, com o mesmo cuidado de manter o contato entre o fertilizante no interior da unidade de observação e o solo. Neste ambiente, as unidades ficaram expostas as condições de umidade e temperatura local (Figura 18 a, c).

9.3.3. Análise da curva de liberação

Para a elaboração das curvas de liberação foi necessário o preparo das amostras e o encaminhamento destas para o laboratório para procedimento de digestão sulfúrica, assim, permitindo a quantificação do conteúdo residual total de nitrogênio no interior da bolsa porosa.

As amostras foram descongeladas e retiraram-se os resíduos de solo restante na unidade de observação (Figura 19a). Após essa etapa, as unidades foram abertas e o conteúdo de fertilizante residual nas bolsas porosas foi submetido a desintegração física com o auxílio de mixer (Modelo: Philips 400W) em meio aquoso, utilizando, aproximadamente, 35 mL de H₂O deionizada (Figura 19 b, c, d). Desta forma, os grânulos (inteiros ou fragmentados) tiveram suas cápsulas destruídas e a ureia em seu interior foi solubilizada (Figura 19 e, g, h).



Figura 19. Preparo das amostras provenientes do experimento de liberação dos fertilizantes nitrogenados; a=amostras descongeladas acondicionadas em sacos plásticos; b=abertura das bolsas porosas; c=retirada dos grânulos da bolsa porosa para desintegração; d=adição de H₂O deionizada para desintegração em meio aquoso; e=detalhe grânulos anterior a desintegração; f=mesa de filtragem e amostras prontas para desintegração; g=processo de desintegração; h=finalização da desintegração; i=detalhe da amostra desintegrada e material residual das cápsulas de recobrimento; j=processo de filtragem da amostra; k=material residual da filtragem; l=lavagem do filtro para solubilização de solução residual; m=material preparado e acondicionado em tubos Falcon (50mL)

A solução resultante da desintegração e solubilização foi submetida a filtragem em papel de filtro quantitativo Whatman nº42 (faixa branca) com auxílio de funil de vidro para tubo do tipo Falcon (50mL), que possibilitou a retirada do material residual de recobrimento do fertilizante (Figura 19 f, i, k, l). O extrato filtrado teve seu volume aferido para 50 mL com H₂O deionizada. As amostras preparadas foram acondicionadas novamente em freezer a temperatura de, aproximadamente, -18°C até a finalização de todas as amostras, sendo encaminhadas posteriormente ao laboratório para início da etapa das digestões (Figura 19 j, m).

As amostras preparadas foram descongeladas para a realização de digestão sulfúrica. Alíquota de 0,5 mL do extrato foi pipetada em tubos de digestão com capacidade para 70 mL, com adição de 0,7 g de Liga de Raney (com auxílio de cachimbo volumétrico) seguido da adição de 25 mL de H₂O deionizada e, posteriormente, foi adicionado 5 mL de H₂SO₄ concentrado (18M) (MOTA, 2013) (Figura 20 a, b, c, d, e).

Os tubos foram levados para bloco digestor com capacidade para 40 amostras. Inicialmente o bloco foi aquecido a 150°C com aumentos sucessivos de temperatura até atingir 250°C. A finalização da digestão, ou seja, a passagem de todo o nitrogênio contido na amostra para a forma amoniacal, foi identificada pelo aparecimento e emissão de fumos brancos, o volume final de amostra nos tubos equivale a quantidade de ácido adicionada (Figura 20 f, g). O tempo médio de cada ciclo de digestão foi de 3 horas.

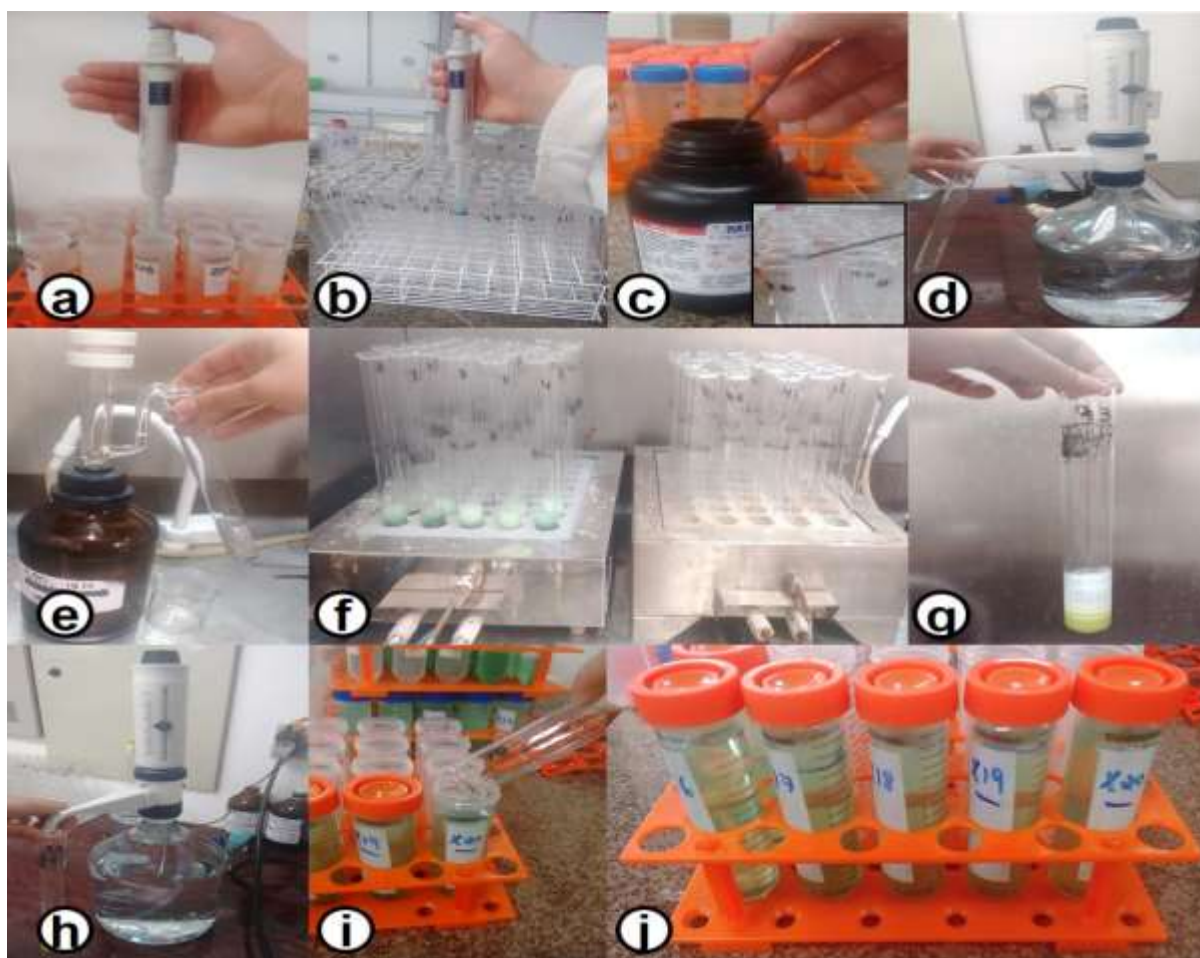


Figura 20. Procedimentos de digestão das amostras; a=aquisição de alíquota de 0,5 mL da amostra; b=transferência para tubo de digestão; c=adição de Liga de Raney; d=adição de H₂O deionizada; e=adição de H₂SO₄ concentrado (18M); f=procedimento de digestão; g=extrato final digerido; h=adição de H₂O deionizada; i=transferência para tubo Falcon (50 mL); j=volume final e armazenamento do extrato

Após a finalização da digestão, os tubos foram retirados do bloco digestor e permaneceram em capela de exaustão até atingirem temperatura ambiente. Posteriormente, foram adicionados 25 mL de H₂O deionizada e os extratos digeridos transferidos para tubo tipo Falcon completando o volume para 45 mL (Figura 20 h, i, j).

Os extratos digeridos foram diluídos e a quantidade de nitrogênio foi determinada por sistema de injeção em fluxo –FIA em equipamento ASIA (Ismatec – Suíça) (KAMOGAWA; TEIXEIRA, 2009). A amostra foi inserida no equipamento e neutralizada por NaOH (4M), todo o NH₄⁺ resultante da digestão sulfúrica passou para forma NH₃ e foi enviado para difusor gasoso, o que alterou a coloração de solução indicadora de Bromocresol púrpura e possibilitou a leitura por espectrofotometria (Figura 21).



Figura 21. Equipamento de leitura de injeção em fluxo – FIA

Os resultados permitiram traçar todo o perfil de liberação dos tratamentos através do decaimento de massa ocorrido no interior das bolsas porosas, assim, obteve a dinâmica de liberação dos fertilizantes.

9.4. Análise estatística

Os dados médios deste experimento foram submetidos à análise estatística descritiva. Foram elaborados gráficos de dispersão identificando a dinâmica de liberação pelo ajuste da linha de tendência das dispersões.

10. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos tratamentos permitiu traçar os perfis de liberação dos fertilizantes no tempo, desta forma, foram obtidos os fatores como intensidade e velocidade e, foram estimados os dados de longevidade dos tratamentos propostos.

As curvas de liberação dos fertilizantes, predominantemente, apresentaram dinâmica exponencial de liberação, ou seja, tem-se maior intensidade da liberação nas primeiras semanas do experimento ocorrendo atenuação desta dinâmica no decorrer do tempo. Assim, a velocidade da liberação resultante desta intensidade foi maior, o que aumenta a disponibilidade da maior proporção de nitrogênio proveniente dos tratamentos e, no caso de sua aplicação em cultivos agrícolas, esta liberação se daria no início do ciclo das culturas anuais (Figura 22).

Este padrão de liberação, também encontrado em diversas pesquisas que envolvem a liberação de fertilizantes com tecnologia agregada (PARAMASIVAM; ALVA, 1997; DU et al., 2004; FUJINUMA; BALSTER; NORMAN, 2009; FAN; LI, 2010), possibilita que, através de dados que envolvem as marchas de absorção das culturas, possa se optar por uma curva de liberação que mais se sobreponha a curva de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, podendo, desta forma, otimizar o uso do nitrogênio proveniente do fertilizante, pelas plantas.

Ao considerar os fatores envolvidos na liberação dos fertilizantes, como temperatura, umidade do solo, espessura de recobrimento e combinações utilizadas, foi possível observar que todos estes funcionando concomitantemente resultam nas maiores ou menores taxas de liberação encontradas no experimento.

Relatos encontrados em Geng et al. (2015), que avaliaram fertilizantes recobertos na cultura da batata, consideram que a temperatura é fator fundamental na taxa de liberação de fertilizantes controlados. Adicionado a este fator, a umidade do solo em conjunto com a temperatura pode afetar ainda mais as cápsulas de recobrimento. Os fertilizantes recobertos, ou de liberação controlada, utilizados neste experimento envolvem a ureia em seu estado convencional resultando em proteção física do grânulo e, o funcionamento deste sistema se baseia na entrada da água através do grânulo seguida da dissolução da ureia e, finalmente a saída do nutriente carregado pela água. Considerando este sistema, que pode ser encontrado descrito em Liu et al. (2008), fica evidente a dependência da liberação por todos os fatores citados (temperatura, umidade do solo, espessura de recobrimento e combinações utilizadas) agindo em conjunto.

Nas condições de casa de vegetação, com umidade constante em 70% da capacidade de campo e com média de temperaturas diárias de 26°C, houve condições favoráveis para a liberação. Esta liberação foi superior a encontrada nas condições de campo nas primeiras 2 semanas do experimento, as temperaturas médias diárias do campo situaram-se em 22,3°C e, a água disponível proveniente da precipitação pluvial, fornecida após uma semana do experimento. Considerando ainda o experimento de campo estar instalado sobre solo arenoso, ou seja, baixa retenção de água, não houve umidade de solo suficiente para dar início ao processo de liberação semelhante ao da casa de vegetação (Figura 22).

Como relatado, o binômio umidade do solo e temperatura teve ação no ambiente onde o experimento estava inserido, a temperatura agiu dilatando a cápsula de recobrimento (com maior intensidade na casa de vegetação e menor intensidade no campo - no início do experimento), que aumenta o diâmetro dos poros, e permitindo a entrada (maior ou menor) de água, com isso solubilizando a ureia e liberando-a para o solo.

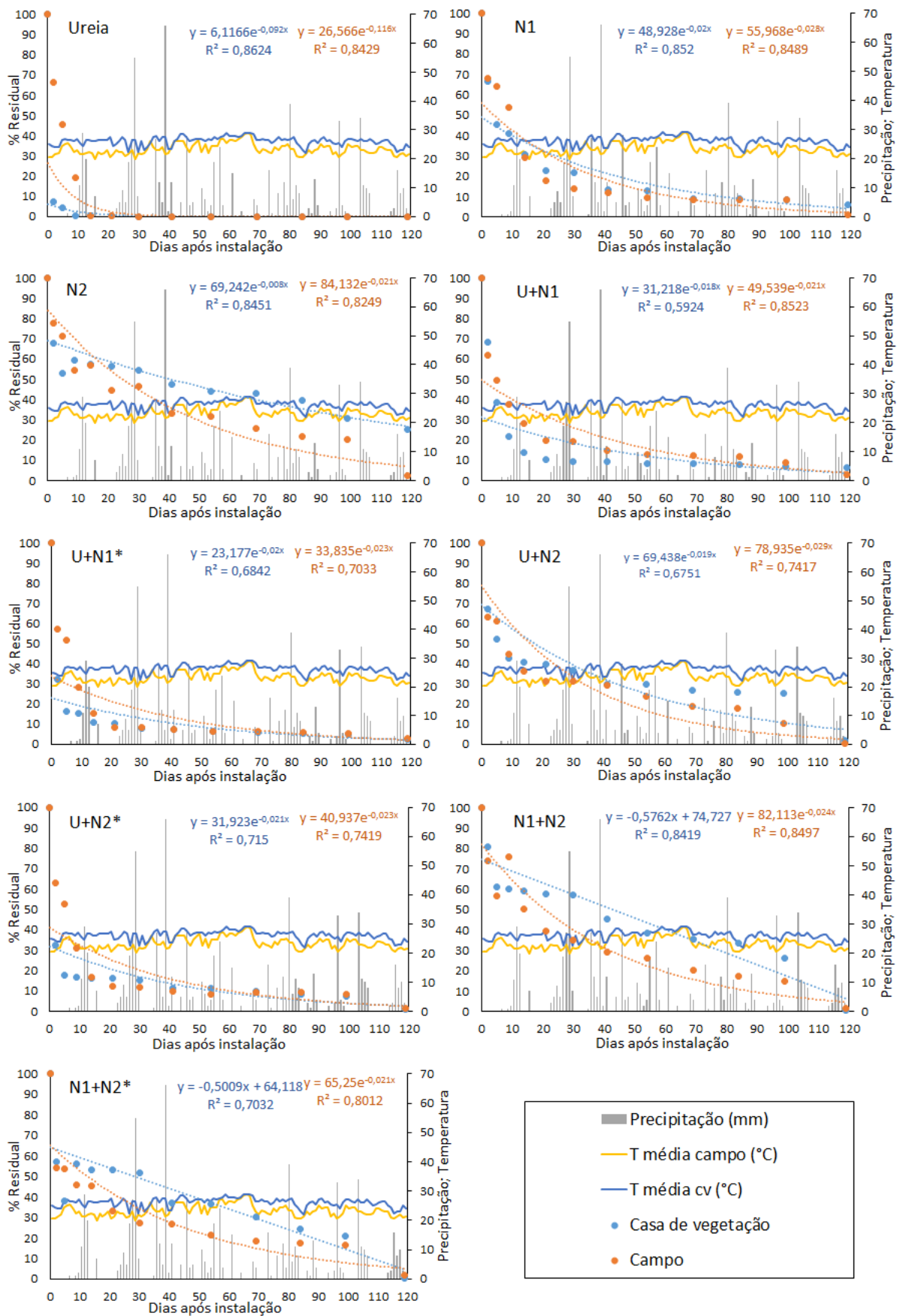


Figura 22. Curvas de liberação de N nos tratamentos isolados e combinações 2 a 2; *=inversão das proporções dos fertilizantes nitrogenados utilizados nos tratamentos

Após este período inicial, ocorreu inversão nas maiores liberações em relação aos ambientes dos experimentos, as maiores liberações, foram evidenciadas nas condições de campo com temperaturas diárias de 23,5 °C e maior frequência de eventos de chuva, disponibilizando água para a solubilização da ureia. No ambiente de casa de vegetação, com temperaturas diárias médias de 26°C e umidade do solo em 70% da capacidade de campo, a liberação tornou-se menor (Figura 22). Considerando que no campo encontrou-se menor temperatura ambiente que na casa de vegetação e houve a inversão nas intensidades de liberação entre os ambientes, infere-se que a disponibilidade hídrica foi determinante na liberação, pois como a diferença de temperatura foi pequena (2,5°C), a maior frequência e intensidade de chuvas (algumas superiores a 50 mm) forneceu maior disponibilidade de água a ser transpassada pela cápsula polimérica solubilizando e extraíndo maior quantidade de fertilizante.

Embora não tenham sido mensuradas as temperaturas do solo, onde se tem de fato a influência deste fator na liberação do fertilizante das cápsulas, trabalhos como os de Azevedo e Galvani (2003) e Carvalho, Honório e Rabelo (2009), mostraram que há correlação linear da temperatura ambiente com a temperatura do solo, sendo que os valores de temperatura do ar, na camada de solo atuante nos tratamentos (0 – 0,10 m), possui valores muito semelhante à encontrada no solo (variações de aproximadamente 1 – 2°C). Diante disso, ratifica-se que a temperatura encontrada em ambos os ambientes foi semelhante, ficando a carga da disponibilidade hídrica para a maior liberação do fertilizante das cápsulas de recobrimento.

Reafirmou-se, como encontrado em Fujinuma, Balster e Noeman (2009), que o binômio umidade do solo e temperatura agindo em conjunto, potencializa a liberação do fertilizante através da cápsula de recobrimento e, mantendo-se um dos fatores constantes, conclui-se que a disponibilidade do outro será determinante à liberação.

Ao considerar os outros 2 fatores principais a liberação dos tratamentos, a espessura de recobrimento e as combinações entre os fertilizantes, foi possível analisar as diferenças ocorridas entre os tratamentos utilizados. Em relação aos tratamentos com os produtos isolados, ou seja, ureia em seu estado convencional, N1 e N2, observou-se que conforme se adicionou um recobrimento a ureia e a espessura foi ampliada, houve diminuição na liberação dos tratamentos (Figura 22).

Jarosiewicz e Tomaszewska (2003), estudando os fertilizantes encapsulados, discutiram sobre a importância da porosidade da cápsula de recobrimento, ao aplicar um material de recobrimento sobre o fertilizante concluiu que a porosidade resultante que afeta a entrada, solubilização e saída de água com o nutriente, de forma intuitiva pode-se afirmar que quanto maior a porosidade do recobrimento, em condições favoráveis de umidade do solo e temperatura, maior será a taxa de liberação. Os autores relataram ainda que, ao aumentar a espessura da camada de recobrimento, seja pela maior quantidade de material utilizado ou o maior número de procedimentos de aplicação de camadas ao fertilizante, houve uma diminuição na porosidade resultante. Desta forma, menor porosidade do recobrimento irá refletir em menor intensidade e taxa de liberação. Em trabalho de Blouin, Rindt e Moore (1971) já se verificava que o processo de diminuição da difusão que ocorre pelas cápsulas de recobrimento sofria decréscimo pelo aumento da espessura do recobrimento.

O tratamento N2 (Tabela 5), por possuir camada de enxofre de espessura 3% maior em seu recobrimento, foi o tratamento que apresentou a menor taxa de liberação, ou seja, esse acréscimo de enxofre neste tratamento diminuiu a porosidade e, assim, o processo de difusão da ureia para o solo foi menor, independente do ambiente do experimento onde se alocou o tratamento.

Os tratamentos com combinações entre os fertilizantes, dois a dois (Figura 22) e três a três (Figura 23), seguiram as mesmas tendências de liberação dos fertilizantes isolados, ou seja, tratamentos com maiores proporções de fertilizantes recobertos com cápsulas mais espessas, obtiveram menores liberações no tempo, não ultrapassando o

tratamento N2 (maior recobrimento com maior espessura da cápsula). Os tratamentos com maiores quantidades de ureia convencional (U+N1*, U+N2*, U+N1+N2****, U+N1+N2*****) (Tabela 5) apresentam liberações maiores, ao passo que tratamentos mais recobertos tem liberações menores. Cabe ressaltar que, no ambiente de casa de vegetação, os tratamentos com combinação apenas de fertilizantes recobertos obtiveram dinâmica de liberação linear (Figura 22).

A combinação entre tratamentos, então, forneceu maior gama de informações e gerou diferentes perfis de liberação que, dependendo da escolha de alguma cultura agrícola, pode melhor se ajustar ao perfil de absorção de nutrientes relacionada às necessidades da cultura. A verificação da comparação do perfil de todas as curvas nos dois ambientes de condução do experimento permitiu evidenciar essa grande diversidade de curvas de liberação, além de apresentar melhor visualização das maiores e mais intensas liberações relacionadas aos tratamentos com menor proteção dos fertilizantes. A comparação entre os dois ambientes também pode ser observada expondo o efeito da umidade do solo na liberação de N dos tratamentos. Todas essas comparações possibilitarão a escolha de curvas que liberem o nutriente de forma mais rápida ou lenta, dependendo do objetivo da aplicação e cultura escolhida (Figura 24, 25).

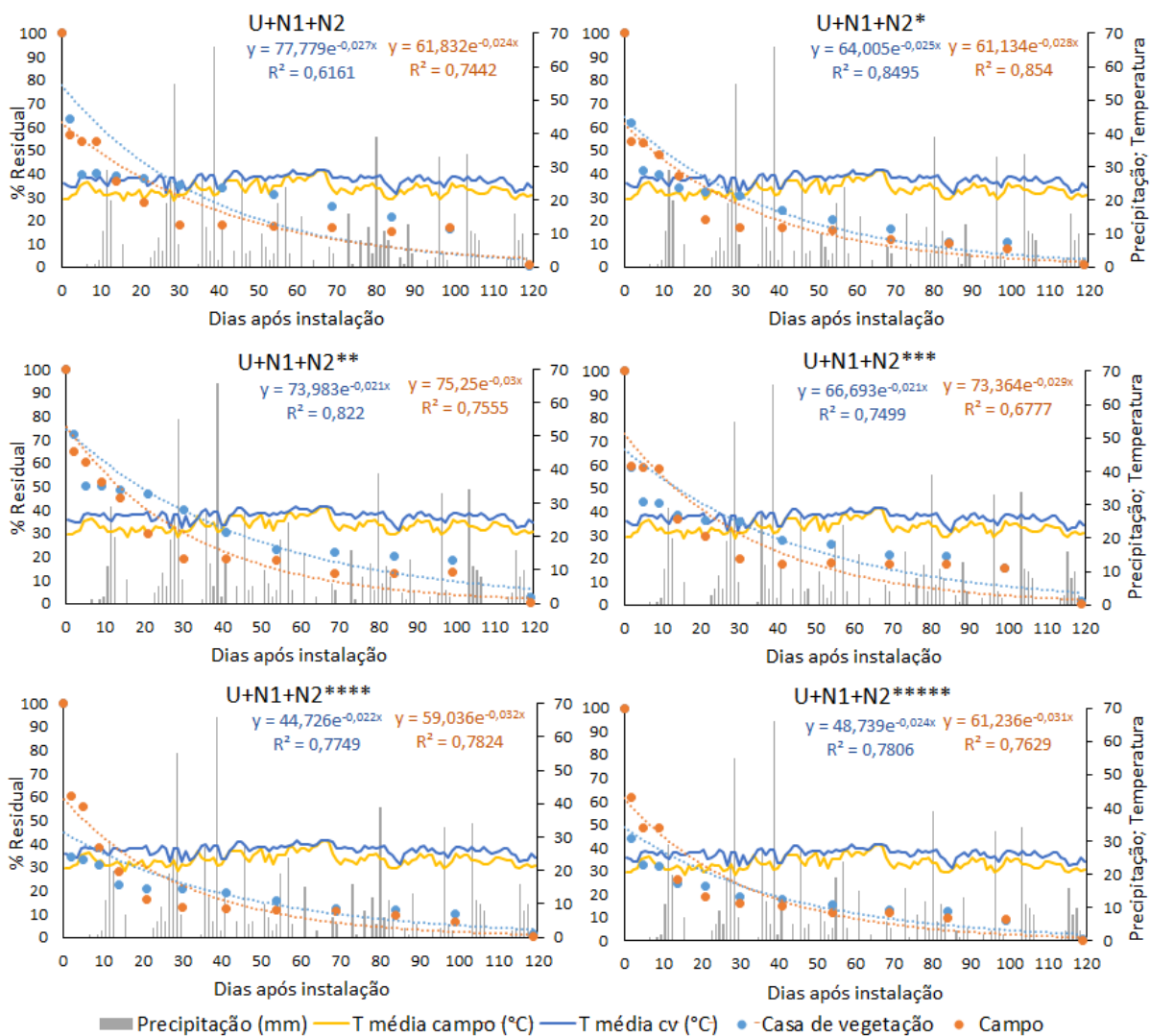


Figura 23. Curvas de liberação dos tratamentos combinados 3 a 3; *=inversão nas proporções dos fertilizantes utilizados nos tratamentos

Trabalhos como os de Yang et al. (2012) com fertilizantes controlados na cultura do arroz, Geng et al. (2015), com fertilizantes recobertos com enxofre e polímeros na cultura do algodão e Gao et al. (2015), com os mesmos tipos de fertilizantes na cultura da batata, evidenciaram a possibilidade de se ajustar as necessidades nutricionais da cultura a liberação dos fertilizantes com tecnologia agregada buscando otimizar os cultivos agrícolas.

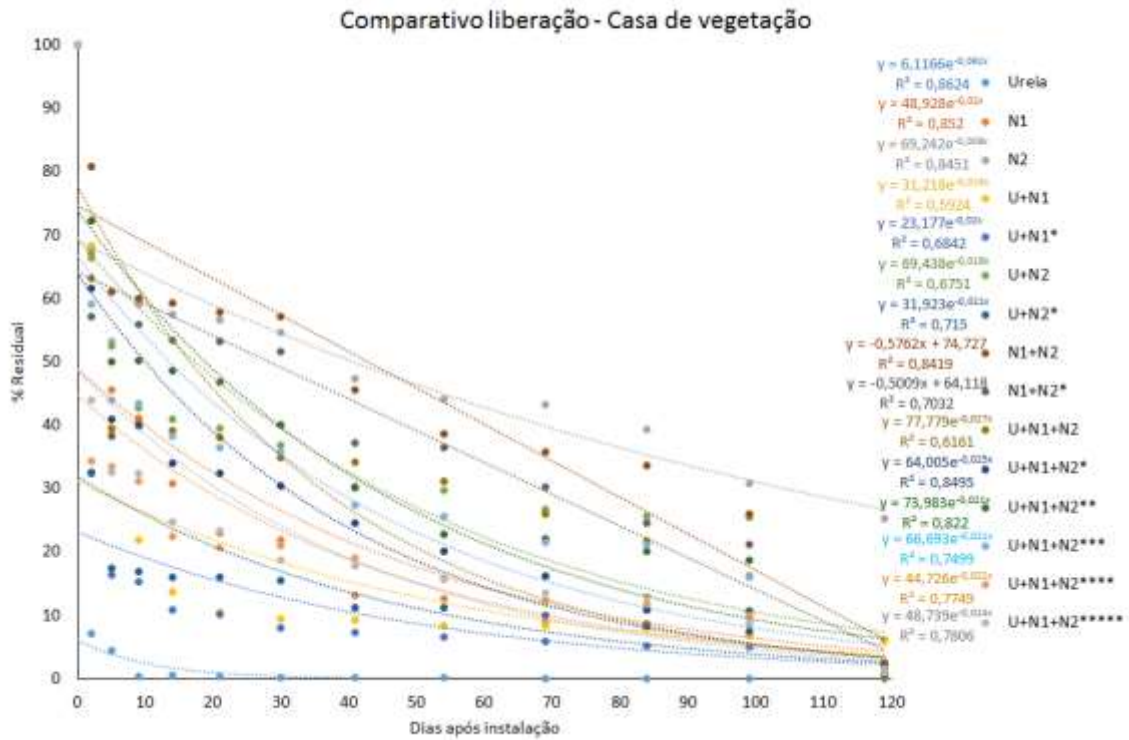


Figura 24. Comparativo das curvas de liberação de N nos tratamentos conduzidos em condições de casa de vegetação

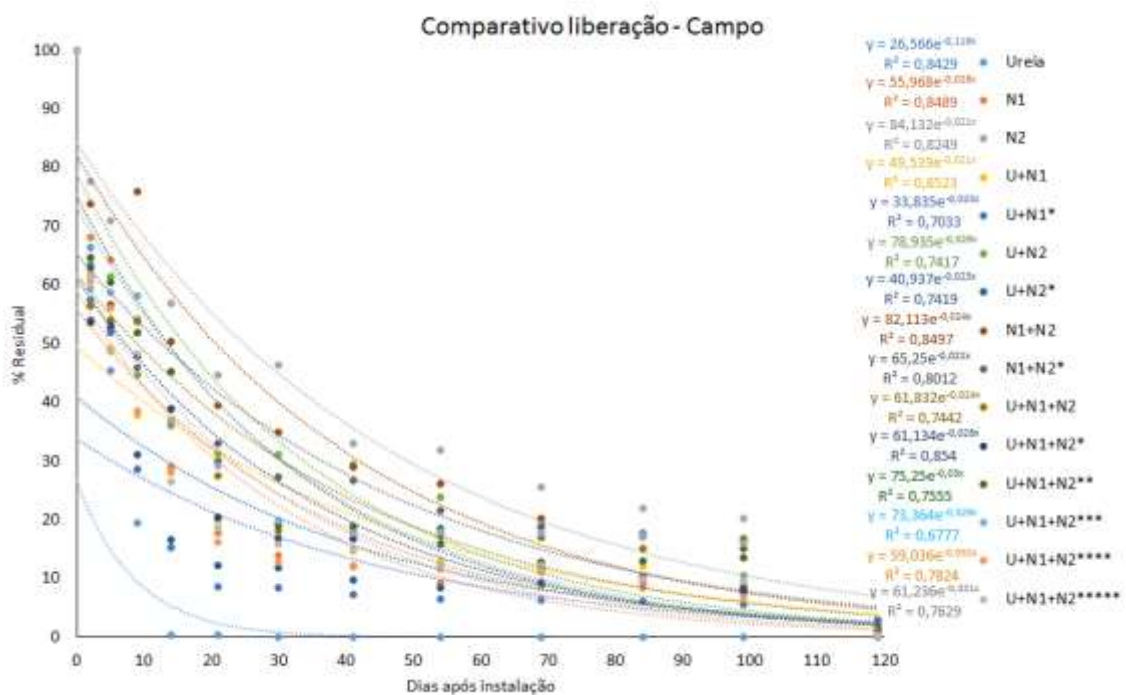


Figura 25. Comparativo das curvas de liberação de N nos tratamentos conduzidos em condições de campo

As curvas de liberação geradas podem ser utilizadas como ferramentas para auxiliar o manejo da adubação no campo, variando entre as culturas adotadas, no caso da escolha destes tipos de fertilizantes nitrogenados. É possível, também, optar pela melhor opção econômica entre os tratamentos uma vez que a inserção de tecnologia a um produto, no caso a ureia convencional, eleva os custos do insumo ao produtor e, combinações que trabalhem com proporções dos fertilizantes recobertos com a ureia convencional podem atenuar os custos com este insumo (Tabela 5).

Além da intensidade e velocidade da liberação, estimou a longevidade dos tratamentos. Através do padrão de liberação encontrado, foi possível utilizar um modelo metodológico que expressa por meio de cálculos matemáticos da velocidade média para liberação dos tratamentos, ou seja, através das médias e desvios padrão dos tratamentos estimou um valor constante liberado diariamente até o esgotamento de 100% do fertilizante. O modelo que foi seguido é apresentado pelas equações 1 a 7:

$$\text{Média tratamento (por coleta)} = \frac{\sum \text{ Tratamento}}{\text{número de repetições do tratamento}} \quad [1]$$

$$\frac{\Delta \text{ Média dos tratamentos}}{\Delta \text{ Dias}} = \frac{\text{Média tratamento coleta 1} - \text{Média tratamento coleta 2}}{\text{Dias coleta 1} - \text{Dias coleta 2}} \quad [2]$$

$$\text{Média desvios padrão dos tratamento (por coleta)} = \frac{\sum \text{ Desvios padrão dos tratamentos s}}{\text{número de repetições dos desvios padrão dos tratamentos}} \quad [3]$$

$$\frac{\Delta \text{ Média dos desv. pad dos tratamentos}}{\Delta \text{ Dias}} = \frac{\text{Média desv. pad do trat. coleta 1} - \text{Média desv. pad trat. coleta 2}}{\text{Dias coleta 1} - \text{Dias coleta 2}} \quad [4]$$

$$\text{Média geral dos tratamentos} = \frac{\sum \frac{\Delta \text{ Média dos tratamentos}}{\Delta \text{ Dias}}}{\text{número total de coletas realizadas}} \quad [5]$$

$$\text{Média geral dos desv. pad dos tratamentos} = \frac{\sum \frac{\Delta \text{ Média dos desv. pad dos tratamentos}}{\Delta \text{ Dias}}}{\text{número total de coletas realizadas}} \quad [6]$$

$$\text{Velocidade média (Vm)} = \frac{-100}{(\text{Média geral dos tratamentos} \pm \text{Média geral dos desv. pad dos tratamentos})} \quad [7]$$

Primeiramente foi necessário calcular a média aritmética de cada tratamento (por coleta) das quantidades de fertilizante que foi liberado [Equação 1]. Após esta etapa, calculou-se o delta das médias dos tratamentos em função do delta dos dias (Δ Dias) decorridos após a instalação do experimento. Por exemplo, utilizou-se o dado da média do primeiro tratamento da primeira coleta subtraído pelo valor da média do primeiro tratamento da segunda coleta e, dividiu-se o valor obtido pelo dado do número de dias decorridos até a primeira coleta subtraído do número de dias decorridos até a segunda coleta [Equação 2]. Este procedimento foi repetido para todas as coletas separado para todos os tratamentos. O procedimento de cálculo utilizado para as médias em [1] e [2] foi repetido para os desvios padrão [Equação 3] [Equação 4].

Os dados obtidos na equação 2 foram utilizados para realizar a média aritmética geral das médias do tratamento, ou seja, o somatório das médias do tratamento, por exemplo no tratamento 1, dividido pelo número de coletas [Equação 5], assim, obteve-se valor bruto e único da porcentagem média liberada diariamente. Os dados obtidos em [4] foram utilizados da mesma maneira para os desvios padrão [Equação 6] e, obteve-se valor bruto único para o desvio padrão. O procedimento foi repetido para cada tratamento do experimento.

O cálculo da velocidade média [Equação 7] foi obtido, então, efetuando a divisão de -100 (% total do fertilizante multiplicada por -1) pelo resultado da média geral do tratamento [5] adicionado da média geral do desvio padrão [6] e, realizou-se o mesmo cálculo dividindo -100 pelo resultado da média geral do tratamento [5] subtraído da média geral do desvio padrão [5].

Desta forma, foram encontrados dois valores que compõe uma faixa de liberação mínima e máxima para o tratamento, assim, foi possível estimar uma faixa de longevidade para todos os tratamentos (Tabela 8). Cabe citar que para a ureia convencional, os dias de coletas (14) foram considerados até valor residual de fertilizante menor que 1%.

Tabela 8. Faixa de dias para liberação de 100% do N contido nos tratamentos do experimento de dinâmica de liberação do nitrogênio proveniente da ureia convencional e recoberta por polímero e enxofre por metodologia de velocidade média

Tratamentos	Casa de vegetação			Campo		
	Dias para 100% de liberação			Dias para 100% da liberação		
	Limite superior		Limite inferior	Limite superior		Limite inferior
Ureia	10,3	a	10,4	15,8	a	13,7
N1	41,0	a	40,7	46,1	a	41,0
N2	54,8	a	53,2	60,9	a	51,2
U+N1	37,9	a	36,3	41,4	a	37,7
U+N1*	29,6	a	28,9	38,5	a	34,6
U+N2	45,7	a	44,1	46,7	a	40,8
U+N2*	30,7	a	29,2	40,0	a	36,2
N1+N2	59,0	a	57,7	54,7	a	48,6
N1+N2*	43,8	a	43,7	43,3	a	39,5
U+N1+N2	41,6	a	41,4	41,9	a	40,1
U+N1+N2*	40,9	a	39,3	40,4	a	38,5
U+N1+N2**	49,1	a	46,5	47,3	a	42,1
U+N1+N2***	42,2	a	39,8	43,7	a	41,6
U+N1+N2****	32,5	a	32,5	40,9	a	38,0
U+N1+N2*****	34,2	a	34,0	40,7	a	38,4

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11%S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos)

As faixas de liberação obtidas relacionadas aos respectivos dados analisados do dia final da faixa (120 dias), mostraram que para os tratamentos com apenas um fertilizante (U, N1, N2), em casa de vegetação, a taxa de liberação atingiu valores de 99, 87 e 56%, respectivamente. As combinações entre dois fertilizantes resultaram em taxas de liberação de 90% para U+N1, 92% para U+N1*, 70% para U+N2, 85% para U+N2* e, para N1+N2 e N1+N2* foram encontrados valores de 62 e 64%, respectivamente. Para as combinações de 3 fertilizantes, U+N1+N2 obteve 66% de taxa de liberação, U+N1+N2* com 75%, U+N1+N2** com 77% e, para U+N1+N2***, U+N1+N2**** e U+N1+N2*****, os valores foram de 73, 80 e 82%, respectivamente (Figura 22, 24).

As faixas de liberação em campo representaram para a ureia convencional 99,5%, o tratamento N1 e N2 88 e 70%, respectivamente. Para as combinações entre dois fertilizantes, U+N1 atingiu 85% de liberação, U+N1* obteve 93%, U+N2 com valor de 70%, U+N2* atingiu 90% de liberação e, N1+N2 e N1+N2* obtiveram 74%. Para as combinações de 3 fertilizantes U+N1+N2 obteve 82%, U+N1+N2* com valor de 83%, U+N1+N2**

atingiu 81% de liberação e, U+N1+N2^{***}, U+N1+N2^{****} e U+N1+N2^{*****} obtiveram 82, 88 e 85%, respectivamente (Figura 22, 23).

Os dados de faixa de liberação por velocidade média podem ser utilizados como orientação para a longevidade e liberação da maior proporção do fertilizante dos tratamentos. Porém, considerando os valores residuais de fertilizante encontrados (Figura 22, 23), que extrapolam os valores encontrados nas faixas de liberação e, considerando ainda que a dinâmica exponencial encontrada não permite a finalização da liberação (valor 0), foi utilizado o artifício de linearização das curvas. Através da aplicação de logaritmo aos tratamentos e curvas foi estimada a longevidade do fertilizante pelo cruzamento da curva de liberação com o eixo das abscissas ($y = 0$) (Figura 26, 27).

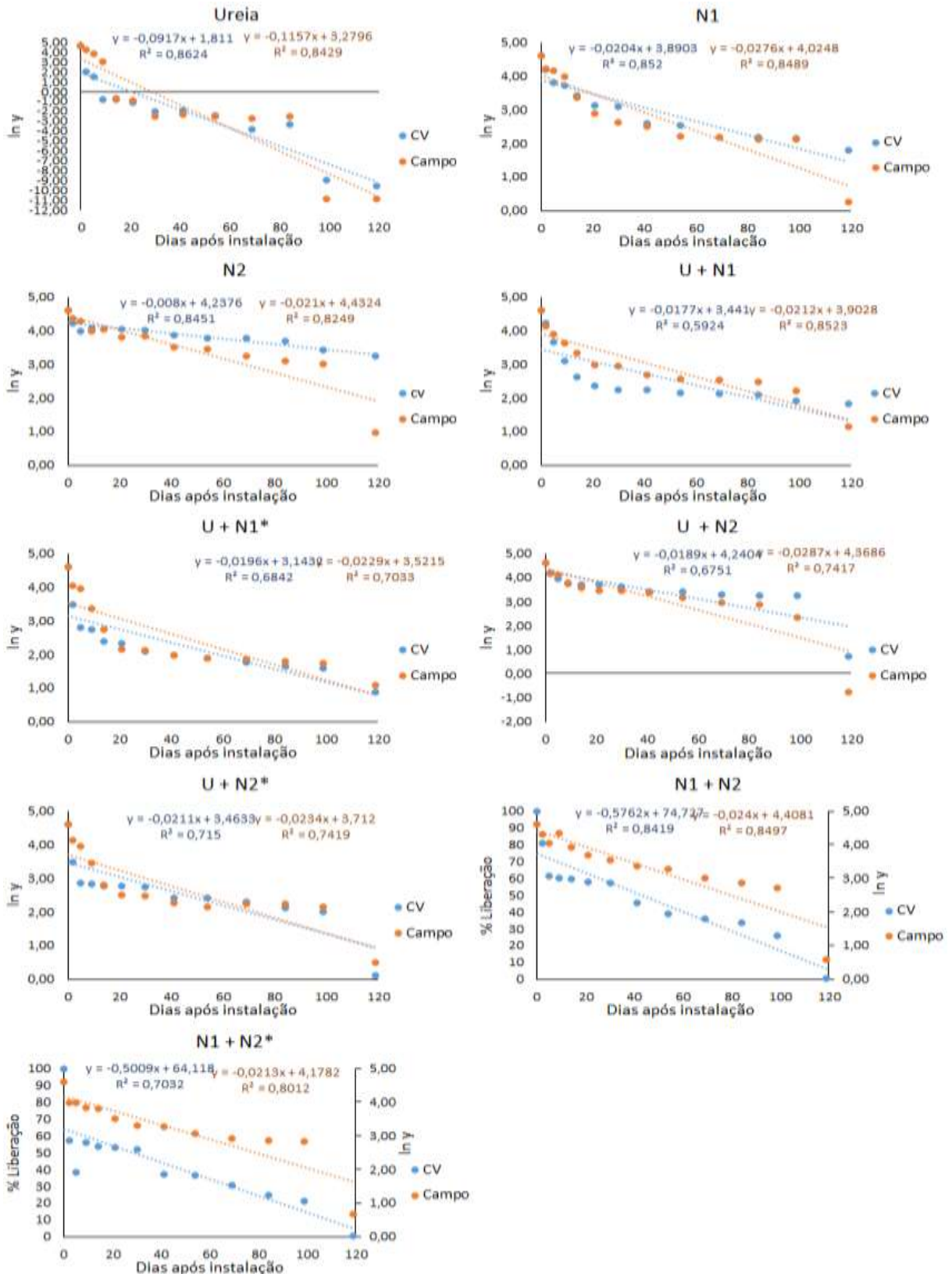


Figura 26. Linearização e comparação das curvas de liberação de N, dos tratamentos isolados e em combinações 2 a 2, em experimentos conduzidos em campo e casa de vegetação (CV)

A linearização das curvas permitiu observar não apenas a quantia residual dos tratamentos, como também apresentou a tendência da velocidade para o esgotamento total dos tratamentos. A noção da velocidade foi

observada inclinação da reta resultante da linearização, os tratamentos alocados em campo mostraram-se com maior tendência de liberação total em menor tempo que os tratamentos alocados em casa de vegetação (Figura 26, 27).

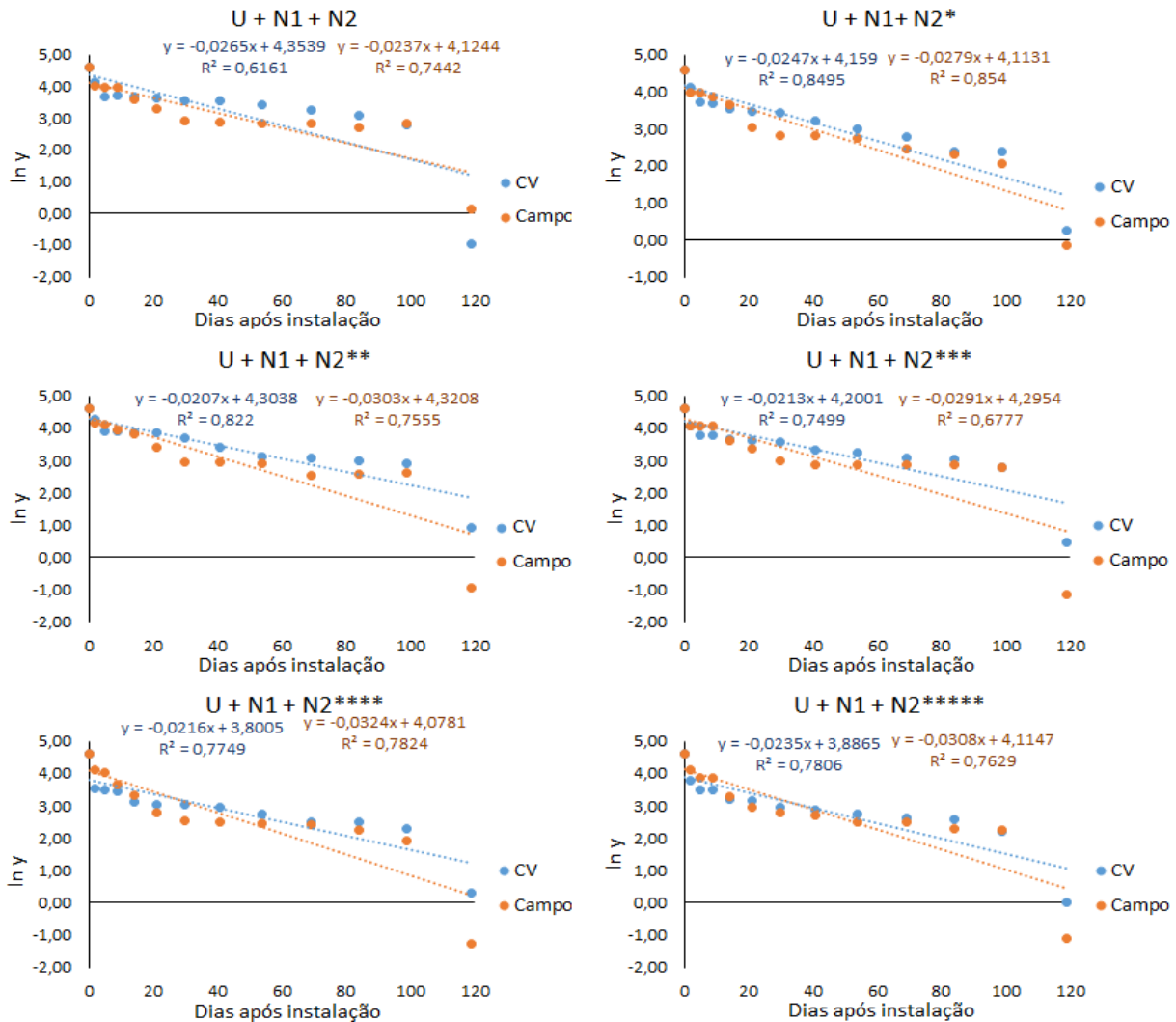


Figura 27. Linearização e comparação das curvas de liberação de N, dos tratamentos combinados 3 a 3, em experimentos conduzidos em campo e casa de vegetação (CV)

Os tratamentos N1+N2 e N1+N2* (Tabela 5) conduzidos em casa de vegetação não foram linearizados por apresentarem dinâmica linear de liberação (Figura 22). Assim a estimativa do total esgotamento foi realizada pela aplicação direta da equação resultante da dinâmica de liberação dos tratamentos.

A estimativa dos dias para a liberação total por este artifício foi superior as faixas de liberação obtidas por velocidade média, porém é necessário atentar para dois fatores: origem da curva linearizada e quantidade residual de fertilizante nos tratamentos (Tabela 9). Ambos os fatores estão relacionados, pois a origem da curva linearizada remete a curva exponencial que, por definição, não apenas não se encontra com o eixo das abscissas, como os valores na porção final da curva são pequenos, ou seja, um maior prolongamento na longevidade resultante por este artifício se remete a uma pequena quantidade de fertilizante no tratamento.

Tabela 9. Estimativa da longevidade dos tratamentos obtidos por linearização das curvas exponenciais de liberação de N do experimento de dinâmica de liberação do nitrogênio proveniente da ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre, conduzidos em casa de vegetação e em campo

Tratamento	Casa de vegetação				Campo			
	Número de dias	Residual liberação final		Número de dias da liberação residual	Número de dias	Residual liberação final		Número de dias da liberação residual
		Analísado	Calculado			Analísado	Calculado	
		-----%-----				-----%-----		
Ureia	19,7	0,5	1,7	5,7	28,3	0,5	2,3	14,3
N1	194,5	6,0	4,5	75,5	143,7	1,3	2,0	24,7
N2	529,7	25,2	26,7	410,7	211,1	2,6	6,9	92,1
U+N1	191,2	6,1	3,7	72,2	185,8	3,1	4,1	66,8
U+N1*	157,2	2,4	2,1	38,2	153,1	2,9	2,2	34,1
U+N2	223,2	2,0	7,2	104,2	150,6	0,5	2,5	31,6
U+N2*	164,9	1,1	2,6	45,9	161,4	1,6	2,7	42,4
N1+N2	129,7	0,6	-	10,7	183,7	1,8	4,7	64,7
N1+N2*	128,0	0,6	-	9,0	199,0	1,9	5,4	80,0
U+N1+N2	161,3	0,4	3,1	42,3	171,9	1,1	3,6	52,9
U+N1+N2*	166,4	1,3	3,3	47,4	146,9	0,9	2,2	27,9
U+N1+N2**	204,9	2,5	6,1	85,9	144,0	0,4	2,1	25,0
U+N1+N2***	200,0	1,6	5,5	81,0	148,1	0,3	2,3	29,1
U+N1+N2****	172,8	1,4	3,3	53,8	127,4	0,3	1,3	8,4
U+N1+N2*****	161,9	1,0	2,8	42,9	132,7	0,3	1,5	13,7

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos)

Os resultados obtidos para o experimento em casa de vegetação, com exceção aos tratamentos N1+N2 e N1+N2*, foram maiores que aos observados em campo. Resultado este esperado e identificado na análise das curvas exponenciais de liberação. Assim, pode ser inferido que, por apresentar condições mais constantes de temperatura e, principalmente, de umidade do solo, este ambiente não sofreu influência de fatores extremos, como precipitações mais intensas ocorridas em campo. Cabe ressaltar também que, para o tratamento N2 (estimativa de 530 dias), o alto valor de longevidade se deve a maior quantidade residual de fertilizante encontrada ao final do experimento (Tabela 9).

O residual de liberação encontrado nas análises laboratoriais aos 119 dias após instalação do experimento, denominados residual de liberação final, foi comparado a uma estimativa calculada do valor residual que seria obtido no mesmo período. Para tal, calculou a porcentagem residual obtida pela equação da dinâmica exponencial de liberação, ou aplicando o inverso da equação logarítmica utilizada no período, ou seja, utilizando a equação resultante da linearização no valor de 119 dias de liberação e verificada a resultante no eixo das ordenadas, em posse desse valor foi aplicado a exponencial do resultado retornando a um valor percentual.

Com o dado da porcentagem residual aos 119 dias foi possível verificar a quantidade de fertilizante que seria liberada entre o período final do experimento e a longevidade encontrada pela linearização das curvas de liberação. A comparação dos valores analisados e calculados, adicionados do número de dias para liberação residual (posterior a finalização do experimento) permitiram comprovar pequena amplitude de variação entre o que foi calculado pela curva de liberação e o valor obtido em laboratório ratificando que a liberação residual, embora tenha atingido maior longevidade, se deveu a uma pequena porcentagem residual, que exceto pelo tratamento N2, foi inferior a 6% em casa de vegetação e, a 3% em campo (Tabela 9).

Os resultados residuais, assim como a estimativa do seu tempo de liberação podem auxiliar em estratégias de manejo a ser adotado pelo produtor no controle da quantidade de insumos utilizada e aproveitada pelas plantas.

É de fundamental importância o conhecimento da dinâmica de liberação dos novos fertilizantes com tecnologia agregada disponíveis no mercado, através deste tipo de conhecimento foi possível identificar as melhores aplicações para estes produtos e, assim, auxiliar na tomada de decisão pelos produtores e otimizar seu uso nas lavouras.

11. CONCLUSÃO

Os recobrimentos utilizados na ureia na forma dos produtos utilizados (recobrimentos com enxofre e polímero), resultaram em liberação gradual do fertilizante apresentando dinâmica exponencial de liberação.

Em condições de maior espessura de recobrimento, a taxa de liberação foi diretamente afetada e, por consequência, a longevidade da ureia recoberta.

Os fatores temperatura e umidade do solo afetam diretamente a taxa de liberação da ureia recoberta.

A combinação entre a ureia com produtos recobertos e, a combinação entre produtos recobertos, resulta em gama de curvas de liberação, e possibilita maior chance de encontrar uma opção que melhor se ajuste a necessidade das culturas agrícolas;

Ambas as metodologias de estimativa da longevidade (velocidade média e linearização), são ferramentas úteis que podem, em conjunto, dar maior perspectiva a respeito da liberação total e potencial que pode ser atingida pelos fertilizantes recobertos.

REFERÊNCIAS

- AL-ZAHRANI, S.M. Controlled-release of fertilizers: modelling and simulation. **International Journal of Engineering Science**, v. 37, p. 1299-1307, 1999.
- AZEEN, B.; KUSHAARI, K.; MAN, Z.B.; BASIT, A.; THANH, T.H. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer. **Journal of Controlled Release**, v. 181, p. 11-21, 2014.
- AZEVEDO, T.R.; GALVANI, E. Ajuste do ciclo médio mensal horário da temperatura do solo em função da temperatura do ar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 123-130, 2003
- BLAYLOCK, A. **Novos fertilizantes nitrogenados: o futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada**. Piracicaba: IPNI, 2007. P. 8–10. (Informações Agronômicas, 120).
- BLOUIN, G.M.; RINDT, D.W.; MOORE, O.E. Sulfur-Coated Fertilizers for Controlled Release: Pilot Plant Production. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 19, p. 801-808, 1971.
- CABRERA, R.I. Comparative evaluation of nitrogen release patterns from controlled-release fertilizers by nitrogen leaching analysis. **HortScience**, v. 32, p. 669-673, 1997.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap.7 p.375–470.
- CARVALHO, H.P.; HONÓRIO, D.F.; RABELO, P.G. Estimativa da temperatura de um solo coberto com grama em função da temperatura do ar. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 9; SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 6; 2009. Recife. **Anais...** Recife, CEGOE, 2009. 1 CD-ROM.
- DU, C.; ZHOU, J.; SHAVIV; WANG, H. Mathematical model for potassium release from polymer-coated fertilizer. **Biosystems Engineering**, v. 88, p. 395-400, 2006.
- DUNN, J.D.; STEVENS, G. Response of rice yields to phosphorus fertilizer rates and polymer coating. **Crop Management**. [Online]. 2008. Disponível em: <dl.sciencesocieties.org/publications/cm/pdfs/7/1/2008-0610-01-RS>. Acesso em: 18 out 2016.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.
- FACRE, W.R. **Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 5-6. (Informações Agronômicas, 120).

- FAN, X.; LI, Y.C. Nitrogen release from slow-release fertilizer as affected by soil type and temperature. **Soil Science Society of American Journal**, v. 74, n. 5, p. 1635-1641, 2010.
- FUJINUMA, R.; BALSTER, N.J.; NORMAN, J.M. An improved model of nitrogen release for surface-applied controlled-release fertilizer. **Soil Science Society of American Journal**, v. 73, n.6, p. 2043-2050, 2009.
- GAO, X.; LI, C.; ZHANG, M.; WANG, R.; CHEN, B.; Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil. **Field Crops Research**, v. 181, p. 60-68, 2015.
- GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of Soil Analysis**. 3rd ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 2002. pt. 4, p.255-293.
- GENG, J.; MA, Q.; ZHANG, M.; LI, C.; LIU, Z.; LYU, X.; ZHENG, W. Synchronized relationships between nitrogen release of controlled release nitrogen fertilizers and nitrogen requirements of cotton. **Field Crops Research**, v. 184, p. 9-16, 2015.
- GENG, J.; MA, Q.; CHEN, J.; ZHANG, M.; LI, C.; YANG, Y.; YANG, X.; ZHANG, W.; LIU, Z.; Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton. **Field Crops Research**, v. 187, p. 87-95, 2016.
- HUETT, D.O.; GOGEL, B.J. Longevities and Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Release Patterns of Polymer-Coated Controlled-Release Fertilizers at 30°C and 40°C. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 31, p. 959-973, 2000.
- HUSBY, C.E. **Influence of Temperature and Time on Nutrient Release Patterns of Osmocote Plus™, Nutricote™, and Polyon™ Controlled-Release Fertilizers**. 2000. 63 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2000.
- JAROSIECWICZ, A.; TOMASZEWSKA, M. Controlled-release NPK fertilizer encapsulated by polymeric membranes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 413-417, 2003.
- KAMOGAWA, M.Y.; TEIXEIRA, M.A. Autoamostrador de baixo custo para análise por injeção em fluxo. **Química Nova**, v. 32, p. 1644-1646, 2009.
- KISS, S.; SIMIHÁIAN, M. Inorganic compounds tested for evaluation of their inhibiting effect on soil urease activity, urea hydrolysis, ammonia volatilization, and nitrous oxide emission. In: **Improving Efficiency of Urea Fertilizers by Inhibition of Soil Urease Activity**. The Netherlands. Klumer Academic Publishers, 2002, cap. 1, p. 5-42.

- LIU, L.S.; KOST, J.; FISHMAN, M.L.; HICKS, K.B. A Review: Controlled Release Systems for Agricultural and Food Applications. In: PARRIS, N.; LIU, L.S.; SONG, C.; SHASTRI, V.P. (Ed.); *New Delivery Systems for the Controlled Drug Release from Naturally Occurring Materials*. Washington. American Chemical Society, 2008, cap. 14 p.265-281.
- MAJEED, Z.; RAMLI, N.K.; MANSOR, N.; MAN, Z. A comprehensive review on biodegradable polymers and their blends used in controlled-release fertilizer processes. **Reviews in Chemical Engineering**, v. 31, p. 69-95, 2015.
- MOTA, E.P. **Fertilizantes nitrogenados de liberação gradual: longevidade e volatilização em ambiente controlado**. 2013.104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.
- PARAMASIVAM, S.; ALVA, A.K. Nitrogen recovery from controlled-release fertilizers under intermittent leaching and dry cycles. **Soil Science**, v. 162, p. 447-453, 1997.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 2001. 285 p.
- SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-15
- TRENKEL, M.E. **Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2010. 167 p.
- VITTI, G.C. Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, FCAV:Funep, 1989, 37p.
- VITTI, G.C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: Uma visão holística. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap. 4, p. 109–160.
- YANG, Y.; ZHANG, M.; LI, Y.C.; GENG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. **Nutrient Management & Soil & Plant Analysis**, v. 76, p. 2307-2317, 2012.

12. PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MILHO SOB ADUBAÇÃO COM UREIA RECOBERTA COM POLÍMEROS E ENXOFRE

Resumo

O milho é cultura agrícola fundamental por atender aos três requisitos básicos da agricultura, a produção de alimentos, fibras e energia. É o cultivo de maior produção no mundo ultrapassando 1 bilhão de toneladas produzidas, com tendência linear de aumento. Para a manutenção e aumento das produtividades, os fertilizantes nitrogenados se destacam onde o nitrogênio é o nutriente mais extraído e que pode resultar em maiores ganhos de produtividade na cultura. Entre as fontes disponíveis, a ureia é o fertilizante nitrogenado mais aplicado no campo e, é alvo de grande número de pesquisas que buscam incrementar sua eficiência de uso no campo. Os fertilizantes de liberação controlada, representados pelo recobrimento da ureia, são alternativas para melhorar a liberação do nutriente ao solo na busca do fornecimento deste em sincronia com a absorção radicular e necessidade nutricional da cultura, o que pode resultar não apenas no incremento da produtividade, mas de todo o custo de produção. O objetivo foi avaliar a produtividade do milho, em campo, em relação a aplicação da ureia convencional e, recoberta com polímeros. O experimento foi desenvolvido utilizando a ureia convencional e dois produtos recobertos com enxofre e polímero, estes diferiram na espessura de recobrimento das cápsulas. Utilizou-se, também combinações duas a duas e três a três entre os fertilizantes resultando em 15 tratamentos adicionados de um tratamento controle, com 4 repetições organizados no delineamento de blocos ao acaso. Avaliou-se a produtividade do cultivo do milho, a massa de 1000g, os aspectos biométricos de diâmetro do caule e altura de inserção da espiga, o estado nutricional das plantas e, a qualidade proteica dos grãos, além de análise econômica da inserção dos tratamentos no sistema de cultivo. Os resultados mostraram viabilidade, agrônômica e econômica do uso dos tratamentos, principalmente frente ao uso da ureia convencional. Foi verificado que a aplicação em área total de toda a dose de nitrogênio para a cultura foi possível para os produtos recobertos e as combinações destes entre si e com a ureia convencional. O experimento possibilitou a conclusão de que a produtividade do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, com polímero e enxofre, frente ao uso da ureia convencional, aumenta a produtividade, os parâmetros biométricos, os parâmetros nutricionais e a qualidade do grão da cultura do milho. As combinações realizadas entre os produtos recobertos com a ureia convencional são alternativas para o aumento da produtividade resultando em valores superiores a aplicação dos insumos de forma isolada. Economicamente, a adoção da tecnologia dos fertilizantes recobertos se mostra vantajosa por permitir a eliminação da operação de cobertura, fato não recomendado para a ureia sem recobrimento e, as combinações entre realizadas nos tratamentos podem ser alternativas a atenuação dos custos de utilização dos produtos recobertos sem prejuízo à produtividade.

Palavras chave: Fertilizantes de liberação controlada; Campo; Orçamentação

Abstract

Maize is a major crop because it fulfills the three basic agriculture requirements, production of food, fibers and energy. It is the crop with the greatest world production surpassing one billion tons tending to a linear increase. Nitrogen fertilizers stands because nitrogen is the most extracted nutrient and could result in significant growth of the crop maintaining and increasing the yield. Among the available sources, urea is the nitrogen fertilizer more used on the field and is being largely studied to step up its efficiency. Controlled release fertilizers, represented by the covering of urea, are alternatives to improve the nutrient release to the soil in search of supplying in synch with root absorption and the crop nutritional needs, resulting not only in yield increase but also in the production cost. The objective was to evaluate in the field maize productivity related to fertilization with conventional urea and covering it with polymers. The experiment was developed using conventional urea and two products covered with polymers and sulfur, differing from each other by the thickness of the capsules. The combination was considering two and three factors among the fertilizers resulting in 15 treatments, besides the control treatment, with four replicates organized in randomized blocks. Maize productivity, 1000g mass, biometrics aspects such as stem diameter and spike insertion height, nutritional status of plants and quality of grains represented by protein concentration, as well as economic analysis of the insertion of treatments into the cultivation system. The results showed agronomic and economic feasibility to the treatments adoption, mainly in comparison of the use conventional urea. It was verified that the application in total area in the whole dose of nitrogen for the crop was possible by fertilization with coated products and combinations of these with each other and with the conventional urea. The experiment made it possible to conclude that the maize yield fertilized with conventional and polymer and sulfur coated urea, against the use of conventional urea increases yield, biometric parameters, nutritional parameters and grain quality of maize. The combinations made between the coated products with conventional urea are alternatives for increasing the yields resulting in higher values than application of the inputs in an isolated way. Economically, the adoption of coated

fertilizer technology is advantageous because it allows the elimination of the covering operation, a fact not recommended for urea without coating, the combinations among treatments can be alternatives to the mitigation of the costs by using coated products without yields issues.

Keywords: Controlled release fertilizers; Field; Budgeting

13. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é uma monocotiledônea monoica pertencente à família *Poaceae*. A estrutura deste vegetal constitui-se de uma haste vertical reta, com altura variável podendo atingir de um até quatro metro, seu colmo possui nós e entrenós de onde brotam suas folhas com formato lanceolado, invaginantes, alternas e opostas. Seu produto principal, o grão, oriundo da inflorescência feminina (espiga) é do tipo cariopse constituído de epicarpo, endocarpo e embrião. O sistema radicular é pouco profundo onde encontra-se cerca de 80% das raízes nos primeiros 20 cm de solo (LIMA, 2010).

Esta planta é de fundamental importância por atender as três necessidades básicas da agricultura: a produção de alimento, fibras e energia. O milho pode ser aproveitado como alimento, matéria prima alimentar para as indústrias (farmacêutica, têxtil, bebidas, cosmética, colas etc.) e, hoje, matéria prima energética com a produção do etanol (SILVA, 2005).

Tem provável origem na América Central, com indicações para o México, sendo o Teossinto (*Euchlaena mexicana*) uma gramínea nativa da América Central, seu possível ancestral. É uma das plantas cultivadas mais antigas, mais estudada e mais detalhada dentre todas as espécies agrícolas de cultivo (WILKES, 2004; LIMA, 2010).

O milho é a cultura agrícola de maior produção no mundo, sua produção vem crescendo linearmente na última década e, atualmente, ultrapassa 1 bilhão de toneladas (BRANDALIZZE, 2015; FAO, 2016). No Brasil, esta cultura ocupa segundo lugar tanto em área plantada, ultrapassando os 15 milhões de hectares, quanto em produção, sendo o segundo grão mais produzido no país com cerca de 70 milhões de toneladas (CONAB, 2016). Ressalta-se que o setor de rações animais é o propulsor do consumo do milho produzido no Brasil com mais de 20 milhões de toneladas, com destaque para avicultura de corte e suinocultura (PINAZZA, 2007; BRANDALIZZE, 2009).

Os aumentos de consumo e a importância de seus grãos levaram a seleção e melhoramento de forma a aumentar sua produção. A cultura do milho tem passado por grandes avanços relativos à ecologia, fisiologia e nutrição propiciando melhor entendimento do ambiente de produção (FANCELLI; TSUMANUMA, 2007; FANCELLI, 2015).

Em contrapartida às altas produções alcançadas, as médias de produtividades brasileiras estão situadas em 5 toneladas por hectare, valor muito aquém do potencial produtivo da cultura (CONAB, 20016). Através da tecnificação no sistema de cultivo, com melhores orientações aos produtores e uso adequado dos insumos, valores de até 12 toneladas por hectare podem ser alcançados (VITTI et al., 2011).

A cultura do milho, por apresentar este alto potencial produtivo, é exigente em manejo e cuidados na elaboração do plano de cultivo devem ser tomados. Below (2013) enumera, em ordem de importância, os fatores principais para altas produtividades: Clima; Nitrogênio, Genótipo; Rotação de cultura; População de plantas; Tipo de manejo do solo e; Reguladores de crescimento. Segundo o autor, o manejo correto destes fatores pode incrementar muito a produtividade, com destaque para o clima e para o nitrogênio, cada um destes 2 fatores pode, isoladamente, aumentar a produtividade em valor similar a média de produtividade brasileira (aproximadamente 5 t ha⁻¹).

Dada a dificuldade e imprevisibilidade do manejo climático, o nitrogênio é o fator que pode ser manejado mais facilmente trazendo significativos incrementos de produtividade. Este elemento destaca-se por ser o de maior extração pela cultura com valores chegando a 80% de extração nutricional, o que explica o foco das pesquisas por todo mundo (MARCHNER, 1995; DUARTE et al., 2003; HECKMAN et al., 2003; FANCELLI; TSUMANUMA, 2007).

Porém, no momento da elaboração do programa de adubação, dada a alta exigência nutricional da cultura, é necessário o estabelecimento de alguns fatores importantes tais como o destino da produção (grãos, silagem, milho verde), a capacidade do solo e produtividade desejada, a extração da cultura (necessidade total de nutrientes), a marcha de absorção e fenologia (necessidade de nutrientes ao longo do desenvolvimento do milho) e, a fonte de fertilizante nitrogenado a ser utilizada (RAIJ, 1997; FANCELLI, 2009).

Em termos gerais, recomenda-se aplicar entre 10 e 50 kg ha⁻¹ de N na semeadura, dependendo do rendimento esperado. A adubação nitrogenada de cobertura (lanço ou sulco de plantio) é recomendada entre os estádios V4 e V8 (emissão da 4ª a 8ª folhas) com até 150 kg ha⁻¹, cita-se que em condições de altas doses recomenda-se o parcelamento da cobertura empregada (RAIJ, 1997; FANCELLI, 2009; RODRIGUES; GUADAGNIN; PORTO, 2009; DUARTE et al., 2014).

Nesse contexto, o aumento da necessidade do milho, exposta pela evolução dos valores de quantidade produzida (CONAB, 2016), adjunto a elevada necessidade e responsividade da cultura ao nitrogênio (fator principal responsável por altas produtividades) (BELOW, 2013), faz surgir a necessidade da otimização do sistema de produção para o suprimento da demanda (atual e futura).

Ao considerar que os programas de adubação da cultura do milho, em relação a dose e ao momento da aplicação, estão bem estabelecidos, mas a eficiência da adubação nitrogenada situar-se por volta de 50 – 60% do fertilizante aplicado, o foco das pesquisas para a otimização do sistema se volta para as fontes utilizadas. Dentre estas, a ureia é a principal fonte de nitrogênio aplicada no campo, representando mais da metade da matriz dos fertilizantes nitrogenados utilizados na agricultura (FACRE, 2007). O alto teor do elemento (45% de N), que resulta em menor preço por unidade do nutriente, além da alta propensão a perdas que este fertilizante possui, torna a ureia um insumo interessante do ponto de vista da otimização.

Deste exposto, a agregação de tecnologias às fontes de fertilizantes existentes, principalmente a ureia, se destaca como alternativa ao aumento da eficiência de uso do nitrogênio (EUN). Os fertilizantes com tecnologia agregada se caracterizam pela aplicação, ao fertilizante convencional, de produtos que alterem o tempo para disponibilização do fertilizante ao solo ou, que mantenham o fertilizante em formas menos propensas a perdas (CANTARELLA, 2007). Atualmente duas classes principais representam estes tipos de fertilizantes, os de liberação lenta, onde também se enquadram os fertilizantes estabilizados e, os de liberação controlada.

A diferenciação entre estas classes se dá por meio do maior ou menor conhecimento acerca dos fatores e mecanismos que influenciam na liberação e disponibilização destes fertilizantes ao solo e, conseqüentemente, à planta. Shaviv (2005) relata que, quando o fertilizante libera o nutriente de forma mais lenta que na sua forma convencional, mas os fatores como taxa, duração e quantidade da liberação não são bem conhecidos, o fertilizante se enquadra como de liberação lenta e, quando estas taxas, tempo e duração são mais bem conhecidos, o fertilizante se caracteriza como de liberação controlada, além dos fertilizantes estabilizados que visam manter o adubo em sua forma original de aplicação. Ressalta-se que dado o grande número de produtos disponíveis no mercado, as classificações a respeito das terminologias e enquadramento destas fontes necessita ser melhor esclarecida.

A agregação de tecnologia pode ser aplicada a qualquer nutriente de planta, o nitrogênio, como exposto, por ser um nutriente de grande importância para o milho e, a ureia por ser o insumo mais aplicado dentre os fertilizantes nitrogenados, se destaca para o processo de diferenciação dos insumos. Vários produtos, tradicionais como o enxofre, ou mais sofisticados como as novas membranas poliméricas, estão sendo vistos com amplo interesse devido a modificações recentes no contexto agrônomo e ambiental (SHAVIV, 2001).

Os fertilizantes de liberação controlada, representados em sua maioria pela encapsulação da ureia, por possuírem maior conhecimento a respeito da disponibilização do nutriente, são interessantes por fornecerem não só uma dinâmica de liberação diferenciada, mas alternativas de manejo da adubação baseadas nestas liberações. O processo de encapsulação influi diretamente no mecanismo e intensidade do processo de liberação, ressalta-se que a espessura e a natureza química da resina de recobrimento, a quantidade de poros em sua superfície e, o tamanho do grânulo de fertilizante também contribui para determinar a curva de liberação de nutrientes ao longo do tempo (TRENKEL, 1997).

Através do uso do recobrimento do fertilizante, que gera diferenciação na dinâmica de liberação do nutriente, há a possibilidade do fornecimento do N da ureia em sincronia com o crescimento da cultura do milho. Nesta linha de pensamento, torna-se possível providenciar o elemento de forma suficiente em aplicação única atendendo as necessidades nutricionais da planta e, ainda, conservar baixas as concentrações de N mineral nos solos durante toda temporada de crescimento (PEOPLES; FRENEY; MOSIER, 1995; GAO et al., 2015).

O possível efeito resultante desta maior otimização do uso da ureia pelo milho é a redução de perdas para o ambiente, tornam-se possíveis reduções nas perdas por lixiviação, desnitrificação, imobilização e volatilização (SHAVIV, 2001). Além destes, há a minimização dos gastos com mecanização, já que com uma única aplicação elimina-se a reentrada de máquinas e implementos na área para distribuição do fertilizante, o que diminui, também, a emissão de gases do efeito estufa resultantes da queima de combustíveis fósseis para a atmosfera.

Este provável resultado ecológico, evitando-se a contaminação do ar ou águas subterrâneas e superficiais, nos dias de hoje, visto as exigências sociais não só de quantidade, mas também de qualidade dos alimentos e do ambiente, é muito interessante já que se obtém maior durabilidade do sistema produtivo.

O processo de agregação de tecnologia a ureia, entretanto, agrega custos ao produto final. Dados os gastos com o desenvolvimento e aplicação dos materiais sobre o fertilizante, há aumento de preço destes novos materiais em relação à mesma quantidade dos insumos convencionais.

O maior aporte de capital necessário à implantação da tecnologia de recobrimento no campo gera a necessidade da complementação dos estudos de eficiência agrônoma pelos estudos de viabilidade econômica. A hipótese de obtenção de maior eficiência da ureia resulta em possível aumento de produtividade, desta maneira, é necessário mensurar se a produtividade final, aos preços de venda praticados no período, é suficiente para a cobertura do adicional de custo aplicado no sistema de produção (MOTA; MENDES; SHIROTA, 2015).

O uso de estimativas simples, como métodos provisionais orçamentários, são ferramentas que podem auxiliar aos estudos de viabilidade econômica a fim de não apenas mensurar qualitativamente, mas também quantitativamente os ganhos (HOFFMANN et al., 1992). Assim, é possível verificar a extensão das vantagens trazidas pela adoção da tecnologia e obter dados suficientes que auxiliem a tomada de decisão do produtor rural.

O objetivo foi avaliar a produtividade do milho em campo em relação a aplicação da ureia convencional e recoberta com polímeros, além de realizar análise econômica para a verificação da viabilidade da inserção das tecnologias de recobrimento no sistema de cultivo do milho.

14. MATERIAIS E MÉTODOS

14.1. Área experimental

O experimento de campo foi conduzido no município de São Carlos, estado de São Paulo localizado na latitude $22^{\circ} 3'19.17''S$, e longitude $47^{\circ}50'30.43''O$ (Figura 24a), possuindo altitude média de 850 m. O clima local caracteriza-se, segundo a classificação de Köppen-Geiser, como Cwa (temperado de altitude, apresenta verão chuvoso e inverno seco). A precipitação média é de 1512 mm.

Durante o período de realização do experimento (15 de novembro de 2014 a 15 março de 2015), as temperaturas médias diárias, máximas e mínimas situaram-se em $26,2^{\circ}C$ e $20,5^{\circ}C$, respectivamente. O valor de precipitação acumulado no período foi de 746 mm (INMET, 2016) (Figura 28)

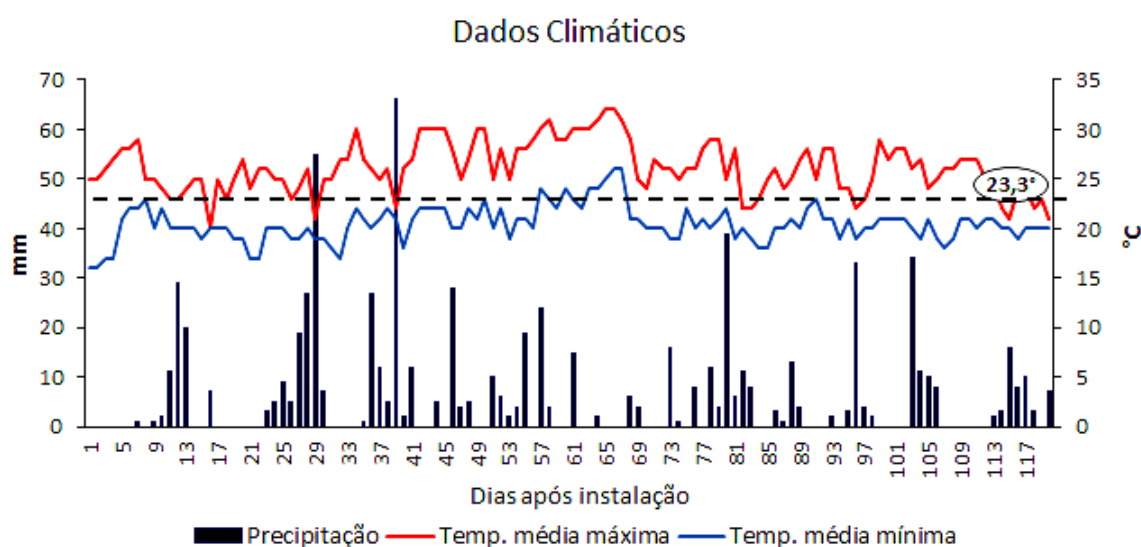


Figura 28. Dados de temperatura e pluviosidade da região de localização do experimento de produtividade do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre, no período do experimento

14.2. Caracterização do solo

O solo foi caracterizado como Neossolo Quartzarênico Órtico (Figura 29 b) típico, possui textura arenosa com 910 g kg^{-1} de areia, da qual 570 g kg^{-1} se constitui de areia fina ($0,21 - 0,053 \text{ mm}$) e 340 g kg^{-1} de areia grossa ($0,21 - 2,00 \text{ mm}$), possui 4 g kg^{-1} de silte e 86 g kg^{-1} de argila (GEE; OR, 2002) e, de acordo com metodologia descrita por Raij et al. (2001) e Vittori (1989) possui valor de $\text{pH} (\text{CaCl}_2) = 5,3$, conteúdo de matéria orgânica de 21 g dm^{-3} , o teor de P (resina) e S equivalente a 7 e 6 mg dm^{-3} , respectivamente. O teor de K, Ca e Mg situando-se em 1,5, 12 e $6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente e, a acidez potencial (H + Al) com valor de $22 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e CTC com valor de $41,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, assim, este solo possui valores de $\text{SB} = 19,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, $V = 47\%$ (camada de 0 – 20 cm).

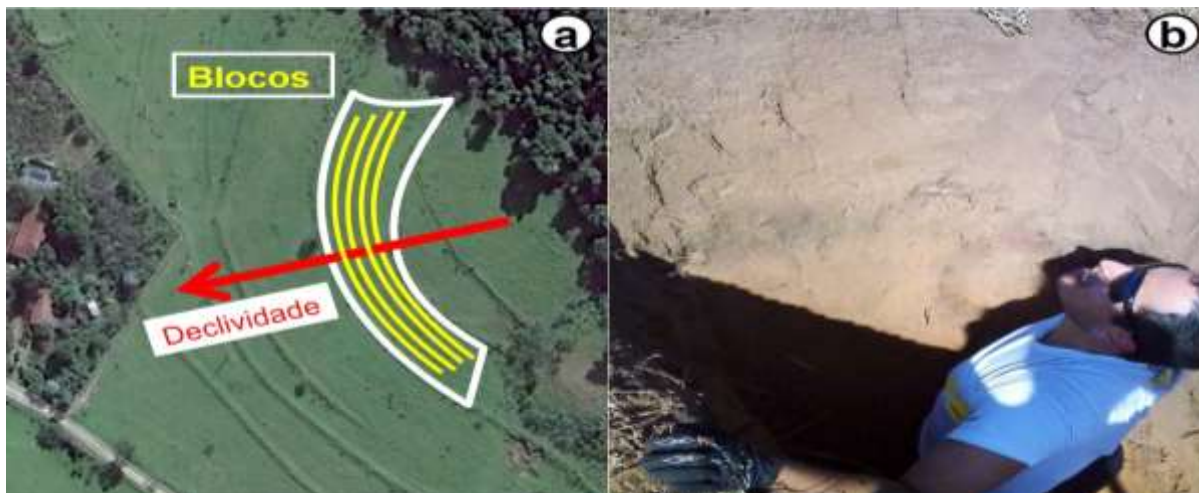


Figura 29. Área de realização do experimento de produtividade do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre; a=indicação da área utilizada e disposição do experimento; b=trincheira para caracterização do solo

14.3. Instalação e condução dos experimentos

O experimento de análise da produtividade da cultura do milho, submetido à adubação com ureia e ureias recobertas com polímero, utilizou híbrido de alta resposta e eficiência a adubação nitrogenada, possibilitando melhor verificação da utilização e aproveitamento, pela planta, do fertilizante liberado das cápsulas ao solo.

Para o isolamento do efeito da adubação nitrogenada, realizou-se a correção do solo e o fornecimento de todos os outros nutrientes essenciais à planta.

14.3.1. Correção do solo

O solo foi preparado através de operação de aração com subsequentes gradagens (Figura 30 a e b). Com a área preparada e plana, a correção do solo foi realizada com base no Boletim técnico nº100 (RAIJ et al., 1997), foi tomado como base de correção a elevação pelo método da saturação de bases ($V\%$), com valor almejado de 70%.

O corretivo foi aplicado no mês de setembro de 2014 e, dado o curto período entre a correção do solo e o plantio, optou-se por utilizar uma fonte mais reativa e de maior PRNT, a cal hidratada. Esta fonte possuía poder de neutralização (PN) de 138% e reatividade de aproximadamente 96%, assim, o corretivo dispunha de poder relativo de neutralização total (PRNT) de 132,5% (Figura 30 c e d).

A dose de corretivo aplicada foi de 970 kg ha^{-1} . Após a operação de aplicação do corretivo e incorporação, através de grade, a área foi estaqueada para o experimento (Figura 30 e).



Figura 30. Preparo do solo da área do experimento de produtividade do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre; a=aração; b=detalhe do funcionamento do arado; c=aplicação da cal hidratada; d=área pronta para incorporação do corretivo; e=estaqueamento e área pronta para instalação

14.3.2. Adubação de nivelamento da área

A realização da adubação de nivelamento da área foi realizada com base nos teores analisados no solo, nos boletins n°100 e n°200 (RAIJ et al., 1997; Duarte et al.,2014) e, com base na produtividade esperada.

A produtividade esperada estipulada foi de 8-10 t ha⁻¹, dessa forma foram calculadas as quantidades de todos os insumos necessários ao nivelamento da fertilidade do solo na área de estudo, desta forma, foram aplicados 110 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de super fostato triplo (41% P₂O₅), 110 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (61% K₂O), 32 kg de S na forma de sulfato de magnésio e, foi feita aplicação de micronutrientes. Ressalta-se que, apenas para o potássio, onde a dosagem ultrapassou os 100 kg ha⁻¹ e, tratando-se de área com textura arenosa, a aplicação foi parcelada em 2 operações. Os teores de Ca e Mg necessários foram fornecidos na operação de correção.

14.3.3. Híbrido utilizado

O híbrido utilizado para o experimento possuía ciclo precoce (120 dias) e boa adaptabilidade ao plantio de verão (DKB390). Este híbrido tinha por características elevado potencial produtivo, bom sistema radicular, alta resposta a adubação nitrogenada e, por possuir biotecnologia de transgenia (*Bacillus thuringiensis* – Bt), promoveu o controle da broca do colmo e a supressão da incidência da lagarta do cartucho e da espiga, assim, durante o desenvolvimento do experimento não foram necessárias pulverizações com inseticidas. É recomendado para áreas nos primeiros plantios, evitando-se populações superiores a 65.000 plantas por hectare.

14.3.4. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos utilizados no experimento de campo se basearam no uso da ureia convencional (45% de N) e de dois produtos recobertos (39% de N e 11% de S e, 38% de N e 14% de S). A composição dos tratamentos se deu pelo uso isolado de cada produto (ureia convencional, produto 1 e produto 2), e combinações destes, assim, obteve-se combinações 2 a 2 produtos e, combinações 3 a 3 (Tabela 10). As condições adotadas para o estabelecimento das proporções das combinações foram definidas como apresentado a seguir:

- Produtos aplicados isolados – 100% (ureia, produto 1 – N1 e, produto 2 – N2);
 - Dose de 160 kg ha⁻¹ de N;
- Combinações 2 a 2 - 30% da quantidade de determinado produto para plantio e 70% para cobertura;
 - Dose de 48 e 112 kg ha⁻¹ de N;
- Combinações 3 a 3 - 30% da quantidade de determinado produto para plantio e, os 70% relativos a operação de cobertura, este foi dividido novamente em 30% e 70% (21 e 49% do total);
 - Dose de 48, 33,6 e 78,4 kg ha⁻¹ de N (Tabela 10).

A aplicação do fertilizante foi realizada, como citado, considerando alta produtividade e alta resposta da cultura ao nitrogênio, utilizou-se dose de 160 kg ha⁻¹ de N aplicados em operação única, em superfície, no momento do plantio (Tabela 10).

Os produtos isolados e combinações constituíram 15 tratamentos e, foi adicionado um tratamento controle, ou seja, sem a aplicação de nenhum fertilizante nitrogenado. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições.

Tabela 10. Tratamentos, quantidades e proporções das combinações utilizadas no experimento de produtividade do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre

Tratamentos	Dose Plantio	Dose plantio	Dose total
	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹
Controle	0	0	0
Ureia	160	100	160
N1	160	100	160
N2	160	100	160
Ureia+N1	48 + 112	100	160
Ureia+N1*	112 + 48	100	160
Ureia+N2	48 + 112	100	160
Ureia+N2*	112 + 48	100	160
N1+N2	48 + 112	100	160
N1+N2*	112 + 48	100	160
Ureia+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	100	160
Ureia+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	100	160
Ureia+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	100	160
Ureia+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	100	160
Ureia+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	100	160
Ureia+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	100	160

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11%S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos)

As parcelas dos tratamentos foram compostas por área de 10 x 4,5 m, ou seja, foi utilizado espaçamento de 0,5 m entre plantas perfazendo área de 45 m². A parcela foi constituída de 10 linhas de 10 m onde foram descartadas, como bordaduras, as 2 linhas das extremidades e 1 metro de cada lado da parcela resultando em área útil considerada para análise de 6 linhas de 8 m de comprimento (Figura 31).

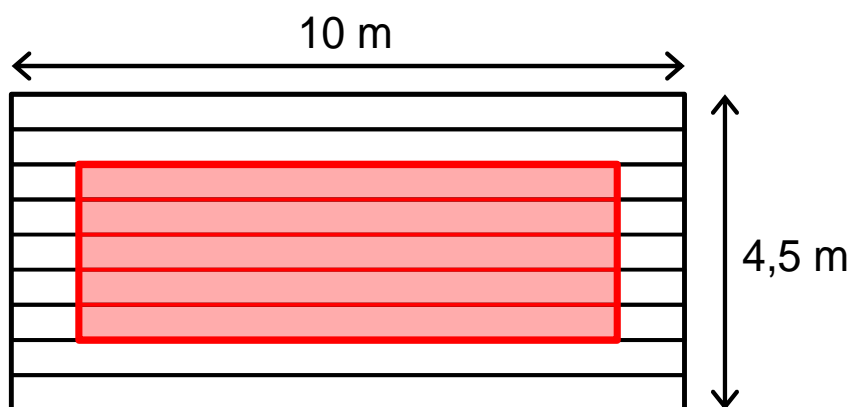


Figura 31. Área total e área útil da parcela do experimento de produtividade da cultura do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre

O experimento foi semeado no dia 15 de novembro de 2014, uma semana após dessecação da área com uso do herbicida glifosate (dose de 3,4 L ha⁻¹), foi utilizada população de 64.000 plantas por hectare (Figura 32a, b). As sementes foram tratadas com inseticida de amplo espectro do grupo químico neonicotinoide (imidacloprido) e metilcarbamato de oxima (Tiodicarbe) (sistêmico, de contato e ingestão), na dose de 0,3 L ha⁻¹. Os tratamentos

(produtos isolados e combinações) foram homogeneizados e aplicados a lanço um dia após a semeadura (Figura 32 c, d, e).



Figura 32. Plantio e aplicação dos tratamentos do experimento de produtividade da cultura do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre; a=linhas de semeadura; b=colocação da semente; c=homogeneização final dos tratamentos; d=aplicação dos tratamentos; e=detalhe tratamento aplicado ao solo

A colheita do milho foi realizada de forma manual, no dia 21 de março de 2015 (127 dias após plantio), as espigas da área útil foram colhidas, separadas, passadas por procedimento de debulha mecanizada e, os grãos produzidos foram submetidos as avaliações.

14.3.5. Avaliações

14.3.5.1. Aspectos biométricos

Os aspectos biométricos avaliados da cultura compreenderam a altura de inserção da espiga ao colmo da planta e, o diâmetro do colmo. Ressalta-se que, para estas análises foram medidas 10 plantas de forma amostral e aleatória dentro da área considerada útil nas parcelas do experimento.

A altura de inserção da espiga foi realizada com auxílio de régua graduada, verificou-se a altura entre o ponto de inserção da primeira espiga desenvolvida pela planta, ao solo. O diâmetro do colmo foi realizado com auxílio de paquímetro, foi mensurado o segundo entrenó partindo da base das plantas (Figura 33).



Figura 33. Medidas biométricas realizadas nas plantas no experimento do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre; a=medida do diâmetro do colmo; b=medida da altura de inserção da espiga

14.3.5.2. Produtividade e massa de 1000 grãos

Os dados de produtividade, assim como os dados de massa de 1000 grãos, foram obtidos após o procedimento de debulha das espigas colhidas da área útil das parcelas do experimento, ou seja, um total de 6 linhas medindo 8 m de comprimento cada.

Os grãos de cada parcela foram pesados em balança e tiveram o resultado ajustado considerando teor de umidade de 13%, este valor foi obtido através de secagem de sub amostras dos grãos colhidos em estufa de circulação de ar a 105°C (48 h). Desta forma, com os valores ajustados para 13% de umidade e com os dados de área da parcela, foi realizado o cálculo da produtividade ($t\ ha^{-1}$) obtida pelos tratamentos.

A massa de 1000 grãos foi obtida através de pesagem de uma sub amostra de cada parcela em balança de precisão. Foram contados e pesados 100 grãos, operação repetida por 4 vezes para verificação de variações na massa amostrada, assim, o valor foi multiplicado por 2,5 se obtendo o resultado final.

14.3.5.3. Avaliação do estado nutricional e concentração de N foliar

A avaliação do estado nutricional das plantas foi realizada segundo metodologia descrita por Malavolta et al (1997). No início do florescimento, foram coletadas de forma aleatória, dentro da área útil do experimento, 10 folhas localizadas opostas e abaixo da primeira espiga emitida, estas tiveram seu terço médio separado, destacou-se a nervura central e, foram encaminhadas para as análises laboratoriais (Figura 34).

No laboratório, as folhas foram secas em estufa de circulação de ar forçado (60°C) e moídas em moinho de facas do tipo Wiley. O material moído foi separado em duas sub amostras, a primeira foi submetida a digestão fechada em micro-ondas com capacidade para 40 tubos, pesou-se 0,25 g do material vegetal transferindo-o para tubos de teflon (específicos para micro-ondas) onde se adicionou 2 mL de peróxido de hidrogênio (30%) deixando o conjunto em repouso por período de 2 h (eliminação da matéria orgânica) (Figura 34 a, b). Após essa etapa adicionou-se 2 mL de ácido nítrico (65%) realizando procedimento de pré-digestão por uma noite, o tubo contendo

o extrato pré-digerido foi adicionado de 5 mL de H₂O Milli-Q, fechado e levado para o micro-ondas (MARSXpress – CEM Corporation) com aquecimentos sucessivos (Figura 34 c, d). O aquecimento se iniciou com 3 minutos a 100% de potência do aparelho (temperatura atingida – 80°C) seguido de 5 minutos em igual potência (temperatura atingida 150°C) e, mais 10 minutos com uso de 75% da potência (temperatura atingida 180°C) adicionado de 5 minutos no mesmo nível de potência, de forma intermitente, mantendo a temperatura constante. Ao final da digestão, os tubos foram deixados por período de 10 minutos no interior do aparelho para resfriamento parcial e levados a capela de exaustão para resfriamento total e abertura, após essa etapa o extrato digerido foi filtrado utilizando papel de filtro faixa azul (Whatman nº42) e transferido para balão volumétrico de 100 mL tendo seu volume completado com H₂O Milli-Q. As amostras foram analisadas em espectrômetro de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES modelo Thermo Scientific iCAP Duo) onde se obteve a leitura de todos os nutrientes na folha, exceto o nitrogênio (Figura 34 e, f).

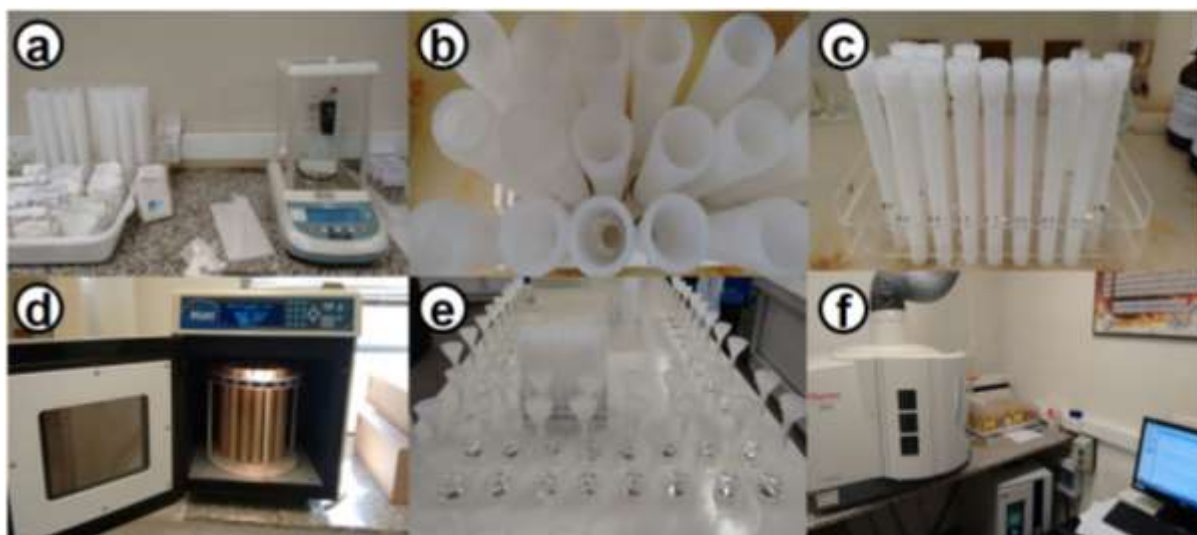


Figura 34. Metodologia de digestão do material vegetal do experimento do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre, em micro-ondas; a=pesagem das amostras; b=transferência para tubos de teflon; c=tubos com material pré-digeridos prontos para aquecimento; d=aparelho de micro-ondas; e=filtragem dos extratos; f=Espectrômetro de emissão ótica (ICP-OES)

A segunda sub amostra foi submetida a digestão sulfúrica em bloco digestor com capacidade para 40 tubos segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) adaptada. Pesou 100 mg do material vegetal em balança de precisão transferindo-o para tubo de digestão de 70 mL e adicionando-se 7 mL de mistura digestora (Figura 35 a, b, c). Os tubos preparados foram levados para o bloco digestor e aquecidos inicialmente a 100°C, foram realizados aumentos sucessivos de 50°C na temperatura a cada 30 minutos até que se atingiu 350°C (temperatura final), a finalização da digestão se caracterizou pela obtenção de líquido incolor ou levemente esverdeado que foi transferido para todos falcon com capacidade para 50 mL e completado seu volume com H₂O DI para 50 mL (Figura 35 d, e, f, g, h). As leituras do extrato foram realizadas por injeção em fluxo por espectrometria de difusão gasosa (FIA) em equipamento ASIA (Ismatec – Suíça) determinando-se o valor de concentração de nitrogênio foliar (KAMOGAWA, TEIXEIRA, 2009) (Figura 35 i).

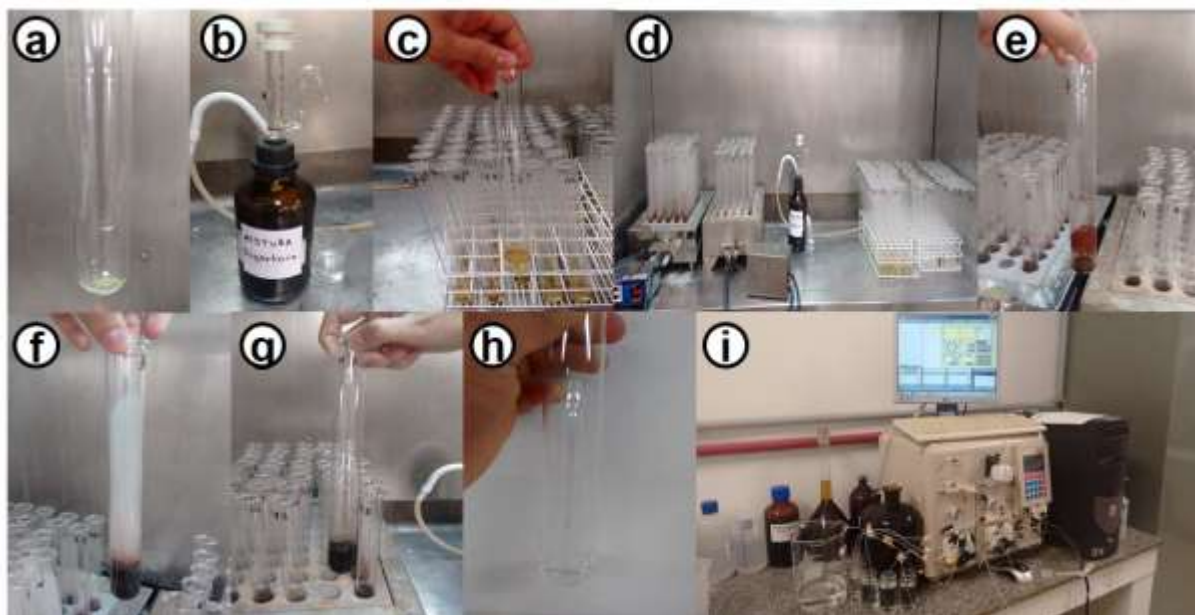


Figura 35. Metodologia de análise de nitrogênio foliar do experimento do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta com polímero e enxofre; a=material vegetal em tubo de digestão de 70 mL; b=mistura digestora; c=tubo preparado para aquecimento; d=blocos digestores; e,f,g=fases da digestão; h=resultado digestão; i=equipamento de injeção em fluxo (FIA)

14.3.5.4. Análise qualitativa dos grãos

A análise qualitativa dos grãos foi obtida após a colheita, debulha e secagem dos grãos em estufa de circulação forçada (60°C). Os grãos foram moídos em moinho de facas do tipo Wiley e, assim como a avaliação do estado nutricional, separados em duas sub amostras. Os procedimentos analíticos utilizados para os grãos são os mesmos utilizados para o material vegetal (análise foliar) em 11.3.5.3.

Para o nitrogênio contido nos grãos, foi determinado, também, o conteúdo proteico utilizando o valor da concentração de nitrogênio encontrado na análise da digestão sulfúrica multiplicado por um fator de 5,72.

14.4. Análise estatística

Os dados do experimento da cultura do milho foram analisados realizando análises variância e testes de comparação de médias com Tukey a 5%.

14.5. Análise econômica

A ferramenta utilizada para a análise econômica denomina-se orçamentação parcial (HOFFMANN et al., 1992). Este método provisional, ou seja, metodologia aplicada a estudos realizados pré-implantação de determinado projeto, por ser simples e eficiente, pode ser aplicado na etapa de programação da atividade agrícola auxiliando os produtores na tomada de decisão no gerenciamento da lavoura (HOFFMANN et al., 1992). Consiste em verificar as alterações causadas pela introdução, substituição ou retirada de algum fator do custo de produção e compará-la a

receita resultante, no caso, a inserção dos tratamentos utilizados no experimento de produtividade do milho e seu impacto no sistema de produção.

Basicamente verificou-se a alteração resultante no custo de produção pela introdução dos tratamentos aplicados no experimento em substituição ao uso da ureia convencional, assim, o aumento ou diminuição no custo final foi comparado a receita trazida pelo tratamento inserido frente ao sistema adotado como base (aplicação de ureia convencional).

O melhor tratamento foi definido a partir do melhor saldo gerado. Cabe ressaltar que, em alguns casos, o aspecto puramente financeiro não é o suficiente para a tomada de decisão, em casos como este, aspectos sociais, culturais ou outros podem ser determinantes para a escolha da melhor alternativa (HOFFMANN et al., 1992).

15. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados foi encadeada considerando-se os aspectos biométricos das plantas (altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo), seguido dos aspectos da avaliação nutricional (N foliar) e, então, discutiu-se sobre a quantidade e qualidade dos grãos de milho produzidos no experimento (massa de 1000 g, produtividade, N no grão e N proteico).

15.1. Aspectos biométricos

Os aspectos biométricos foram realizados no início da floração. Arnon (1975) relatou que neste momento a planta atinge seu máximo vegetativo e inicia-se a senescência, os nutrientes que foram acumulados são progressivamente translocados para as espigas.

Os resultados da altura de inserção da espiga (Tabela 11) mostraram que o tratamento controle, sem aplicação de fertilizante nitrogenado, obteve o menor resultado. Estudos já relataram a menor altura da inserção das espigas relacionado com a nutrição da planta e a ausência de nitrogênio (SILVA; OLIVEIRA; SILVA, 2003; SILVA, et al., 2006; SOUZA; SORATTO, 2006), a menor quantidade do nutriente diminui o porte da planta, assim, diminui-se a capacidade da produção de carboidratos via fotossíntese resultando em menor biomassa e retardamento da divisão celular (ARNON, 1975).

A ureia e o tratamento U+N1+N2, após o tratamento controle, obtiveram os menores valores de altura da inserção da espiga diferindo do tratamento U+N1+N2*****, que foi o de maior valor não diferindo dos demais tratamentos. A aplicação da dose utilizada (160 kg ha⁻¹) apenas com ureia convencional foi inferior ao uso da combinação desta com os produtos recobertos na proporção 49% ureia convencional, 21% N1 e 30% N2 ou da combinação entre produtos recobertos (tratamento N1+N2*) (Tabela 11).

A faixa de valores encontrada para a variável (0,7 a 1 m) corrobora com diversos estudos como os desenvolvidos por Santos et al. (2002), Mar et al. (2003), Souza e Soratto (2006) e Soratto et al. (2010), que encontraram faixas de valores semelhantes.

Para a variável altura de inserção da espiga, a utilização de produtos recobertos e combinações entre estes, ou da ureia combinada a estes produtos em diferentes proporções se mostram alternativas interessantes para o cultivo do milho.

Em relação à variável diâmetro do colmo, apenas o tratamento controle diferiu dos demais sendo o de menor valor obtido (16 mm). Estudos como os de Soares (2003), Oliveira et al. (2009), Soratto et al. (2010) e Zavaski (2010) mostram influência da aplicação do nitrogênio no diâmetro dos colmos. A amplitude dos valores encontrados (16 a 22 mm) também corrobora com a encontrada pelos autores citados (Tabela 12).

Verifica-se, para os resultados de diâmetro dos colmos, que a aplicação da ureia convencional ou dos produtos recobertos, ou ainda de combinações entre a ureia e os produtos recobertos, não representa alternativas interessante para o produtor rural. Porém a aplicação destas alternativas no cultivo do milho para incremento de outras variáveis, como por exemplo a altura de inserção das espigas, não resultará em problemas de performance na aplicação.

Tabela 11. Altura de inserção de espiga do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N kg ha ⁻¹	Bloco				Média	Desv. padrão	CV %
		1	2	3	4			
Controle	0	0,652	0,606	0,678	0,661	0,649 D	0,03	4,7
Ureia	160	0,900	0,886	0,821	0,782	0,847 C	0,06	6,5
N1	160	0,912	0,875	0,876	0,922	0,896 ABC	0,02	2,7
N2	160	0,933	0,845	0,842	0,933	0,888 ABC	0,05	5,8
U+N1	48 + 112	0,913	0,822	0,882	0,902	0,880 ABC	0,04	4,6
U+N1*	112 + 48	0,960	0,909	0,972	0,941	0,946 ABC	0,03	2,9
U+N2	48 + 112	0,952	0,847	0,879	0,843	0,880 ABC	0,05	5,7
U+N2*	112 + 48	0,943	0,844	0,926	0,940	0,913 ABC	0,05	5,1
N1+N2	48 + 112	0,945	0,838	0,846	0,871	0,875 ABC	0,05	5,6
N1+N2*	112 + 48	1,011	0,875	0,993	0,945	0,956 AB	0,06	6,4
U+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	0,913	0,852	0,842	0,821	0,857 BC	0,04	4,6
U+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	0,976	0,841	0,841	0,942	0,900 ABC	0,07	7,7
U+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	0,904	0,831	0,978	0,914	0,907 ABC	0,06	6,6
U+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	0,945	0,902	0,834	0,860	0,885 ABC	0,05	5,5
U+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	0,891	0,869	0,906	0,936	0,901 ABC	0,03	3,1
U+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	0,909	0,939	0,965	1,020	0,958 A	0,05	4,9
dms						0,103		

Letras maiúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11%S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa

Tabela 12. Diâmetro dos colmos das plantas do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N	Bloco				Média	Desv. padrão	CV
	kg ha ⁻¹	1	2	3	4			
		mm						
Controle	0	16,7	14,9	17,2	15,9	16,2 B	1,0	6,2
Ureia	160	21,7	19,7	19,6	18,6	19,9 A	1,3	6,4
N1	160	22,0	20,3	19,6	20,5	20,6 A	1,0	4,9
N2	160	21,7	20,3	19,7	21,6	20,8 A	1,0	4,8
U+N1	48 + 112	21,1	19,7	20,4	20,9	20,5 A	0,6	3,0
U+N1*	112 + 48	21,1	22,8	22,0	22,2	22,0 A	0,7	3,1
U+N2	48 + 112	21,8	18,5	21,7	19,1	20,3 A	1,7	8,5
U+N2*	112 + 48	22,9	20,5	22,9	21,3	21,9 A	1,2	5,5
N1+N2	48 + 112	22,5	20,4	20,8	20,7	21,1 A	0,9	4,5
N1+N2*	112 + 48	23,2	23,1	21,1	21,7	22,3 A	1,0	4,7
U+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	21,3	21,9	20,9	20,0	21,0 A	0,8	3,8
U+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	22,2	19,5	21,5	19,4	20,7 A	1,4	6,9
U+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	22,7	21,3	22,2	21,8	22,0 A	0,6	2,7
U+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	22,0	20,9	19,6	20,2	20,7 A	1,0	5,0
U+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	21,9	20,1	20,3	20,9	20,8 A	0,8	3,9
U+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	21,9	20,9	21,9	22,4	21,8 A	0,6	2,9
dms						2,3		

Letras maiúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa

Os aspectos biométricos são fundamentais para que se tenha uma boa estrutura vegetal que de sustento, físico e nutricional, para uma produtividade elevada e econômica para o produtor rural. Desta forma, os estudos não devem apenas se atentar para fatores como produtividade de grãos, pois a bioestrutura da planta é uma das bases e indicativos que levam a boas produtividades. Plantas com aspectos biométricos adequados tem maior possibilidade de melhor produtividade.

15.2. Avaliação do estado nutricional

Os resultados da avaliação do estado nutricional foram divididos em todos os macro e micronutrientes, para verificação do estado nutricional geral da cultura do milho e, a concentração do nitrogênio foi realizada em separado, sendo o foco do experimento.

Os resultados das análises nutricionais permitiram verificar que os macronutrientes P, K, Ca, Mg e S, encontram-se na faixa de suficiência para a cultura do milho (Tabela 13), da mesma forma, os micronutrientes B, Fe, Mn, também se encontravam na faixa de suficiência adequada para a cultura (Tabela 14) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA, 2006). Os níveis de Cu e Zn estavam abaixo dos níveis recomendados pelos autores não ocorrendo sintomas visuais da deficiência.

Embora os níveis de Cu e Zn estivessem abaixo dos níveis de suficiência, por estarem todos em condições semelhantes em todos os tratamentos, a verificação do efeito do nitrogênio não foi prejudicada por estes elementos.

Tabela 13. Concentração de macronutrientes das plantas do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
Controle	0	2,71 ± 0,48	17,38 ± 7,58	3,49 ± 0,40	3,20 ± 0,23	1,34 ± 0,18
Ureia	160	2,21 ± 0,36	17,80 ± 8,79	3,65 ± 0,74	3,15 ± 0,81	1,26 ± 0,13
N 1	160	2,50 ± 0,33	18,03 ± 6,73	4,06 ± 1,05	3,28 ± 0,64	1,44 ± 0,18
N 2	160	2,78 ± 0,18	18,72 ± 7,54	4,03 ± 0,81	3,09 ± 0,59	1,50 ± 0,14
Ureia+N1	48 + 112	2,68 ± 0,21	17,99 ± 8,45	3,97 ± 0,45	3,01 ± 0,40	1,42 ± 0,07
Ureia+N1	112 + 48	2,23 ± 0,17	18,15 ± 7,75	4,28 ± 0,38	3,19 ± 0,29	1,48 ± 0,12
Ureia+N2	48 + 112	2,60 ± 0,64	17,93 ± 8,42	3,98 ± 0,34	3,01 ± 0,27	1,48 ± 0,27
Ureia+N2	112 + 48	2,76 ± 0,55	18,28 ± 8,82	4,07 ± 0,39	3,02 ± 0,35	1,43 ± 0,09
N1+N2	48 + 112	2,82 ± 0,48	18,98 ± 8,89	3,57 ± 0,57	3,03 ± 0,52	1,36 ± 0,07
N1+N2	112 + 48	2,43 ± 0,51	18,51 ± 6,35	4,01 ± 0,88	3,16 ± 0,63	1,53 ± 0,17
Ureia+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	2,66 ± 0,33	19,68 ± 7,26	3,63 ± 0,70	2,85 ± 0,40	1,38 ± 0,14
Ureia+N1+N2	48 + 78,4 + 33,6	2,56 ± 0,43	19,61 ± 8,39	3,88 ± 0,41	3,10 ± 0,46	1,42 ± 0,10
Ureia+N1+N2	33,6 + 48 + 78,4	2,80 ± 0,21	19,06 ± 8,48	3,77 ± 0,41	3,03 ± 0,42	1,37 ± 0,06
Ureia+N1+N2	33,6 + 78,4 + 48	2,52 ± 0,28	18,02 ± 7,49	4,19 ± 0,65	3,23 ± 0,42	1,42 ± 0,10
Ureia+N1+N2	78,4 + 48 + 33,6	2,52 ± 0,40	18,49 ± 8,62	4,00 ± 0,62	3,26 ± 0,44	1,34 ± 0,08
Ureia+N1+N2	78,4 + 33,6 + 48	2,66 ± 0,60	18,74 ± 8,78	4,18 ± 0,76	3,16 ± 0,33	1,37 ± 0,08

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos)

Tabela 14. Concentração de micronutrientes das plantas do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹					
Controle	0	15,65 ± 6,63	3,50 ± 1,41	74,89 ± 8,13	14,30 ± 1,67	10,52 ± 1,77
Ureia	160	32,84 ± 39,27	3,23 ± 1,11	80,34 ± 13,19	19,35 ± 2,50	8,74 ± 0,89
N 1	160	42,97 ± 60,30	4,14 ± 1,40	83,66 ± 10,85	17,22 ± 2,33	9,66 ± 2,96
N 2	160	45,16 ± 25,01	4,21 ± 0,28	87,03 ± 12,73	15,04 ± 1,17	11,71 ± 0,94
Ureia+N1	48 + 112	37,11 ± 44,50	3,68 ± 0,47	80,94 ± 4,87	17,47 ± 1,63	9,68 ± 1,87
Ureia+N1	112 + 48	33,73 ± 36,89	4,03 ± 0,54	84,78 ± 5,91	20,92 ± 3,39	10,77 ± 3,49
Ureia+N2	48 + 112	13,45 ± 6,00	4,58 ± 1,77	81,53 ± 13,10	18,96 ± 6,61	10,39 ± 2,48
Ureia+N2	112 + 48	22,43 ± 17,27	4,14 ± 0,96	83,53 ± 4,81	19,43 ± 2,97	9,70 ± 1,53
N1+N2	48 + 112	30,58 ± 36,90	3,72 ± 0,55	79,40 ± 4,50	17,06 ± 3,13	10,35 ± 2,31
N1+N2	112 + 48	47,47 ± 64,46	4,49 ± 1,20	93,36 ± 8,51	18,73 ± 1,29	11,98 ± 4,78
Ureia+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	26,22 ± 33,08	4,09 ± 0,70	82,62 ± 5,12	17,11 ± 4,47	9,88 ± 2,09
Ureia+N1+N2	48 + 78,4 + 33,6	51,48 ± 66,62	4,13 ± 0,78	82,04 ± 7,03	19,48 ± 3,08	12,35 ± 3,15
Ureia+N1+N2	33,6 + 48 + 78,4	32,05 ± 41,94	3,74 ± 0,47	127,26 ± 86,12	17,31 ± 0,85	12,42 ± 5,59
Ureia+N1+N2	33,6 + 78,4 + 48	19,44 ± 20,57	4,29 ± 0,68	85,99 ± 9,18	18,21 ± 2,85	10,01 ± 0,64
Ureia+N1+N2	78,4 + 48 + 33,6	43,28 ± 63,74	3,85 ± 0,21	81,07 ± 6,33	18,51 ± 3,62	9,10 ± 1,02
Ureia+N1+N2	78,4 + 33,6 + 48	36,18 ± 49,73	3,75 ± 0,68	86,32 ± 10,26	18,48 ± 0,99	9,28 ± 1,28

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos)

A faixa de suficiência para o nitrogênio, de acordo com resultados encontrados na literatura, estende-se de 17 g kg⁻¹ (1,7%) a 36 g kg⁻¹ (3,6%) (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA, 2006; CANTARUTTI, et al., 2007). Os resultados da concentração de nitrogênio apresentaram diferenças entre os tratamentos com valores acima e abaixo da faixa de suficiência citada (Tabela 15).

Em relação aos tratamentos abaixo da suficiência, o controle e a aplicação apenas de ureia convencional se enquadram nesta categoria com os menores valores observados de concentração do nitrogênio foliar e, diferiram de todos os demais tratamentos, Frazão et al. (2014) encontraram resultados semelhantes ao utilizar fertilizantes com agregação e tecnologia em comparação à ureia convencional. Os demais tratamentos encontram-se acima dos valores mínimos de suficiência, mas diferiram entre eles (Tabela 15), as plantas oriundas dos tratamentos U+N1*, U+N2, N1+N2* e U+N1+N2*** foram as que obtiveram os resultados mais elevados (superiores a 21,5 g kg⁻¹) dentre os tratamentos diferindo dos demais, exceto pelo tratamento U+N1+N2*** que não diferiu de N2 e U+N1+N2**** e, estes últimos diferiram de U+N1. Entre os tratamentos intermediários U+N2* diferiu de U+N1.

A importância da concentração do nitrogênio foliar ao menos dentro dos níveis de suficiência é fundamental para que se possa aproveitar o máximo possível do potencial da cultura e, assim, se obtenha bom resultado futuro de produtividade e boa qualidade dos grãos.

Tabela 15. Concentração de N foliar das plantas do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N kg ha ⁻¹	Bloco				Média	Desv. padrão	CV %
		1	2	3	4			
		g kg ⁻¹						
Controle	0	13,43	13,44	12,80	13,33	13,25 E	0,31	2,3
Ureia	160	15,08	14,44	13,85	14,32	14,42 E	0,51	3,5
N1	160	18,03	17,86	17,20	18,53	17,91 CD	0,55	3,1
N2	160	20,42	19,97	19,28	18,30	19,49 BC	0,92	4,7
U+N1	48 + 112	16,76	16,87	17,84	16,66	17,03 D	0,54	3,2
U+N1*	112 + 48	21,92	22,11	21,04	20,16	21,30 A	0,89	4,2
U+N2	48 + 112	22,33	22,68	20,98	20,74	21,68 A	0,97	4,5
U+N2*	112 + 48	18,52	18,13	18,84	19,60	18,77 C	0,62	3,3
N1+N2	48 + 112	18,28	19,10	18,47	17,90	18,44 CD	0,50	2,7
N1+N2*	112 + 48	22,43	22,56	20,65	20,90	21,64 A	1,00	4,6
U+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	19,30	18,59	17,61	18,56	18,51 CD	0,69	3,7
U+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	19,11	18,96	17,54	18,36	18,49 CD	0,71	3,8
U+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	18,30	17,81	19,24	18,85	18,55 CD	0,62	3,4
U+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	21,50	20,90	20,05	20,32	20,69 AB	0,64	3,1
U+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	18,38	19,87	19,43	18,92	19,15 BC	0,64	3,4
U+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	18,25	18,05	18,21	18,32	18,21 CD	0,11	0,6

Letras maiúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa

Com base nos resultados verificou que a opção de uso de produtos recobertos, misturas entre estes e, mistura de produtos recobertos com a ureia convencional, em relação a esta variável, resultaram em melhor estado

nutricional da planta quando aplicados em operação única, a lanço e em superfície no cultivo do milho de primeira safra.

15.3. Massa de 1000 grãos e produtividade

Os resultados obtidos da massa de 1000 grãos não apresentaram diferenças entre os tratamentos aplicados (Tabela 16), mostrando não haver diferenças do uso de produtos recobertos frente a ureia convencional para esta variável, corroborando com resultados encontrado por Martins, Cazetta e Fukuda (2014) e Valderrama et al. (2014) ao comparar a ureia convencional à recoberta para esta variável.

A magnitude dos valores encontrados corrobora com estudos de Fernandes et al. (2005), Souza e Soratto (2006), Oliveria et al. (2012) e Valderrama et al. (2014) que encontraram massas situadas entre 270 - 300 g.

Os resultados encontrados mostram que a variação na massa dos grãos não necessariamente leva a diferenciação na produtividade, por esta linha, infere-se que a composição e quantidade dos grãos se relacionariam mais ao resultado final do total produzido por hectare (Tabela 16 e 17).

Tabela 16. Massa de 1000 grãos das plantas do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N kg ha ⁻¹	Bloco				Média	Desv. padrão	CV %
		1	2	3	4			
Controle	0	265,0	265,0	285,0	271,7	271,7 A	9,4	3,5
Ureia	160	285,0	297,5	260,0	277,5	280,0 A	15,7	5,6
N1	160	310,0	270,0	282,5	290,0	288,1 A	16,8	5,8
N2	160	307,5	275,0	282,5	287,5	288,1 A	13,9	4,8
U+N1	48 + 112	280,0	275,0	310,0	307,5	293,1 A	18,2	6,2
U+N1*	112 + 48	320,0	290,0	310,0	282,5	300,6 A	17,4	5,8
U+N2	48 + 112	302,5	297,5	255,0	297,5	288,1 A	22,2	7,7
U+N2*	112 + 48	280,0	260,0	297,5	295,0	283,1 A	17,2	6,1
N1+N2	48 + 112	277,5	275,0	267,5	272,5	273,1 A	4,3	1,6
N1+N2*	112 + 48	310,0	290,0	287,5	285,0	293,1 A	11,4	3,9
U+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	308,0	285,0	290,0	275,0	289,5 A	13,8	4,8
U+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	335,0	247,5	267,5	277,5	281,9 A	37,5	13,3
U+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	315,0	272,5	300,0	300,0	296,9 A	17,7	6,0
U+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	307,5	305,0	295,0	272,5	295,0 A	15,9	5,4
U+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	287,5	277,5	317,5	287,5	292,5 A	17,3	5,9
U+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	282,5	277,5	317,5	305,0	295,6 A	18,9	6,4
dms							42,8	

Letras maiúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11%S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa

Em relação a produtividade dos grãos, foram obtidos valores entre 4,9 a 8,7 t ha⁻¹ (Tabela 17). O tratamento controle foi o de menor produtividade atingida (4,9 t ha⁻¹), não diferindo da ureia convencional e do tratamento N1+N2.

A diminuição na produtividade é bem conhecida na ausência do fornecimento de nitrogênio, infere-se que solos responsivos à adubação nitrogenada, na ausência desta, apresentam valores de baixa produtividade, como exemplos pode-se citar os trabalhos desenvolvidos por Sangoi e Almeida (1994), Martins (2013), Vilalba (2014).

Tabela 17. Produtividade do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N kg ha ⁻¹	Bloco				Média	Desv. padrão	CV %
		1	2	3	4			
Controle	0	5,1	4,4	5,2	4,9	4,9 D	0,3	7,0
Ureia	160	6,5	7,2	6,6	6,2	6,6 BCD	0,4	5,8
N1	160	8,5	7,8	6,9	8,1	7,8 ABC	0,7	8,7
N2	160	8,5	8,0	7,5	9,8	8,5 AB	1,0	11,8
U+N1	48 + 112	6,5	8,1	9,4	8,2	8,1 ABC	1,2	14,6
U+N1*	112 + 48	8,9	8,0	8,4	7,7	8,2 ABC	0,5	6,3
U+N2	48 + 112	8,5	7,1	7,3	7,0	7,5 ABC	0,7	9,2
U+N2*	112 + 48	6,1	7,0	6,7	8,0	7,0 ABC	0,8	11,3
N1+N2	48 + 112	7,3	6,0	6,3	6,4	6,5 CD	0,5	8,5
N1+N2*	112 + 48	9,3	7,5	7,8	7,2	8,0 ABC	0,9	11,4
U+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	8,6	8,0	6,8	7,2	7,7 ABC	0,8	10,8
U+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	9,2	8,6	7,1	8,6	8,4 AB	0,9	10,5
U+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	7,6	8,3	8,5	8,8	8,3 ABC	0,5	6,0
U+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	9,0	8,1	7,6	8,8	8,4 AB	0,6	7,5
U+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	7,0	7,2	7,6	7,0	7,2 ABC	0,3	3,7
U+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	7,8	8,4	9,1	9,3	8,7 A	0,7	8,0
dms						1,8		

Letras maiúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa

Com os resultados foi verificado que a aplicação da ureia convencional em operação única no momento do plantio, em área total, foi equivalente a não aplicação do insumo. Ao considerar a pluviosidade ocorrida no experimento, adjunta ao tipo de solo utilizado (arenoso) e, ao considerar a alta solubilidade da ureia, pode-se inferir que grande parte do nitrogênio aplicado foi perdido do sistema de cultivo seja por perdas gasosas ou de lixiviação.

O acumulado de pluviosidade ocorrido até os 14 dias após a instalação do experimento, superior a 50 mm (Figura 28), resultou em condições favoráveis à solubilização da ureia convencional diminuindo sua longevidade (Item 10 – Figura 22), desta maneira, o período de definição da produtividade (V4 – V8), o qual normalmente se recomenda a adubação de cobertura (FANCELLI, 2009), sofreu com a escassez do elemento e resultou na baixa produtividade encontrada.

Do exposto, não se recomenda a aplicação da ureia convencional em aplicação única no momento do plantio. O menor número de raízes, a alta solubilidade da ureia convencional e, a menor taxa de absorção do nitrogênio no início do desenvolvimento da cultura, adicionado da pequena longevidade da ureia convencional no solo (Item 8), impossibilita que, no momento da maior absorção de nutrientes pela cultura (dentre eles o nitrogênio), normalmente ocorrida após 15 a 20 dias da emergência até os 60 – 70 dias, o elemento possa ser absorvido e utilizado pelas plantas (ULLOA, 1982; MA; DWYER, 1998; DUARTE et al., 2003; BENDER et al., 2013). Seguindo esta linha, justifica-se o porquê da operação de adubação de cobertura com ureia realizada no cultivo do milho.

O tratamento U+N1+N2***** foi o que resultou no maior valor de produtividade diferindo apenas do controle, da ureia convencional e do tratamento N1+N2. Diferenciação também foi encontrada entre os tratamentos N2, U+N1+N2*** e U+N1+N2* frente ao controle e N1+N2 (Tabela 17).

A aplicação da ureia recoberta na cultura do milho tem sido muito estudada. Trabalhos como o de Guareschi, Perin e Gazolla (2013) vem mostrando vantagens na utilização destes produtos frente ao uso da ureia convencional no fator produtividade. Tem-se, também resultados positivos na utilização dos fertilizantes de liberação controlada aplicados às demais culturas como algodão (GENG et al., 2016), arroz (YANG et al., 2012) e batata (GAO et al., 2015).

Os resultados permitiram verificar a possibilidade da realização da adubação nitrogenada aplicada totalmente no momento de plantio. As diferentes liberações resultantes do uso dos produtos recobertos combinados entre si, ou com a ureia convencional, adjunto a maior longevidade atingida por estes fertilizantes, isoladamente ou em misturas, permitiu que houvesse melhor absorção e utilização pelas plantas nos momentos de maior necessidade da cultura (entre 15 e 70 dias após emergência - ULLOA, 1982; MA; DWYER, 1998; DUARTE et al., 2003; BENDER et al., 2013), resultando em bons valores de produtividade, com exceção da produtividade obtida pelo tratamento N1+N2 (Item 10 – Figura 22).

Em resumo, as liberações e longevidades resultantes dos tratamentos que continham em sua composição os produtos recobertos, em conjunto com a maior necessidade e absorção da cultura do milho no tempo foram os fatores determinantes a obtenção dos resultados de produtividade. As liberações exponenciais destes produtos (Item 10 – Figuras 22, 23 e 25) ajustaram-se melhor a absorção e necessidade de nitrogênio pela cultura no tempo. O período compreendido entre os 15 e 70 dias, encontrados na literatura (ULLOA, 1982; MA; DWYER, 1998; DUARTE et al., 2003; BENDER et al., 2013), mostrou intensa absorção e necessidade das plantas que, sobrepostos a disponibilidade de nitrogênio dos tratamentos, forneceram melhores condições nutricionais ao milho, definindo melhor resultado de produtividade frente a ureia convencional.

15.4. Qualidade dos grãos

A qualidade dos grãos foi realizada com base na concentração de nitrogênio, o que reflete diretamente no valor proteico e, conseqüentemente, no valor nutricional do alimento.

Os resultados de concentração de nitrogênio no grão obtiveram valores de 8, 29 a 9,60 g kg⁻¹, valores inferiores aos encontrados por Heckman et al. (2003), Duete et al. (2008), Zavaschi (2010) e Bender et al. (2013). Os dados permitiram observar que o tratamento constituído apenas da ureia convencional foi o de menor valor diferindo apenas dos tratamentos N2, U+N1+N2**, U+N1+N2*** e U+N1+N2****. Em oposição, o maior valor foi encontrado para o tratamento U+N1+N2***** que diferiu apenas do controle, ureia convencional, N2 e U+N1+N2* (Tabela 18).

Os valores da concentração de nitrogênio no grão são fundamentais pois refletem diretamente no valor proteico do grão. Desta maneira, o valor nutricional alimentício do produto final fica interligado a esta variável, ou seja, através do valor do N no grão é possível determinar a representação em proteína do produto final e, assim, sua qualidade.

Tabela 18. N no grão do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N kg ha ⁻¹	Bloco				Média	Desv. padrão	CV %
		1	2	3	4			
		g kg ⁻¹						
Controle	0	8,28	8,86	8,85	8,66	8,66 BCD	0,3	3,1
Ureia	160	7,92	8,68	8,16	8,41	8,29 D	0,3	3,9
N1	160	9,30	9,07	8,66	8,94	8,99 ABCD	0,3	3,0
N2	160	8,88	8,38	8,40	8,92	8,64 BC	0,3	3,4
U+N1	48 + 112	8,71	8,66	9,28	9,19	8,96 ABCD	0,3	3,6
U+N1*	112 + 48	9,13	8,77	9,51	8,47	8,97 ABCD	0,4	5,0
U+N2	48 + 112	9,17	9,16	8,44	8,74	8,88 ABCD	0,4	4,0
U+N2*	112 + 48	8,38	8,63	9,12	9,23	8,84 ABCD	0,4	4,5
N1+N2	48 + 112	8,77	9,42	8,76	8,46	8,85 ABCD	0,4	4,6
N1+N2*	112 + 48	9,37	8,90	8,99	8,65	8,98 ABCD	0,3	3,3
U+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	9,50	8,69	9,12	9,17	9,12 ABCD	0,3	3,6
U+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	8,72	8,84	8,57	8,39	8,63 CD	0,2	2,2
U+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	9,91	9,06	9,38	9,94	9,57 AB	0,4	4,5
U+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	9,81	9,54	9,03	8,96	9,33 ABC	0,4	4,4
U+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	8,71	9,31	9,43	8,67	9,03 ABCD	0,4	4,4
U+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	9,27	9,87	9,96	9,28	9,60 A	0,4	3,9
dms						0,92		

Letras maiúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa

O fator qualitativo do grão é importante pois, ao obter grãos de milho de melhor valor proteico, toda a cadeia dependente deste insumo é favorecida. Como exemplo, pode-se citar o farelo de milho utilizado para a alimentação animal, principalmente avicultura de corte, principal consumidora e impulsionadora do crescimento da demanda pelo grão de milho (CALDARELLI; BACCHI, 2012). Assim, um grão de melhor valor nutricional, com maior concentração proteica, pode possibilitar o suprimento nutricional dos animais com menor quantidade da ração utilizada, otimizando não só a produção agrícola, como a pecuária.

A utilização da qualidade proteica do grão ainda não é utilizada para fins de comercialização, sendo o peso dos grãos o fator mais considerado, mas o teor proteico pode ser o próximo passo no processo de otimização do setor rural e do agronegócio.

A conversão do N do grão, então, é realizada multiplicando o valor (em porcentagem) da concentração de nitrogênio no grão por fator constante de 5,72, este valor foi obtido por Sosulski e Imafidon (1990) ao investigar o conteúdo de proteína de diversos alimentos.

Os resultados estatísticos do valor proteico, então, são os mesmo da concentração de nitrogênio nos grãos já que se multiplicam os valores por fator constante modificando apenas os valores, mas não as proporções das diferenças entre os tratamentos (Tabela 19). Os valores encontrados compreenderam de 4,74 a 5,49%.

Reafirma-se que as diferenças do valor proteico encontradas entre os tratamentos foram as mesmas da concentração do nitrogênio no grão.

Tabela 19. N proteico nos grãos do cultivo de milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N kg ha ⁻¹	Bloco				Média	Desv. padrão	CV
		1	2	3	4			
		-----%-----						%
Controle	0	4,74	5,07	5,06	4,95	4,96 BCD	0,2	3,1
Ureia	160	4,53	4,97	4,67	4,81	4,74 D	0,2	3,9
N1	160	5,32	5,19	4,95	5,11	5,14 ABCD	0,2	3,0
N2	160	5,08	4,79	4,80	5,10	4,94 CD	0,2	3,4
U+N1	48 + 112	4,98	4,95	5,31	5,26	5,13 ABCD	0,2	3,6
U+N1*	112 + 48	5,22	5,02	5,44	4,84	5,13 ABCD	0,3	5,0
U+N2	48 + 112	5,24	5,24	4,83	5,00	5,08 ABCD	0,2	4,0
U+N2*	112 + 48	4,80	4,94	5,21	5,28	5,06 ABCD	0,2	4,5
N1+N2	48 + 112	5,02	5,39	5,01	4,84	5,06 ABCD	0,2	4,6
N1+N2*	112 + 48	5,36	5,09	5,14	4,95	5,13 ABCD	0,2	3,3
U+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	5,44	4,97	5,21	5,24	5,22 ABCD	0,2	3,6
U+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	4,99	5,06	4,90	4,80	4,94 CD	0,1	2,2
U+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	5,67	5,18	5,36	5,68	5,47 AB	0,2	4,5
U+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	5,61	5,46	5,16	5,13	5,34 ABC	0,2	4,4
U+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	4,98	5,32	5,39	4,96	5,17 ABCD	0,2	4,4
U+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	5,30	5,65	5,70	5,31	5,49 A	0,2	3,9
dms						0,53		

Letras maiúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11%S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa

Os dados permitiram concluir que a utilização de misturas dos produtos recobertos com a ureia convencional, como nos tratamentos U+N1+N2**, U+N1+N2*** e U+N1+N2***** são alternativas viáveis à elevação da concentração de nitrogênio no grão e, conseqüentemente, o teor proteico do produto final.

Em relação a concentração dos demais nutrientes no grão, os resultados encontrados corroboram com relatos de Heckman et al. (2003), os valores dos macro e micronutrientes atingiram a faixa mínima encontrada pelos autores, com exceção do Ca ficando com valor inferior e, S com valores inferiores, porém muito próximos a concentração mínima relatada pelos autores (Tabela 20). Ressalta-se que embora as menores concentrações de Cu e Zn encontradas nas folhas (Tabela 14), a planta foi eficiente na translocação dos nutrientes para o grão.

Ressalta-se que a importância da qualidade nutricional dos grãos pode auxiliar na otimização do sistema pecuário e, assim, auxiliar no incremento não apenas do campo, mas de todo sistema de produção de alimentos atendendo, de forma mais eficiente, a atual e futura demanda de alimentos, que nada mais é do que o aumento da demanda de nutrientes para a alimentação. Grãos mais ricos em nutrientes resultam em uma alimentação mais completa e de qualidade.

Tabela 20. Concentração de macro e micronutrientes nos grãos das plantas do cultivo do milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg ha ⁻¹											
Controle	0	2,38	3,69	0,04	0,83	0,72	0,05	0,00	0,67	9,38	3,22	16,75
Ureia	160	2,31	3,81	0,06	0,82	0,70	0,05	10,44	0,52	17,17	3,32	18,19
N 1	160	2,39	3,89	0,04	0,82	0,72	0,06	9,76	0,00	9,10	3,38	18,17
N 2	160	2,34	3,77	0,04	0,78	0,71	0,05	13,69	0,51	11,54	3,24	16,96
Ureia+N1	48 + 112	2,53	4,06	0,04	0,84	0,71	0,05	6,15	0,54	9,21	3,17	18,39
Ureia+N1	112 + 48	2,73	4,25	0,04	0,88	0,72	0,06	16,57	0,51	8,83	3,32	18,97
Ureia+N2	48 + 112	2,58	4,06	0,04	0,84	0,72	0,06	15,92	1,00	10,14	3,21	18,04
Ureia+N2	112 + 48	2,45	3,85	0,04	0,81	0,71	0,06	16,10	0,51	9,03	3,38	17,89
N1+N2	48 + 112	2,51	3,94	0,04	0,82	0,72	0,07	19,51	1,01	8,82	3,06	17,77
N1+N2	112 + 48	2,27	3,63	0,04	0,78	0,72	0,07	19,63	0,00	15,54	3,30	17,23
Ureia+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	2,42	3,78	0,04	0,84	0,74	0,05	14,75	0,53	13,06	3,42	17,55
Ureia+N1+N2	48 + 78,4 + 33,6	2,40	3,78	0,04	0,83	0,75	0,07	11,15	1,01	9,89	3,46	18,18
Ureia+N1+N2	33,6 + 48 + 78,4	2,22	3,68	0,04	0,83	0,73	0,09	11,47	1,14	10,73	3,43	16,21
Ureia+N1+N2	33,6 + 78,4 + 48	2,32	3,64	0,04	0,83	0,75	0,06	3,08	0,58	10,79	3,60	16,29
Ureia+N1+N2	78,4 + 48 + 33,6	2,55	4,01	0,04	0,92	0,75	0,05	3,52	1,63	10,62	3,78	18,34
Ureia+N1+N2	78,4 + 33,6 + 48	2,36	3,84	0,04	0,83	0,72	0,05	5,57	1,01	9,35	3,28	16,60

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11% S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa.

15.5. Resumo das análises estatísticas

O resumo das análises de todas as variáveis agrupadas permitiu a visualização geral do experimento, desta maneira houve a facilitação das observações de cada tratamento em isolado quanto a sua dinâmica para todas as variáveis analisadas (Tabela 21).

De maneira geral, foi observado que a massa de 1000 grãos, mesmo com as diferenças ocorridas entre os tratamentos nas demais variáveis, não apresentou diferença mostrando que este fator não foi determinante para a definição da produtividade. Como citado anteriormente, a composição do grão foi mais importante para esta variável, assim, mesmo com as diferenças entre os tratamentos para concentração de nitrogênio foliar e no grão, foi observado que os demais nutrientes por se encontrarem na faixa de suficiência, com exceção do Cu e Zn foliar, foram suficientes para a estruturação dos compostos que formam o grão (Tabela 21).

Arelado a ausência de diferenças e a estruturação do grão citada, exceto para o tratamento controle, a variável diâmetro do colmo também não mostrou diferenças entre os tratamentos. De acordo com relatos de Fancelli e Dourado Neto (2000), o colmo não exerce apenas a função de sustentação, mas também armazena sólidos solúveis responsáveis pela formação dos grãos. Em resumo, inferiu-se que a ausência de diferenças entre os tratamentos no diâmetro do colmo, possivelmente resultante da nutrição oriunda dos demais nutrientes (dentro da faixa de suficiência) que formaram o colmo permitindo a acumulação de sólidos solúveis que formam os grãos, refletiu na

não diferenciação na massa de 1000 grãos, possuindo estruturação geral pelos compostos no grão de milho. Desta forma, os tratamentos não foram limitantes na formação do colmo (exceto para o tratamento controle) e, assim na massa de 1000 grãos (Tabela 21).

Em relação à altura de inserção da espiga e compará-la aos dados de produtividade, foi possível inferir que, exceto para o tratamento N1+N2 na variável produtividade, a altura de inserção da espiga relacionou-se a produtividade alcançada (Tabela 21).

Os valores atingidos nestas variáveis, assim como sua diferenciação, exemplificada pelo tratamento U+N1+N2***** frente a ureia convencional e ao controle, mostraram que este fator biométrico é fundamental. Esta inferência vai ao encontro do relato de Arnon (1975), a menor quantidade do nutriente, no caso o nitrogênio, diminui o porte da planta, o que resulta em diminuição da capacidade da produção de carboidratos pela fotossíntese resultando em menor biomassa e retardamento da divisão celular, com a planta comprometida, a produtividade tende a apresentar menor resultado.

Novamente, o porte da planta é fator importante e fundamental à produção e produtividade de forma a não impor restrições ao vegetal e permitindo que o potencial produtivo da cultura seja exercido o máximo possível, neste foco o nitrogênio se destaca como elemento fundamental a esse porte e, seu manejo, como apresentado pela diferenciação dos tratamentos, pode afetar a estrutura e produção de grãos pelas plantas.

Tabela 21. Resumo resultados estatísticos de todas as avaliações do experimento de cultivo de milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta, São Carlos (SP) – safra 2014/2015

Tratamento	Dose N kg ha ⁻¹	Valores médios						
		P	AIE	DC	M1000g	NF	NG	NP
		t ha ⁻¹	cm	g	mg kg ⁻¹			
Controle	0	4,9 D	64,9 D	1,62 B	271,7 A	13,25 E	8,66 BCD	4,96 BCD
Ureia	160	6,6 BCD	84,7 C	1,99 A	280,0 A	14,42 E	8,29 D	4,74 D
N1	160	7,8 ABC	89,6 ABC	2,06 A	288,1 A	17,91 CD	8,99 ABCD	5,14 ABCD
N2	160	8,5 AB	88,8 ABC	2,08 A	288,1 A	19,49 BC	8,64 BC	4,94 CD
U+N1	48 + 112	8,1 ABC	88,0 ABC	2,05 A	293,1 A	17,03 D	8,96 ABCD	5,13 ABCD
U+N1*	112 + 48	8,2 ABC	94,6 ABC	2,20 A	300,6 A	21,30 A	8,97 ABCD	5,13 ABCD
U+N2	48 + 112	7,5 ABC	88,0 ABC	2,03 A	288,1 A	21,68 A	8,88 ABCD	5,08 ABCD
U+N2*	112 + 48	7,0 ABC	91,3 ABC	2,19 A	283,1 A	18,77 C	8,84 ABCD	5,06 ABCD
N1+N2	48 + 112	6,5 CD	87,5 ABC	2,11 A	273,1 A	18,44 CD	8,85 ABCD	5,06 ABCD
N1+N2*	112 + 48	8,0 ABC	95,6 AB	2,23 A	293,1 A	21,64 A	8,98 ABCD	5,13 ABCD
U+N1+N2	48 + 33,6 + 78,4	7,7 ABC	85,7 BC	2,10 A	289,5 A	18,51 CD	9,12 ABCD	5,22 ABCD
U+N1+N2*	48 + 78,4 + 33,6	8,4 AB	90,0 ABC	2,07 A	281,9 A	18,49 CD	8,63 CD	4,94 CD
U+N1+N2**	33,6 + 48 + 78,4	8,3 ABC	90,7 ABC	2,20 A	296,9 A	18,55 CD	9,57 AB	5,47 AB
U+N1+N2***	33,6 + 78,4 + 48	8,4 AB	88,5 ABC	2,07 A	295,0 A	20,69 AB	9,33 ABC	5,34 ABC
U+N1+N2****	78,4 + 48 + 33,6	7,2 ABC	90,1 ABC	2,08 A	292,5 A	19,15 BC	9,03 ABCD	5,17 ABCD
U+N1+N2*****	78,4 + 33,6 + 48	8,7 A	95,8 A	2,18 A	295,6 A	18,21 CD	9,60 A	5,49 A
dms		1,8	10,3	0,23	42,8	1,62	0,92	0,53

Letras maiúsculas na coluna diferem pelo teste de Tukey a 5%

U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11%S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos); CV= coeficiente de variação; dms=diferença mínima significativa; P=produtividade; AIE=altura de inserção da espiga; DC=diâmetro do colmo; M 1000g=massa de 1000 grãos; NF= nitrogênio foliar; NG= nitrogênio no grãos; NP=nitrogênio proteico

15.6. Análise econômica

Ao considerar o aspecto econômico, verificou a inserção dos tratamentos no sistema de cultivo. Buscou-se estabelecer, com base em simulação, os custos adicionais gerados pela adoção das tecnologias, subtraídos das receitas obtidas pela venda da produção.

A análise foi conduzida de forma simplificada, adotou-se para os valores dos insumos (ureia convencional), a média do ano de instalação do experimento (CONAB, 2016), para os produtos recobertos, os custos foram informados via comunicação pessoal direta com a empresa produtora e, para o preço de venda, foi considerada a média para um mês após a colheita do experimento.

Todos os valores foram considerados para o estado de São Paulo e, como base dos custos de produção, foram utilizados os custos relatados no Agriannual, valores para o ano de 2015 (Tabela 22).

Esta forma de análise por orçamentação permitiu isolar o efeito dos tratamentos nos custos, mesmo em casos de variações dentro da planilha de custos adotada (Agriannual 2015 – adaptada), por manterem-se todos as outras variáveis de custo como preparo do solo, manejo fitossanitário, colheita e etc., constantes, os acréscimos ou decréscimos do resultado econômico final ficou devido apenas aos tratamentos. Assim foi possível identificar a melhor alternativa pelo maior saldo gerado.

Ao analisar os dados, foi verificado que o custo de implantação de 1 hectare de milho (primeira safra), excluindo-se os custos com o fertilizante nitrogenado, resultou em valor de R\$ 2.948,59 (Tabela 22). Ao realizar a inserção dos tratamentos nos custos obteve-se valores de retorno econômico positivos e negativos (Tabela 23, Figura 36) reafirmando a necessidade do estudo econômico da inserção das tecnologia dos fertilizantes no sistema de produção.

Os menores retornos econômicos foram verificados no tratamento controle (-R\$ 651,05), na ureia convencional (-R\$ 356,80) e no tratamento N1+N2 (-R\$223,38), observou-se que o déficit causado por estes tratamentos inviabiliza o cultivo do milho. Para o tratamento controle, foi possível inferir que a ausência do nitrogênio causa não apenas problemas na produção agrícola, mas estes estendem-se ao retorno econômico obtido pelos produtores. Devido as baixas produtividades resultantes, é verificado que a utilização do adubo nitrogenado não é o ponto correto para diminuição de custos na produção de milho, ratificando a importância do manejo adequado do nitrogênio para a cultura (Tabela 23, Figura 36).

Em relação a ureia convencional, o déficit econômico resultante permitiu inferir que a escolha da utilização deste insumo sem a agregação das tecnologias, exceto para o tratamento N1+N2, dado seu menor preço frente aos produtos recobertos, deve ser manejada de forma ao fornecimento de nitrogênio à cultura nos momentos corretos. Dada a baixa longevidade da ureia no solo (Item 10, Figura 22), o maior número de operações de cobertura é necessário para a nutrição das plantas, porém este maior número de operações pode elevar os custos de produção (Tabela 23, Figura 36).

Os maiores retornos encontrados para os demais tratamentos mostram a viabilidade da adoção das tecnologias de recobrimento no cultivo do milho, exceto para o tratamento N1+N2 (Tabela 22). No caso do uso os tratamentos nas condições adotadas (aplicação única no plantio e em área total), houve o retorno econômico ao produtor (Figura 36).

A possibilidade da eliminação da operação de cobertura, observada pela maior longevidade dos tratamentos (Item 10), mostrou-se interessante não apenas pela diminuição de custo gerada, mas também pela vantagem operacional da aplicação do fertilizante nitrogenado em área total (maior faixa de trabalho) e o menor

tempo gasto para a realização das operações, além da vantagem ambiental da menor queima de combustíveis fósseis para aplicação do adubo e, a menor entrada de máquinas e implementos na área de cultivo.

Tabela 22. Custos de produção, excluindo custo da ureia, do cultivo de milho para análise econômica da inserção dos tratamentos com ureia convencional, recoberta e combinações entre produtos

	Descrição	Especificação	V.U	Qtde.	Valor
A	Operações				
A.1	Conservação do solo				
	Manutenção de carregadores	HM Tp 4x4 125cv + plaina traseira	90,04	0,10	9,00
A.2	Preparo do solo				
	Calagem	HM Tp 4x4 95cv + distrib. Calcário	73,30	0,10	7,33
	Serviço braçal	HH trabalhador braçal	10,00	0,20	2,00
	Transportes internos	HM Caminhão Truck	90,77	0,20	18,15
A.3	Plantio				
	Plantio	HM Tp 4x4 125cv + plantadeira	105,86	1,00	105,86
	Tratamento de sementes	Misturador de sementes	15,68	0,10	1,57
	Serviço braçal	HH trabalhador braçal	10,00	0,60	6,00
	Transportes internos	HM Caminhão Truck	90,77	0,10	9,08
A.4	Tratos culturais				
	Aplicação de Defensivos	HM Pulverizados Automotriz	143,90	0,25	35,98
	Combate a formigas/cupins	HH tralhador braçal	10,00	0,15	1,50
	Transportes internos	HM Caminhão Truck	90,77	0,10	9,08
A.5	Colheita				
	Colheita mecânica	HM Colhedora 180 cv	123,49	0,60	74,09
	Transportes internos	HM Caminhão Truck	90,77	0,15	13,62
Subtotal A					293,25
B	Insumos				
B.1	Fertilizantes/Corretivos				
	Calcário	R\$ t ⁻¹	80,00	1,21	96,80
	Ureia	R\$ t ⁻¹	-	-	-
	Cloreto de potássio	R\$ t ⁻¹	1253,00	0,18	229,30
	Sulfato de magnésio	R\$ t ⁻¹	950,00	0,20	190,00
	Superfosfato triplo	R\$ t ⁻¹	1171,30	0,25	292,83
	Micronutrientes	R\$ sc ⁻¹	79,50	2,00	159,00
B.2	Sementes/Mat. Plantio				
	Sementes	R\$ 60.000 ⁻¹	700,00	1,07	746,69
B.3	Defensivos agrícolas				
	Formicidas	R\$ kg ⁻¹	175,00	0,30	52,50
	Herbicidas	R\$ L ⁻¹	15,29	15,00	229,35
	Inseticidas	R\$ L ⁻¹	175,00	0,30	52,50
	Fungicida	R\$ L ⁻¹	81,00	0,75	60,75
	Outros	R\$ L ⁻¹	12,20	1,50	18,30
Subtotal B					2128,01
C	Administração				
	M.O Administrativa	R\$ ha ⁻¹	42,23	1,00	42,23
	Contábil/Escritório	R\$ ha ⁻¹	9,65	1,00	9,65
	Luz/Telefone	R\$ ha ⁻¹	12,07	1,00	12,07
	Conserv./Deprec./Benf.	R\$ ha ⁻¹	13,80	1,00	13,80
	Viagens	R\$ ha ⁻¹	6,25	1,00	6,25
	Impostos/Taxas	% Receita	2,30	1,00	66,70
Subtotal C					150,70
D	Pós colheita				
	Transporte até armazenagem	R\$ t ⁻¹	9,00	8,70	78,30
	Recebimento/Limpeza/Secagem	R\$ t ⁻¹	27,50	8,70	239,25
	Armazenagem	R\$ t ⁻¹	3,67	8,70	31,93
	Taxa administrativa	R\$ t ⁻¹	3,12	8,70	27,14
Subtotal D					376,62
Custo total (R\$ ha⁻¹)					2948,59
Preço médio (R\$ sc⁻¹ - 60kg)					28,00

Adaptado de AGRIANUAL (2015); V.U=valor unitário; HM=hora máquina; Tp=trator pneu; HH=hora homem; sc=saca

Ressalta-se que a utilização das combinações utilizadas nos tratamentos foi outro fator de relevância no estudo econômico. Através da combinação da ureia convencional, de menor preço, com os produtos recobertos pode ser obtido valor de produtividade que não diferiu o uso isolado destas tecnologias, desta forma houve a possibilidade da atenuação dos custos com os insumos recobertos (mais caros) utilizando a ureia convencional na composição do tratamento.

Como exemplo da possibilidade da redução de custo pelo uso das combinações, que reflete diretamente no retorno econômico, pôde ser citado o tratamento U+N1, com produtividade de 8,1 t ha⁻¹, frente ao tratamento U+N1*, com produtividade de 8,2 t ha⁻¹, a maior utilização da ureia convencional, no primeiro, resultou ganho de R\$ 140,16 ha⁻¹, caso fossem obtidos mesmos valores de produtividade, a diferença seria de R\$ 93,49 ha⁻¹. Ao considerar o tratamento com 100% do produto N1 (produtividade de 7,8), o retorno obtido foi de 365,49 ha⁻¹, o que equivale a R\$ 272,24 ha⁻¹ a menos que U+N1*, em caso de equivalência de produtividade a diferença seria de R\$ 132, 24 ha⁻¹ a menos, reforçando que o uso das combinações é economicamente mais vantajoso no sistema de produção (Tabela 26).

Notar que os exemplos dados foram ilustrativos da diferença nominal entre os tratamentos visto que estatisticamente não houveram diferenças entre as produtividades dos tratamentos citados, o relato serviu apenas para apresentar as vantagens econômicas do uso da combinação da ureia convencional com as fontes protegidas.

Tabela 23. Orçamentação resultante da aplicação dos tratamentos do experimento de cultivo de milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta

Tratamento	Dose N			Produtividade		Custo tratamentos		Custo produção total*	Preço de venda	Receita gerada	Resultado final	Resultado final
	Ureia	N1	N2			Unitário	Total					
	kg ha ⁻¹					R\$ t ⁻¹	R\$ ha ⁻¹					
Controle	0	-	-	4,9	D	0	0	2948,59	28,00	2297,54	-651,05	-7,93
Ureia	160	-	-	6,6	BCD	1409,85	225,58	3174,17	28,00	3093,07	-81,09	-0,73
N1	160	-	-	7,8	ABC	2174,20	347,87	3296,46	28,00	3661,95	365,49	2,79
N2	160	-	-	8,5	AB	1769,08	283,05	3231,64	28,00	3944,04	712,40	5,06
U+N1	48	112	-	8,1	ABC	1944,90	311,18	3259,77	28,00	3757,34	497,57	3,71
U+N1*	112	48	-	8,2	ABC	1639,16	262,26	3210,85	28,00	3848,58	637,73	4,64
U+N2	48	112	-	7,5	ABC	1661,31	265,81	3214,40	28,00	3482,04	267,64	2,15
U+N2*	112	48	-	7,0	ABC	1517,62	242,82	3191,41	28,00	3251,85	60,44	0,52
N1+N2	48	112	-	6,5	CD	1890,62	302,50	3251,09	28,00	3027,70	-223,38	-2,07
N1+N2*	112	48	-	8,0	ABC	2052,66	328,43	3277,02	28,00	3712,46	435,44	3,28
U+N1+N2	48	33,6	78,4	7,7	ABC	1746,39	279,42	3228,01	28,00	3573,75	345,74	2,71
U+N1+N2*	48	78,4	33,6	8,4	AB	1859,82	297,57	3246,16	28,00	3914,99	668,83	4,78
U+N1+N2**	33,6	48	78,4	8,3	ABC	1815,18	290,43	3239,02	28,00	3877,73	638,71	4,61
U+N1+N2***	33,6	78,4	48	8,4	AB	1892,15	302,74	3251,33	28,00	3899,89	648,56	4,66
U+N1+N2****	78,4	48	33,6	7,2	ABC	1714,59	274,33	3222,92	28,00	3365,72	142,79	1,19
U+N1+N2*****	78,4	33,6	48	8,7	A	1678,13	268,50	3217,09	28,00	4042,20	825,11	5,72
dms				1,8								

*custo total (Tabela 25) acrescido do custo da inserção dos tratamentos utilizados no experimento; **sc= saca 60 kg; U=ureia convencional; N1=produto recoberto 1 (39% N e 11%S); N2=produto recoberto 2 (38% N e 14% S); *=representam as diferenciações entre as proporções dos fertilizantes utilizados nas combinações (o maior número de * indica apenas a diferenciação entre as combinações com mesmo número de produtos);

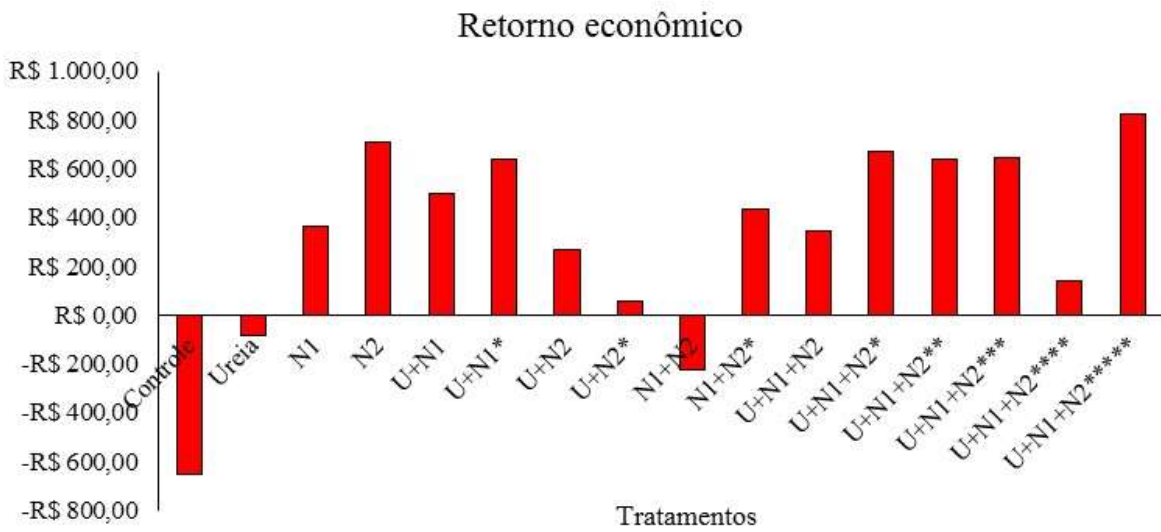


Figura 36. Retorno econômico gerado pela inserção dos tratamentos utilizados no experimento de cultivo de milho submetido a adubação com ureia convencional e recoberta

Atentar-se para o sistema como um todo é a maneira mais eficiente de se alcançar os melhores resultados, assim, aspectos do insumo, da planta e, econômicos, devem ser combinados de forma a plenitude do sistema de produção agrícola.

16. CONCLUSÃO

O uso dos fertilizantes recobertos com polímero e enxofre, em comparação ao uso da ureia convencional, aumenta a produtividade, os parâmetros biométricos, os parâmetros nutricionais e a qualidade do grão da cultura do milho.

As combinações realizadas entre os produtos recobertos com a ureia convencional são alternativas para o aumento da produtividade resultando em valores superiores a aplicação dos insumos de forma isolada.

Economicamente, a adoção da tecnologia dos fertilizantes recobertos se mostra vantajosa por permitir a eliminação a operação de cobertura, fato não recomendado para a ureia sem recobrimento.

REFERÊNCIAS

- AGRAFNP. Milho. In: _____. *Agrianual 2015: Anuário da agricultura brasileira*. São Paulo, 2015. p. 349-378.
- ARNON, I. **Mineral nutrition of maize**. Bern: International Potash Institute, 1975. 452p.
- BELOW, F.E. The seven Wonders of the corn yield world. In: 2008 Illinois Crop Protection Technology Conference, 2008, Urbana-Champaign. **Anais eletrônicos...** Urbana-Champaign: University of Illinois at Urbana-Champaign. Disponível em: <www.ideals.illinois.edu/bitstream/handle/2142/89688/7912223_2008.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 nov, 2016.
- BENDER, R.R.; HAEGELE, J.W.; RUFFO, M.L.; BELOW, F.E. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, p. 161-170, 2013.
- BRANDALIZZE, V. Mercado de milho: Realidade e Perspectivas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D; (Ed.). **Milho: Manejo e Produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2009. p. 01.
- BRANDALIZZE, V. Realidade e perspectivas de mercado e comercialização do milho. In: FANCELLI, A.L. **Milho: gestão e manejo**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2015. p. 19-38.
- CALDARELLI, C.E.; BACCHI, M.R.P. Fatores de influência no preço do milho no Brasil. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v.22, n. 1, p. 141-164, 2012.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap.7, p.375–470.
- CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da fertilidade dosolo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R.F; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed). **Fertilidade do solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap.13, p. 769-850.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira – grãos, décimo primeiro levantamento, v. 3, n. 11. 2016.
- DUARTE, A.P.; KIEHL, J.C.; CAMARGO, M.A.F.; RECO, P.C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes em cultivares de milho originárias de clima tropical e introduzidas de clima temperado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 1-20, 2003.

- DUARTE, A.P.; SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; GALLO, P.B. Milho (*Zea mays*). In: AGUIAR, A.T.E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; TUCCI, M.L.S.A; CASTRO, C.E.F (Ed). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas** 7ªed. Campinas: Instituto Agronômico, 2014. 452p. (Boletim técnico, 200)
- DUETTE, R.R.C.; MURAOKA, T.; SILVA, E.C.; TRIVELIN, P.C.O., AMBROSANO, E.J. Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (¹⁵N) pelo milho em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 1, p. 161-171, 2008.
- FACRE, W.R. **Três formas de fertilizantes nitrogenados e o futuro**. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 5-6. (Informações Agronômicas, 120).
- FANCELLI, A.L. Nutrição e adubação do milho. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Milho manejo e produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2009. cap.5, p. 60-97.
- FANCELLI, A.L. Aspectos fisiológicos relevantes e influentes na produtividade do milho (*Zea mays* L.) em condições tropicais. In: FANCELLI, A.L. **Milho: gestão e manejo**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2015. p. 39-64.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Editora agropecuária, 2000. 360p.
- FANCELLI, A.L.; TSUMANUMA, G.M.; Nitrogênio e enxofre nas culturas de milho e feijão. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S.; VITTI, G.C. (Ed) **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. cap 13, p.445-486.
- FERNANDES, F.C.S.; BUZETTI, S.; ARF, O.; ANDRADE, J.A.C. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195-204, 2005.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 25 nov. 2016.
- FRAZÃO, J.J.; SILVA, A.R.; SILVA, V.L.; OLIVEIRA V.A.; CORRÊA, R.S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 18, p. 1262-1267, 2014.
- GAO, X.; LI, C.; ZHANG, M.; WANG, R.; CHEN, B.; Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil. **Field Crops Research**, v. 181, p. 60-68, 2015.
- GEE, G.W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of Soil Analysis**. 3rd ed. Madison: American Society of Agronomy; Soil Science Society of America, 2002. pt. 4, p.255-293.

- GENG, J.; MA, Q.; CHEN, J.; ZHANG, M.; LI, C.; YANG, Y.; YANG, X.; ZHANG, W.; LIU, Z.; Effects of polymer coated urea and sulfur fertilization on yield, nitrogen use efficiency and leaf senescence of cotton. **Field Crops Research**, v. 187, p. 87-95, 2016.
- GUARESCHI, R.F.; PERIN, A.; GAZOLLA, P.R. Produtividade de milho submetido à aplicação de ureia revestida por polímeros. **Global Science Technology**, Rio Verde, v.6, n. 2, p. 31-37, 2013.
- HECKMAN, J.R.; SIMS, J.T.; BEEGLE, D.B.; COALE, F.J.; HERBERT, S.J.; BRUULSEMA, T.W.; BAMKA, W.J. Nutrient Removal by Corn Grain Harvest. **Agronomy Journal**, v. 95, p. 587-591, 2003.
- HOFFMANN, R.; ENGLER, J. J. C.; SERRANO, O.; THAME, A. C. M.; NEVES, E. M. **Administração da Empresa Agrícola**, São Paulo: Pioneira, 1992. 325p.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em 10 set. 2016.
- KAMOGAWA, M.Y.; TEIXEIRA, M.A. Autoamostrador de baixo custo para análise por injeção em fluxo. **Química Nova**, v. 32, p. 1644-1646, 2009.
- LIMA, U.A. **Matérias-primas dos alimentos**. São Paulo: Blucher, 2010. 402 p.
- MA, B.L.; DWYER, L.M. Nitrogen uptake and use of two contrasting maize hybrids differing in leaf senescence. **Plant and Soil**, Dordercht, v. 199, p. 283-291, 1998.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319p.
- MAR, G.D.; MARCHETTI, M.E.; SOUZA, L.C.F.; GONÇALVES, M.C.; NOVELINO, J.O. produção do milho safrinha em função de doses e épocas de aplicação de nitrogênio. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.2, p. 267-274, 2003.
- MARCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London: Academic Press, 1995.
- MARTINS, I.S. **Doses, épocas e modos de aplicação da ureia comum e revestida na cultura do milho**. 2013. 63p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Campos Jaboticabal, Jaboticabal, 2013.
- MARTINS, I.S.; CAZETTA, J.O.; FUKUDA, A.J.F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 271-279, 2014.

- MOTA, E.P.; MENDES, F.L.; SHIROTA, R. Viabilidade de implantação de ureias revestidas no cultivo de milho para Estado de São Paulo. **Revista iPecege**, v.1, p. 22-38, 2015.
- OLIVEIRA, F.A.; CAVALCANTE, L.F.; SILVA, I.F.; PEREIRA, W.E.; OLIVEIRA, J.C.; FILHO, J.F.C. Crescimento do milho adubado com nitrogênio e fósforo em um Latossolo Amarelo. **Agrária**, Recife, v. 4, n. 3, p. 238-244, 2009.
- OLIVEIRA, M.A.; ZUCARELLI, C.; SPOLAOR, L.T.; DOMINGUES, A.R.; FERREIRA, A.S. Desempenho agrônômico do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 10, p. 1040-1046, 2012.
- PEOPLES, M.B.; FRENEY, J.R.; MOSIER, A.R. Minimizing gaseous losses of nitrogen. In: BACON, P.E. (Ed). **Nitrogen fertilization in the environment**. New York: Marcel Dekker, 1995, chap. 15 p. 565–602. RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.
- PINAZZA, L.A. **Cadeia produtiva do milho**. Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285p. (Boletim técnico, 100).
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, 2001. 285 p
- RODRIGUES, L.R.; GUADAGNIN, J.P.; PORTO, M.P. **Indicações técnicas para o cultivo de milho e de sorgo no Rio Grande do Sul safras 2009/2010 e 2010/2011**. Veranópolis: FEPAGRO-Serra, 2009. 179 p.
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L. Doses e época de aplicação de nitrogênio para a cultura do milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 13-24, 1994.
- SANTOS, P.G.; JULIATTI, F.C.; BUIATT, A.L.; HAMAWAKI, O.T. Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho em Uberlândia, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 597-602, 2002.
- SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 71, p. 1-49, 2001
- SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: IFA INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, 2005, Frankfurt. **Proceedings...** Paris: International Fertilizer Industry Association, 2005. p. 1-15

- SILVA, E.C. **Manejo da adubação nitrogenada e utilização do nitrogênio (^{15}N) da uréia, do milho e da crotalária pelo milho sob semeadura direta em solo de cerrado**. 2005. 111p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- SILVA, E.C.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E.C.; TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (^{15}N) da crotalária e do milho pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n.3, p. 739-746, 2006.
- SILVA, P.S.L.; OLIVEIRA, F.H.T.; SILVA, P.I.B. Efeitos da aplicação de doses de nitrogênio e densidades de plantio sobre os rendimentos de espigas verdes e de grãos de milho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 452-455, 2003.
- SOARES, M.A. **Influência de nitrogênio, zinco e boro e suas respectivas interações no desempenho da cultura de milho (*Zea mays L.*)**. 2003. 92p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- SORATTO, R.P.; PEREIRA, M.; COSTA, T.A.M.; LAMPERT, V.N. Fontes alternativas e doses de nitrogênio no milho safrinha em sucessão à soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n.4, p. 511-518, 2010.
- SOSULSKI, F.W.; IMAFIDON, G.I. Amino Acid Composition and Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Animal and Plant Foods. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 38, n. 6, p. 1351-1356, 1990.
- SOUZA, E.F.C.; SORATTO, R.P. Efeito de fontes e doses de nitrogênio em cobertura, no milho safrinha, em plantio direto. **Revista Brasileira da Milho e Sorgo**. Sete Lagoas, v.5, n.3, p. 395-405, 2006.
- TRENKEL, M.E. **Improving fertilizer use efficiency: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture**. Paris: International Fertilizer Industry Association, 1997. 151 p.
- ULLOA, M.C.; LIBARDI, P.L; REICHARDT, K.; VICTORIA, R.; SILVA, J.C.A.; CABALLERO, S.S.U. absorção e redistribuição do nitrogênio proveniente do fertilizante, $\text{CO}(^{15}\text{NH}_2)_2$, por dois híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, p. 1547-1557, 1982.
- VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; BENETT, C.G.S.; ANDREOTTI, M. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 659-670, 2014.
- VILLALBA, H.A.G. **Misturas de ureia revestido com polímeros e ureia convencional na adubação da cultura do milho**. 2014. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

VITTI, G.C. Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, FCAV:Funep, 1989, 37p.

VITTI, G.C; MUNÕZ, A.I.; NILSON, C.G.; ZAVASCHI, E. Nutrição e adubação do milho. In: FANCELLI, A.L. **Milho: produção e produtividade**. Piracicaba: USP/ESALQ/LPV, 2011. p. 147-166.

WILKES, G. Corn, strange and marvelous: but it is a definitive origin known? In: SMITH, C.W.; BETRÁN, J.; RUNGE, E.C.A. **Corn: origin, history, technology, and production**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2004. p. 3-64.

YANG, Y.; ZHANG, M.; LI, Y.C.; GENG, Y. Controlled release urea improved nitrogen use efficiency, activities of leaf enzymes, and rice yield. **Nutrient Management & Soil & Plant Analysis**, v. 76, p. 2307-2317, 2012.

ZAVASCHI, E. **Volatilização de amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros**. 2010. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.