

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**JOSÉ DE OLIVEIRA RODRIGUES**  
*Magister Scientiae*

**Maximização do uso da uréia em lavoura de *Coffea  
canephora***

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli

**São Mateus, ES  
Fevereiro de 2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**Maximização do uso da uréia em lavoura de *Coffea  
canephora***

**JOSÉ DE OLIVEIRA RODRIGUES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli

**São Mateus, ES  
Fevereiro de 2013**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

R696m Rodrigues, José de Oliveira, 1987-  
Maximização do uso da uréia em lavoura de *Coffea canephora* / José de Oliveira Rodrigues. – 2013.  
71 f. : il.

Orientador: Fábio Luiz Partelli.  
Coorientador: Fábio Ribeiro Pires.  
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário  
Norte do Espírito Santo.

1. Nitrogênio. 2. Volatilização. 3. Café conilon. I. Partelli, Fábio Luiz, 1979-. II. Pires, Fábio Ribeiro. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 63

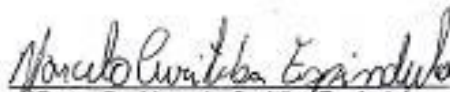
---

**MAXIMIZAÇÃO DO USO DA URÉIA EM LAVOURA DE  
*Coffea canephora***

**JOSÉ DE OLIVEIRA RODRIGUES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada: 27/02/2013.



Pesq. Dr. Marcelo Curitiba Espindola  
Empresa Brasileira de Pesquisa  
Agropecuária



Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires  
Universidade Federal do Espírito Santo

(Co-orientador)



Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Orientador)

À minha querida mãe Maria Aparecida de Oliveira Rodrigues, ao meu pai José Rodrigues Filho e aos meus irmãos Wagner, Tamires e Daniel.

**DEDICO...**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela minha saúde e vida.

À Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo UFES/CEUNES e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, pela oportunidade de aprimorar os meus conhecimentos.

Aos meus orientadores: Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli, Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires, Prof. Dr. Antelmo Falqueto, pela orientação acadêmica, amizade e companheirismo.

Aos colegas dos laboratórios do CEUNES/UFES: Aos colegas Joel Cardoso, Wagner e Douglas do Laboratório de Análise Química e Física de Solos e Plantas - LAGRO, Ao Helder Ivo do Laboratório de Física e Classificação de Solos pela disponibilidade e auxílio prestados;

Aos amigos Gleison Olios, Alex Campanharo, Mariana Vasconcellos, Bruno Ortelan, José Monte, Marcel Belique e ao Marcos Goes Oliveira pelo apoio prestado nas avaliações em campo e em Laboratório.

Ao proprietário João Marré por ter disponibilizado sua propriedade para instalação, condução e aquisição dos resultados da pesquisa.

Aos funcionários do CEUNES/UFES, Alessandro, Evaldo, Eliel e ao Fernando Souza pelo apoio prestado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, muito importante no desenvolvimento dos trabalhos.

Aos meus queridos pais e irmãos pelo apoio e incentivo aos estudos.

## SUMÁRIO

|   |      |
|---|------|
| RESUMO.....   | vi   |
| ABSTRACT.....   | viii |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 1    |
| 1.1. O Café Conilon.....  | 3    |
| 1.2. Importância do café Conilon para o estado do Espírito Santo.....   | 4    |
| 1.3. Adubação Nitrogenada do Cafeeiro Conilon.....  | 5    |
| 1.4. Fontes de Nitrogênio .....   | 6    |
| 1.5. Perdas de Nitrogênio da Uréia.....   | 8    |
| 1.6. Inibidores de Urease.....  | 9    |
| 1.7. Produtos Acidificantes.....  | 14   |
| 1.8. Eficácia do Nitrogênio .....   | 14   |
| 2. CAPÍTULOS.....   | 16   |
| 2.1. Volatilização de NH <sub>3</sub> proveniente de diferentes fontes nitrogenadas com<br>eficiência aumentada na cultura do <i>Coffea canephora</i> ..... | 17   |
| Resumo.....   | 17   |
| Abstract .....  | 18   |
| Introdução .....  | 19   |
| Material e Métodos .....  | 22   |
| Resultados e Discussão.....   | 23   |
| Conclusão .....   | 27   |
| Referências Bibliográficas.....   | 28   |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>2.2. Avaliação dos aspectos morfofisiológicos de <i>Coffea canephora</i> sob a influência de diferentes fontes nitrogenadas.....</b> | <b>31</b> |
| <b>Resumo.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>Abstract .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>Introdução .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>Material e Métodos .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>Resultados e Discussão.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>Conclusões .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>Referências Bibliográficas.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>3. CONCLUSÕES GERAIS .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>4. REFERÊNCIA .....</b>  | <b>49</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>57</b> |



## RESUMO

RODRIGUES, José de Oliveira; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; fevereiro de 2013; **Maximização do uso da uréia em lavoura de *Coffea canephora***; Orientador: Fábio Luiz Partelli, Co-orientador: Fábio Ribeiro Pires.

Objetivou-se determinar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia, de 'uréias com eficiências aumentadas' bem como o desenvolvimento e a produtividade do cafeeiro Conilon manejadas com tais uréias. O experimento foi instalado em outubro de 2010 na cidade de Nova Venécia - ES em uma lavoura de café Conilon cultivar 'Vitória INCAPER 8142'. Foram avaliadas cinco fontes de adubos nitrogenados: T1= uréia perolada comum (45% N); T2= Uréia (45% N) + NBPT - (Super N<sup>®</sup>); T3= uréia (44,6% N) + 0,15% de Cu<sup>2+</sup> + 0,4% de B – (Nitro Mais<sup>®</sup>); T4= uréia (37% N) + enxofre (17%) – (Nitro Gold<sup>®</sup>); e T5= nitrato de amônio (34% N). Os tratamentos T2, T3 e T4 são considerados com “eficiência aumentada” e os tratamentos T1 e T5 foram utilizados como testemunhas negativa e positiva respectivamente. Os coletores de amônia foram instalados, em cada parcela experimental, imediatamente após a aplicação do fertilizante em três épocas distintas, sendo em outubro, dezembro de 2011 e março de 2012. As esponjas coletoras de amônia (NH<sub>3</sub>) foram trocadas aos 5, 10 e 15 dias. Foram avaliadas características associadas à fluorescência da clorofila a. Essas avaliações foram realizadas em outubro antes da adubação e em janeiro e março 20 dias após as adubações. O crescimento de ramos foi avaliado mensalmente por medição do comprimento dos ramos através da marcação de três grupos de ramos em

crescimento escolhido ao acaso. Foram marcados quatro ramos plagiotrópicos por parcela. O primeiro grupo de ramos foi marcado e avaliado a partir de 05 de agosto de 2011 e o segundo grupo a partir de 09 de dezembro de 2011 e o terceiro grupo a partir de 12 de abril de 2012. O nitrato de amônio foi à fonte de nitrogênio que obteve menor perda de N-NH<sub>3</sub> por volatilização entre as demais fontes nitrogenadas. A uréia + enxofre e a uréia perolada comum foram às fontes de nitrogênio que apresentaram maior perda de nitrogênio por volatilização na segunda avaliação. Dessa forma, pressupõe-se que a precipitação não foi suficiente para dissolver e incorporar os adubos, permanecendo o solo úmido, aumentando assim a atividade da enzima urease sobre os fertilizantes. Em geral a uréia + NBPT e a uréia + Cu<sup>2+</sup> e B apresentaram as menores perdas por volatilização dentre os adubos com “eficiência aumentada”. As diferentes fontes de nitrogênio não promoveram diferenças significativas nas produções das safras de 2011 e 2012. Os valores de (Fv/Fm) não diferiram em nenhuma das épocas analisadas, o que sugere que as fontes nitrogenadas não alteraram a eficiência do fotossistema II. Os valores de Índice Relativo de Clorofila (IRC) alternaram suas significâncias com relação aos tratamentos ao longo das datas de avaliação. As fontes de nitrogênio não influenciaram significativamente o crescimento dos três grupos de ramos, em todas as avaliações realizadas.

**Palavras-chave:** Volatilização, características morfofisiológicas, nitrogênio, café Conilon.

## ABSTRACT

RODRIGUES, José de Oliveira; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; February de 2013; **Maximizing the use of urea in crop *Coffea canephora***; Adviser: Fábio Luiz Partelli, Co-Adviser: Fábio Ribeiro Pires.

The objective was to determine nitrogen losses by ammonia volatilization from 'ureas with increased efficiencies' as well as the development and productivity of coffee Conilon handled with such ureas. The experiment was installed in October 2010 in the city of Nova Venezia - ES on a coffee plantation Conilon cultivar 'Victoria INCAPER 8142'. We evaluated five sources of nitrogen fertilizers: T1 = urea pearly common (45% N), T2 = urea (45% N) + NBPT - (Super N<sup>®</sup>), T3 = urea (44.6% N) + 0.15 % of Cu<sup>2+</sup> and 0.4% B - (More Nitro<sup>®</sup>); T4 = urea (37% N) + sulfur (17%) - (Nitro Gold<sup>®</sup>) and T5 = ammonium nitrate (34% N). The treatments T2, T3 and T4 are considered to "increased efficiency" and the T1 and T5 were used as control negative and positive respectively. The ammonia collectors were installed in each plot immediately after fertilizer application in three different seasons, and in October, December 2011 and March 2012. The sponges collecting ammonia (NH<sub>3</sub>) were exchanged at 5, 10 and 15 days. Were evaluated characteristics associated with the chlorophyll fluorescence. These evaluations were performed prior to fertilization in October and in January and March 20 days after fertilization. The branch growth was evaluated monthly for measuring the length of the branches by dialing three groups of branches growing randomly selected. Were scored four primary branches per plot. The first group of branches was evaluated and scored from 5 August 2011 and the second group from December 9, 2011 and the third group from April 12, 2012. The ammonium nitrate was the nitrogen source that had lower NH<sub>3</sub>-N loss through volatilization among the other nitrogen sources. The urea and urea + sulfur pearly

were common sources of nitrogen that showed greater loss of nitrogen through volatilization in the second evaluation. Thus, it is assumed that precipitation was not sufficient to dissolve and incorporate the fertilizer, the soil remains moist, thereby increasing the activity of the enzyme urease on fertilizers. In general, urea and urea + NBPT +  $\text{Cu}^{2+}$  and B had the lowest volatilization losses from fertilizers with "increased efficiency". The different nitrogen sources did not cause significant differences in crop yields of 2011 and 2012. Values ( $F_v / F_m$ ) did not differ in any of the times examined, suggesting that the nitrogen sources did not alter the efficiency of photosystem II. Relative values of Chlorophyll Index (CRI) alternated their significance with respect to treatments throughout the evaluation dates. The nitrogen sources did not significantly influence the growth of three groups of branches in all assessments.

**Key words:** volatilization, morphophysiological characteristics, nitrogen, coffee Conilon.

## 1. INTRODUÇÃO

O elemento químico nitrogênio é empregado em grandes quantidades na agricultura moderna na forma de fertilizantes, sendo uma prática fundamental para a produção de alimentos em escala necessária a suprir a demanda nutricional gerada pelo crescimento populacional (BOARETTO et al., 2007). A responsável pela duplicação da produção de alimentos nas últimas quatro décadas foi à agricultura moderna, sendo esta duplicação associada a um aumento na fertilização das lavouras com nitrogênio equivalente a sete vezes (TILMAN, 1999).

Neste período a agricultura brasileira se modernizou e as produtividades agrícolas foram elevadas, gerando excedentes para exportação, o que contribuiu significativamente para o crescimento da economia do país. Tal crescimento se baseou no uso intensivo de insumos agrícolas, pois fatores como a baixa fertilidade natural dos solos e incidência de pragas e doenças sobre as culturas limitava a expansão das fronteiras agrícolas. Cultivares mais produtivas e adaptadas às diversas condições foram desenvolvidas, os métodos para controle de pragas e doenças foram melhorados e o setor de máquinas e implementos agrícolas modernizado.

Perante deste avanço tecnológico, o uso maciço de fertilizantes minerais solúveis em água tornou-se prática comum para elevação da fertilidade dos solos e das produtividades agrícolas. De fato, as produtividades foram e ainda estão sendo elevadas e as expansões das fronteiras agrícolas resultaram em aumento na produção agrícola nacional. A área de produção e comercialização de fertilizantes se fortaleceu e tornou-se importante para a economia do país.

Ao avaliar as características tecnológicas dos fertilizantes minerais mais utilizados na agricultura brasileira e das condições edafoclimáticas tropicais, o uso de aplicações intensivas de fórmulas altamente concentradas e solúveis sobre solos com baixa capacidade de retenção de cátions (CTC), que, associado à alta capacidade e dependência dos sistemas agrícolas pela ciclagem de nutrientes e água, evidencia a inadequação das tecnologias desses insumos aos ambientes tropicais. Nesses sistemas, a liberação de nutrientes nas formas em que são disponíveis para a absorção pelas plantas deve ser mais lenta, se possível controlada, pois a baixa eficiência de aproveitamento dos nutrientes fornecidos pelos fertilizantes às plantas cultivadas comprova essa evidência, apresentando perdas superiores de 30% para o K e 60% do P aplicados aos solos não são aproveitados pelas plantas.

Estima-se que cerca de 50% do N aplicado aos solos não é aproveitado pelas plantas num primeiro ciclo (CANTARELLA, 2007). Entretanto, o crescimento do agronegócio brasileiro e a geração de divisas para a economia brasileira têm dificultado a percepção da importância estratégica do desenvolvimento de novas tecnologias para obtenção de matérias-primas e novos fertilizantes compatíveis com as condições tropicais, visando à sustentabilidade do agronegócio brasileiro.

A adubação nitrogenada no Brasil é baseada no uso do fertilizante nitrogenado uréia, que representou 51% das 4,3 milhões de toneladas deste nutriente comercializado no País em 2010 (Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2009–2010, 2010).

A busca pela autonomia e sustentabilidade do setor agrícola brasileiro envolve o aumento da produção interna de matéria-prima na indústria, novas fontes de insumos, reciclagem de nutrientes e, principalmente, aumento da eficácia agrônômica dos fertilizantes fornecidos às lavouras. Para alcançar essa maior eficácia, as tecnologias desenvolvidas devem ser condizentes com as particularidades edafoclimáticas tropicais.

Os agricultores podem melhorar os seus retornos líquidos de agricultura com insumos de menor custo e ou maior eficiência do uso de insumos. A redução das perdas de nutrientes é um passo fundamental para a melhoria da fertilidade do solo e produtividade agrícola para os agricultores pobres.

## 1.1. O Café Conilon

A primeira estimativa de produção de café (Arábica e Conilon) para a safra 2013, indica que o País deverá colher entre 46,98 e 50,16 milhões de sacas de 60 quilos do produto beneficiado.

O Conilon participa da produção nacional com 25,29% do total de café beneficiado no Brasil. O estado do Espírito Santo se destaca como o maior produtor dessa espécie, produzindo 9,71 milhões de sacas beneficiadas na safra de 2012 e esperando uma produção estimada de 9,52 milhões de sacas na safra de 2013 (CONAB, 2013).

Estima-se que os gastos com fertilizantes e corretivos representem 30% do custo total da produção do cafeeiro e, dos insumos utilizados na cultura do café, aproximadamente 200 mil toneladas por ano correspondem aos fertilizantes nitrogenados, uma vez que é um dos nutrientes mais exigidos pelas plantas, representando um gasto estimado de cerca de 200 milhões de dólares no Brasil (EMBRAPA, 2004).

O nitrogênio é fornecido à planta adulta, geralmente, por meio de adubações de cobertura distribuídas em aplicações durante o período chuvoso (PREZOTTI et al., 2007), sendo a uréia a principal fonte utilizada. Essa fonte é preferida por ser um dos fertilizantes sólidos granulados com maior concentração de N (45%), característica que permite redução do custo de transporte, apresenta alta solubilidade, baixa corrosividade e a facilidade de mistura com outras fontes. Apesar da grande utilização da uréia na agricultura, esta fonte apresenta grave limitação que é sua susceptibilidade a perdas de N por volatilização (GIOACCHINI et al., 2002; COSTA et al., 2003; MARTHA JÚNIOR 2004; VITTI et al, 2007). Isso acontece porque, quando aplicada ao solo, a uréia está sujeita a ação da enzima urease (MALHI et al., 2001). Essa enzima é encontrada na natureza em plantas, bactérias, fungos, algas e invertebrados e, embora existam diferentes estruturas de proteína, exerce uma única função catalítica que é a hidrólise de uréia, produzindo amônia e ácido carbônico (KRAJEWSKA, 2009). A amônia produzida na reação pode ser perdida para a atmosfera por volatilização, principalmente quando a mesma está perto da superfície do solo (MALHI et al., 2001).

A aplicação de uréia em solos secos, com a ausência de chuvas, resulta em pouca dissolução e hidrólise da uréia. Mas, à medida que a umidade aumenta, a

hidrólise também tende a aumentar e, com isso, a volatilização também aumenta (PRASERTSAK et al., 2001). A combinação de elevada umidade do solo, ausência de chuvas após a adubação e temperatura elevada, determina elevadas perdas de amônia por volatilização (MARTHA JÚNIOR et al., 2004).

No estado do Espírito Santo, as principais regiões onde se cultivam café Conilon são caracterizadas por baixa precipitação (má distribuição) e altas temperaturas durante todo o ano. A região possui clima tropical típico com verão quente e úmido e inverno seco. As temperaturas médias mínimas são superiores a 12 °C nos meses de inverno e as máximas de 34 °C no verão e a precipitação média anual de 1200 mm (INCAPER, 2012). Em suma, a região é altamente propícia a perdas por volatilização de amônia.

Como meio de reduzir perdas por volatilização do nitrogênio, tem-se a possibilidade de incorporar mecanicamente o fertilizante no solo ou aplicar o adubo quando tem probabilidades de chuvas ou quando se dispõe de sistema de irrigação para a realização da incorporação com a água. A incorporação é uma alternativa dispendioso e de difícil realização em regiões de relevo acidentado. Para o segundo caso, tem-se a má distribuição das chuvas, baixa capacidade de armazenamento de água nas propriedades e, ainda, o aumento do custo de produção causada pela utilização de sistemas de irrigação.

Surge então a possibilidade de uso de fontes nitrogenadas que apresentam menores perdas de N por volatilização. Vários estudos têm sido realizados na busca de fertilizantes com eficiência aumentada (do inglês Enhanced-Efficiency Fertilizers) e, hoje, já existem alguns produtos consagrados para utilização em nichos de mercado ou produtos com utilização em expansão, embora outros se mostrem em desuso em função de algumas características negativas (CANTARELLA, 2007). Algumas destas substâncias já estão sendo bastante usadas na cafeicultura capixaba sem, no entanto, estudos aprofundados dos benefícios e malefícios ecológicos e econômicos.

## **1.2. Importância do café Conilon para o Estado do Espírito Santo**

O Brasil é o maior produtor mundial de café, com aproximadamente 50 milhões de sacas produzidas na safra 2011/2012 (Conab, 2012). Deste total, 12,53



milhões de sacas são de *Coffea canephora* o que torna o país o segundo maior produtor mundial de café desta espécie, perdendo apenas para o Vietnã.

O Estado do Espírito Santo é o maior produtor brasileiro de Conilon (CONAB, 2012). Seu parque cafeeiro de Conilon estende-se por uma área superior a 285 mil ha, sendo constituído, aproximadamente, por 561 milhões de plantas. O Conilon está presente em 65 dos 78 municípios do Espírito Santo, concentrados principalmente nos municípios do norte do estado, sendo cultivado em cerca de 40 mil unidades produtivas envolvendo mais de 200 mil trabalhadores diretamente nas lavouras, que são conduzidas, predominantemente, em regime de economia familiar, inclusive com a partição de meeiros (FASSIO ; SILVA, 2007).

Com isso, o café Conilon, hoje no estado do Espírito Santo, não é só fonte de renda para milhares de famílias, mas também forma de fixação do homem no campo como, sobretudo, fonte permanente de distribuição de renda e bem-estar social no campo.

### **1.3. Adubação Nitrogenada do Cafeeiro Conilon**

O nitrogênio é o nutriente mais acumulado pelo cafeeiro Conilon, com percentual de 38% do total de macronutrientes distribuídos entre os diversos órgãos. Uma planta adulta, com seis anos de idade, acumula cerca de 250g planta<sup>-1</sup> de N, o que equivale à imobilização de 554 kg ha<sup>-1</sup> de N. Do total de N acumulado, aproximadamente 70,7g (29%) são alocados nas folhas; 60,5g (24%) no tronco + ramos ortotróficos; 49,6g (20%) nas raízes; 43,2g (17%) nos frutos e 25,5 g (10%) nos ramos plagiotróficos (BRAGANÇA et al., 2008).

O teor de nitrogênio no tecido foliar apresenta diferentes valores de acordo com a época do ano, sendo os menores valores observados no período frio e seco (abril a agosto) e os maiores valores encontrados nos meses quentes (outubro a janeiro) (BRAGANÇA, 2005). Por essa razão, e por serem os meses quentes aqueles em que ocorrem as maiores taxas de crescimento, tem sido recomendada a realização da adubação nitrogenada nas épocas quentes do ano.

A adubação de plantio do cafeeiro Conilon deve ser feita, de maneira geral, com 10 L de esterco de curral ou 3 L de esterco de frango. Após o pegamento da muda devem-se realizar três aplicações de nitrogênio em cobertura na dose de 5 g planta<sup>-1</sup> de N a cada mês ou três aplicações durante o período chuvoso utilizando 10

g planta<sup>-1</sup> aplicação<sup>-1</sup> de N. No segundo ano, durante o período de formação, devem-se proceder três aplicações durante o período chuvoso utilizando 20 g planta<sup>-1</sup> aplicação<sup>-1</sup> de N e, uma vez em produção, as plantas devem ser adubadas em função da produção esperada, sendo esta variável de 200 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para expectativa de <20sc ha<sup>-1</sup>, até 620 kg ha<sup>-1</sup> para expectativa de >170sc ha<sup>-1</sup> (PREZOTTI et al., 2007). Estes autores sugerem ainda que a adubação seja dividida em, no mínimo, três parcelas e aplicada durante o período chuvoso (floração, chumbinho e granação).

Em contradição a esta recomendação, Bragança et al. (2009) em estudo com doses e combinação dos nutrientes NPK, sugerem que a dose recomendada de nitrogênio, com perspectiva de produtividade em torno de 50 a 55 sacas por hectare, fica entre 109 a 170 kg N ha<sup>-1</sup> sendo, portanto, inferior às doses normalmente recomendadas para o cafeeiro Conilon.

As recomendações de adubação são, muitas vezes, contraditórias, mas, servem de referencial para o estabelecimento de um programa de manejo de adubação. Recomenda-se que a determinação da quantidade, forma e época de aplicação, seja estabelecida na própria região, para cada lavoura ou talhão, levando em consideração as análises do solo e da planta, variedade utilizada, condições edafoclimáticas entre outros.

#### 1.4. Fontes de Nitrogênio

No Brasil, a uréia, o sulfato de amônio e o nitrato de amônio abrangem os adubos nitrogenados mais utilizados. Como características comuns apresentam alta solubilidade em água e são prontamente disponíveis para as plantas. O uso de mistura entre fontes, em determinadas condições, também é empregado para tornar o aproveitamento do nitrogênio pela cultura mais viável.

O sulfato de amônio apresenta como vantagens sua baixa higroscopicidade, boas propriedades físicas, estabilidade química e oferta de enxofre (24%). Como desvantagem, apresenta, no solo, uma reação fortemente ácida e possui apenas 21% de N, aumentando o custo de aplicação e transporte. Dessa forma, o custo por unidade de N acaba sendo maior em relação à uréia (BYRNES, 2000).

O nitrato de amônio contém ao mesmo tempo duas formas de nitrogênio, a nítrica (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e a amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), totalizando 32% de nitrogênio. Entretanto, este

fertilizante tem regulamentações e restrições crescentes quanto à fabricação, estocagem e transporte devido à possibilidade de seu emprego como explosivo, que pode afetar sua utilização na agricultura (RAIJ, 1991).

Fertilizantes nitrogenados contendo N amoniacal (sulfato de amônio e nitrato de amônio) aplicados em solos ácidos (pH inferior a 7,0) não sofrem perdas por volatilização de nitrogênio na forma de amônia ( $N-NH_3$ ), mesmo quando aplicados sobre restos de cultura, pois não possuem características de aumentar o pH no local onde são aplicados. Vale ressaltar que no Brasil a maioria dos solos apresenta reação ácida e também, por isso, as perdas com tais fertilizantes são pouco relevantes (TERMAN et al., 1979). CANTARELLA et al. (1999) relatam que não houve perdas por volatilização na utilização do nitrato de amônio e FRENEY et al. (1992) constataram perdas de 1,8% do sulfato de amônio aplicado em cana-de-açúcar, em cobertura.

A uréia é caracterizada como um dos fertilizantes sólidos granulados de maior concentração de N (45%) na forma amídica. Como vantagem da utilização da uréia, pode-se citar o baixo custo de transporte, uma vez que apresenta alta concentração de N, alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes. Como desvantagem, possui elevada higroscopicidade e maior susceptibilidade à volatilização. Degradação e dissolução dos grânulos aplicados ao solo ocorrem na presença de umidade (RAIJ, 1991).

A uréia, que responde por 60% dos fertilizantes nitrogenados empregados na agricultura brasileira, apresenta limitações quanto à aplicação superficial, devido à possibilidade de perdas por volatilização de  $NH_3$ . A reação inicial pode levar o pH do solo próximo de 9 nas imediações dos grânulos desse fertilizante, intensificando a volatilização de  $NH_3$  (OVERREIN ; MOE, 1967). A prática de incorporação de fontes nitrogenadas mais susceptíveis às perdas de amônia possibilita considerável redução na volatilização (CANTARELLA et al., 1999). Camargo (1989) não observou perdas de amônia provenientes da uréia e aquamônia quando aplicadas em sulcos, na profundidade de 25 cm. Assim, a aplicação da uréia em profundidade é fundamental para reduzir as perdas de  $N-NH_3$  por volatilização.

### 1.5. Perdas de Nitrogênio da Uréia

O Nitrogênio (N) é o nutriente mais limitante para a produção de culturas em todo o mundo e é também o fertilizante aplicado em maior quantidade (MALHI et al., 2001). Quando utilizado em quantidades excessivas ou condições desfavoráveis, o N pode ser perdido e, ao ser transferido para outro local ou ecossistema, converte-se em poluente de águas superficiais ou subterrâneas e da atmosfera (CANTARELLA, 2007).

A uréia é considerada como um dos mais importantes fertilizantes nitrogenados devido ao seu baixo custo relativo, à alta solubilidade em água e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Porém, esta fonte tem apresentado problemas com a aplicação na superfície do solo devido às perdas de N por volatilização de amônia decorrentes da ação da enzima urease (MALHI et al., 2001).

Ureases são enzimas que ocorrem amplamente na natureza. Elas são sintetizadas por numerosos organismos, inclusive plantas, bactérias, algas, fungos e invertebrados, e também ocorrem em solos como enzimas de solo. A uréia é o substrato prontamente disponível para a reação catalizada pela urease e, nos solos, ela pode ser derivada da excreção de urina de animais, decomposição de organismos e também da aplicação de fertilizantes. Assim, devido a sua ocorrência, a urease exerce importante papel no metabolismo global do nitrogênio na natureza (KRAJEWSKA, 2009). Esta enzima catalisa a hidrólise da uréia em amônia ( $\text{NH}_3$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (FATIBELLO-FILHO, 2002) na reação  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 = \text{NH}_3 + \text{CO}_2$  (MÉRIGOUT et al., 2008). Essa reação é de especial importância para a agricultura porque a amônia produzida a partir da uréia, aplicada aos solos como fertilizante, pode ser convertida a  $\text{NH}_4^+$  (FATIBELLO-FILHO, 2002) e ser absorvido pelas plantas ou seguir a rota de nitrificação para ser absorvido como  $\text{NO}_3^-$ , mas também está sujeita a ser perdida para atmosfera pelo processo de volatilização (KRAJEWSKA, 2009).

Avaliando as perdas de  $\text{N-NH}_3$  em função da temperatura, Hu et al. (2007) observaram que, a  $35^\circ\text{C}$ , as perdas após aplicação de 500, 1000 e 2000 mg N kg solo<sup>-1</sup>, foram aumentadas em 2, 5 e 3,5 vezes, respectivamente, quando comparadas às perdas à  $25^\circ\text{C}$ , mostrando não só a influência da temperatura como também das doses sobre o processo de volatilização. A influência da temperatura

sobre as perdas de  $\text{NH}_3$  indica que, em condições tropicais, o uso da uréia na fertilização nitrogenada alcança menor eficiência agrônômica quando comparado ao seu uso em regiões de clima subtropical ou temperado.

A aplicação de uréia em solos secos, com a ausência de chuvas, resulta em pouca dissolução e hidrólise da uréia. À medida que a umidade do solo aumenta a hidrólise também tende a aumentar e, com isso, a volatilização também aumenta (PRASERTSAK et al., 2001). No entanto, se houver precipitação que permita a incorporação da uréia junto ao solo, a volatilização tende a ser reduzida (PRASERTSAK et al., 2001; CANTARELLA et al., 2008) porque a amônia no interior do solo encontra barreiras para chegar até a superfície e ser perdida.

As maiores perdas de N por volatilização ocorrem dentro do intervalo de três dias após a aplicação (DUARTE et al. 2007) e, por isso, a entrada da água de irrigação após a aplicação de N, pode ser uma estratégia para incorporar a uréia ao solo, diminuindo as perdas e aumentando a eficiência da adubação, desde que o N permaneça acessível às plantas. No entanto, nem sempre se dispõe de irrigação ou pode-se contar com chuvas. Surgem então, como alternativa, os fertilizantes com eficiência aumentada.

### **1.6. Inibidores de urease**

Os inibidores de urease são substâncias que reduzem a velocidade de conversão de uréia –  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , para  $\text{NH}_3$ , permitindo maior eluviação da uréia reduzindo a concentração de  $\text{NH}_3$  na superfície do solo, o que, conseqüentemente, reduz as perdas por volatilização (MALHI et al., 2001).

Uma formulação comercial está disponível no mercado para misturar à uréia previamente fabricada. O inibidor ocupa o local de atuação da urease e inativa a enzima (MOBLEY ; HAUSINGER, 1989) e, assim, retarda o início e reduz o grau de velocidade de volatilização de  $\text{N-NH}_3$ . O atraso na hidrólise reduz a concentração de  $\text{N-NH}_3$  presente na superfície do solo, diminui o potencial de volatilização de  $\text{N-NH}_3$  e permite o deslocamento da uréia para horizontes mais profundos do solo (CHRISTIANSON et al., 1990). Vale ressaltar que o N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) não tem mostrado efeito sobre as propriedades biológicas do solo (BANERJEE et al., 1999), além de ser eficiente em concentrações baixas (WATSON et al., 1994).

Ao prevenir a rápida hidrólise, os inibidores aumentam as chances de que chuvas, irrigação ou operações mecânicas incorporem a uréia ao solo. Além disso, há uma redução no pico de alcalinização, permitindo maior tempo para o deslocamento do N-NH<sub>3</sub> a horizontes mais profundos do solo e a redução das perdas gasosas. Entre os produtos testados como inibidor da urease, o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) é o que vem obtendo os melhores resultados (BREMNER ; CHAY, 1986; SCHLEGEL et al., 1986; BEYROUTY et al., 1988; BRONSON et al., 1989; WATSON, 2000).

Resultados obtidos em condições controladas de laboratório indicam redução da atividade da urease com o aumento da concentração do NBPT aplicado com uréia (CARMONA et al., 1990). CHRISTIANSON et al. (1990) observaram 68% de inibição na hidrólise da uréia com 0,01 g de NBPT por kg de uréia e 1,5 a 3 vezes menos perdas de N-NH<sub>3</sub> quando o valor foi aumentado para 1g kg<sup>-1</sup>.

Outro estudo em laboratório, realizado por VITTORI ANTISARI (1996), evidenciou relação inversa entre a concentração do inibidor da urease (NBPT) e a velocidade de hidrólise da uréia, volatilização de N-NH<sub>3</sub> e mineralização de N. GIOACCHINI et al. (2002), ao estudarem o efeito da aplicação da uréia em solo com inibidor da urease (NBPT) e inibidor da nitrificação (DCD), compararam três tratamentos: somente uréia (controle), uréia + NBPT; uréia + NBPT + DCD. A menor perda de N-NH<sub>3</sub> por volatilização foi observada na presença do NBPT em comparação ao controle e a presença de DCD não implicou em redução adicional na volatilização de N-NH<sub>3</sub>; ao contrário, proporcionou maior valor médio em comparação à adição exclusiva de NBPT.

Estudos também foram conduzidos em dois solos para determinar a eficiência do NBPT em função da dose aplicada e da textura do solo. Aplicou-se a uréia (100 kg ha<sup>-1</sup> de N) e doses de NBPT iguais a 0; 0,05; 0,10; 0,15% m/m. As perdas de N-NH<sub>3</sub> foram maiores na ordem 0%>0,05%>0,10%>0,15%, havendo uma redução de perdas de 28% a 88% de N-NH<sub>3</sub> por volatilização. As perdas foram maiores em solo arenoso (RAWLUK et al., 2001).

A eficiência de uso de uréia tratada com NBPT pode ser melhor determinada com o uso de fertilizantes marcados com o isótopo estável <sup>15</sup>N, o que deve ser importante na avaliação do NBPT nas condições brasileiras, visando o aumento da eficiência do uso do N da uréia para culturas de importância econômica. Devem-se interligar as alternativas de adubação nitrogenada da soqueira colhida sem despalha

com os riscos potenciais de perdas de  $N-NH_3$  por volatilização. Em solos ácidos, fontes de N tais como nitrato de amônio e sulfato de amônio são preferíveis à uréia para aplicação superficial em cana-de-açúcar, pois sofrem menores perdas de  $N-NH_3$  por volatilização (CANTARELLA et al., 2001; VITTI et al., 2002; COSTA et al., 2003).

Entretanto, a uréia é o fertilizante nitrogenado mais barato por unidade de N e dominante no mercado brasileiro. Ao utilizar a uréia, devem-se minimizar as perdas de  $N-NH_3$  por volatilização através da incorporação ao solo e a medida mais barata para tal procedimento seria realizá-la pela ação de chuvas. O inibidor da urease retarda a hidrólise da uréia e permite que o fertilizante permaneça por mais tempo na superfície do solo à espera de uma chuva, para posterior incorporação ao solo.

Contin (2007), avaliando volatilização nas Usinas de São Martinho (Pradópolis - SP) e São Luis (Santa Rita do Passa Quatro - SP), utilizando fontes de N proveniente do sulfato de amônio (SA), uréia comum (UR); e uréia recoberta com NBPT antes da adubação (UR+NBPT, 2 mL de produto comercial Agrotain, contendo 25% de NBPT por quilograma de uréia, correspondendo a 530 mg de NBPT por quilograma de uréia), concluiu que os tratamentos fertilizados com sulfato de amônio ( $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e testemunhas (parcela sem aplicação de N), tanto no experimento instalado na Usina São Martinho quanto no experimento instalado na Usina São Luis, não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram perdas de  $N-NH_3$  por volatilização próxima de zero.

A baixa volatilização encontrada no tratamento adubado com sulfato de amônio pode ser explicada pelo fato deste não ser uma fonte de N sujeita a perda por volatilização de  $N-NH_3$  quando aplicados em solos com pH inferior a 7 (CANTARELLA, 1998). Porém, condição de solo muito seco antes da instalação do experimento na Usina São Martinho resultou em baixas perdas até o 5º dia, após o que ocorreram chuvas de pequena intensidade (1 e 8 mm), as quais provavelmente não foram suficientes para incorporar a uréia ao solo, mas foram suficientes para estimular a hidrólise da uréia e aumentar as perdas de  $NH_3$ , obtendo-se o pico de perda no 8º dia. Em função de um novo período sem chuvas, a taxa de volatilização voltou a decrescer. A ocorrência de chuvas (15 e 2 mm) próximas ao 21º dia possibilitou um novo pico de perda, porém, menos acentuado. Observou-se que o inibidor reduziu a velocidade de volatilização de  $NH_3$ , uma vez que o tratamento

UR+NBPT teve o pico de perda significativamente menor e retardado por dois dias quando comparado à uréia.

As perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização aumentaram gradativamente; no 8º dia, as parcelas tratadas com UR apresentaram perdas cumulativas de 16% do total de N aplicado, enquanto que para a UR+NBPT as perdas foram de 5,9%. Os resultados de perdas entre estes tratamentos diferiram estatisticamente somente até o 21º dia (23,3 e 16,6%; respectivamente); ao final do experimento (43º dia) as perdas entre UR e UR+NBPT foram de 25,1 e 21,3%, respectivamente. Embora o inibidor da urease tenha causado uma redução efetiva nas perdas de  $\text{NH}_3$  até o 4º ou 6º dia após a adubação provavelmente por controlar a hidrólise da uréia, a baixa ocorrência de chuvas no início do experimento (9 mm) não foi suficiente para a incorporação dos fertilizantes ao solo.

Na área experimental da Usina São Luis o pico de perda de  $\text{NH}_3$  para UR ocorreu no 4º dia e foi mais acentuado quando comparado à UR+NBPT (Figura 4). Entretanto, as perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização da UR foram pequenas. Ocorrências de chuvas de 33 e 37 mm no 1º e 3º dias após a instalação do experimento provavelmente possibilitaram a incorporação das fontes amídicas ao solo, e por consequência menores perdas de  $\text{NH}_3$  por volatilização. O volume de chuva foi suficiente para incorporar a UR+NBPT no período de efetiva inibição, por isso as perdas de  $\text{NH}_3$  foram insignificantes. No 6º dia, as perdas cumulativas de  $\text{NH}_3$  para UR e UR+NBPT foram de 6,9% e 1,4% e, ao final do experimento (20º dia) de 7,2 e 1,6%, respectivamente.

Trabalhos realizados por Cantarella et al. (2008) com diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados mostram que, quando ocorreu chuvas de 2,6 mm no quinto dia após a fertilização, provavelmente desencadeou a hidrólise da uréia e, portanto, a volatilização de  $\text{NH}_3$ . Chuvas de baixa intensidade de 1,4 mm aos 25 dias e outra de 7,2 mm aos 30 dias após fertilização causou um aumento adicional ligeiro de perdas de  $\text{NH}_3$ , mas parece que, neste momento, o potencial de perdas já era pequeno. A uréia tratada com NBPT apenas começou a ter perdas consideráveis por volatilização aos sete dias após aplicação de fertilizantes. A volatilização procedeu a um ritmo lento até aproximadamente o dia 35 e depois diminuiu. No final do experimento em Iracemópolis - SP, as perdas de  $\text{N-NH}_3$  a partir nitrato de amônio nas parcelas tratadas foram insignificantes (0,26% do N aplicado), mas atingiu 25% e 15,2% do N aplicado quando se utilizou uréia e uréia com NBPT, respectivamente.



Perdas de volatilização medido após 20 h da aplicação de fertilizante foram desprezíveis, indicando que pouco hidrólise da uréia ocorreu nesse intervalo. No entanto, no segundo dia após a aplicação de N, as perdas de  $\text{NH}_3$  com uréia atingiu 2,5% do N adicionado e atingiu o pico na quarto dia 3,5% do N aplicado. A 13,8 mm de precipitação não foi suficiente para incorporar a maior parte do uréia no solo, mas pode ter causado uma diminuição nas perdas volatilização. Precipitações ou irrigações de 10 a 20 mm é considerado suficiente para parar ou reduzir drasticamente a volatilização de  $\text{NH}_3$ , quando a uréia é aplicada na superfície do solo nu (TERMAN, 1979; HARGROVE, 1988).

Freney et al. (1991) observaram que mais de 16 mm de precipitação foram necessárias para causar redução da volatilização  $\text{NH}_3$  enquanto que Calcino ; Burgess (1995) concluiu que 23 milímetros não foram suficientes para dissolver toda a uréia e incorporá-la no solo. No Brasil, Oliveira et al. (1999) observaram que havia ainda algumas perdas de  $\text{NH}_3$ , depois de 38 mm de chuva.

Trabalhos de Cantarella et al. (2008), em Araras - SP, pequenas quantidades de chuva caíram em subseqüentes dias, mas as perdas volatilização só parou quando uma chuva de 49 mm ocorrido no 12º dia de experimentação. As perdas acumuladas de  $\text{NH}_3$  atingiram cerca de 12% do N aplicado com uréia. Para utilização de uréia com NBPT, as perdas por volatilização começou no quarto dia e continuaram lentamente até que os 49 mm de precipitação ocorreu. A hidrólise gradual causa taxas de perda relativamente baixo, em oposição ao de uréia não tratada que tendem a ter volatilização concentrada em um curto período de tempo devido ao quebrar o baixo jejum da molécula de uréia. Perdas acumulativas de  $\text{NH}_3$  com uréia tratada com NBPT atingiu 7% do N aplicada. O mesmo padrão foi observado nos cinco outros experimentos com  $\text{NH}_3$  e volatilização a quantidade total de N perdido é fortemente dependente sobre o clima.

O NBPT pode ser uma alternativa viável para minimização das perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  (MALHI et al. 2001), mas a sua eficiência ainda não foi comprovada para a maioria das culturas e condições brasileiras havendo poucos estudos e, como conseqüência, utilização empírica do produto.

### 1.7. Produtos Acidificantes

O  $\text{NH}_3$  oriundo da uréia reage com o  $\text{H}^+$  do solo formando o íon  $\text{NH}_4^+$  que não é perdido por volatilização. Portanto, a uréia quando aplicada ao solo consome prótons e, com isso, eleva o pH do solo na região próxima ao grânulo, assim, a volatilização de  $\text{NH}_3$  está sujeita a acontecer mesmo em solos ácidos. Por isso, reduções de perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  de uréia aplicada ao solo têm sido conseguidas com a adição de compostos acidificantes (CANTARELLA, 2007).

As substâncias utilizadas incluem sulfato de amônio (Vitti et al., 2002; Villas Bôas et al., 2005), o ácido fosfórico, ácido bórico, cloreto de amônio, nitrato de amônio (CANTARELLA, 2007).

O uso de aditivos de uréia contendo os elementos Boro e, ou Cobre pode ser uma alternativa interessante, pois, apresentam potencial de redução da volatilização de amônia, e são também nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas. No entanto, a eficiência destes nutrientes como redutores da volatilização, bem como seus efeitos residuais no ambiente (planta e solo) carecem ainda de estudos, no que se refere à cultura do cafeeiro Conilon.

### 1.8. Eficácia do Nitrogênio

Ao se avaliar a eficácia de nitrogênio, é importante levar em conta o fato de que a planta está, na realidade, em competição com a população microbiana do solo. Isto é especialmente verdade em solos nos quais a matéria orgânica está se acumulando.

Pilbeam (1996) analisou dados de experimentos nos quais os fertilizantes marcados com  $^{15}\text{N}$ , contendo N em diferentes formas, eram aplicados em diferentes fases de crescimento de trigo de sequeiro, cultivado em diferentes locais em todo o mundo. As proporções de nitrogênio absorvidas pelas culturas e no solo variavam amplamente em relação às diferenças em índices pluviométricos e evaporação entre os diferentes locais, mas a proporção de  $^{15}\text{N}$  marcado que não foi detectada, e presumivelmente se perdeu do sistema cultura/solo, foi largamente independente das variações climáticas. As perdas de N que não puderam ser explicadas variaram de 10 a 30%, com uma média de 20%.

Johnston (1997) relatou que, em experimentos com  $^{15}\text{N}$  na Estação Experimental de Rothamsted, na Inglaterra, aproximadamente 20% do N aplicado tinham sido incorporados à matéria orgânica do solo entre a aplicação e a colheita. O nitrogênio incorporado ao solo como matéria orgânica pode ser subsequente mineralizado e tornar-se disponível para as culturas posteriores. E como não é fácil prever a quantidade e o prazo em que o nitrogênio orgânico é mineralizado é difícil de fazer recomendações precisas para aplicação de fertilizantes nitrogenados. Embora 50 a 70% do nitrogênio aplicado possam ser absorvidos pelas plantas sob condições controladas nas estações experimentais, na prática, as perdas podem ser muito maiores.

## **2. CAPÍTULOS**

## **2.1. Volatilização de NH<sub>3</sub> proveniente de diferentes fontes nitrogenadas com eficiência aumentada na cultura do *Coffea canephora***

### **Resumo**

Objetivou-se determinar as perdas de nitrogênio (N), por volatilização de amônia, de 'uréias com eficiências aumentadas' e o desempenho produtivo de plantas de cafeeiro Conilon manejadas com tais uréias. O experimento foi instalado em outubro de 2010 na cidade de Nova Venécia - ES em uma lavoura de café Conilon cultivar 'Vitória INCAPER 8142'. Foram avaliadas cinco fontes de adubos nitrogenados: T1= uréia perolada comum (45% N) - forma comumente encontrada no mercado; T2= Uréia (45% N) + NBPT - (Super N<sup>®</sup>); T3= uréia (44,6% N) + 0,15% de Cu<sup>2+</sup> + 0,4% de B - (Nitro Mais<sup>®</sup>); T4= uréia (37% N) + enxofre (17%) - (Nitro Gold<sup>®</sup>); e T5= nitrato de amônio (34% N). Os tratamentos T2, T3 e T4 são considerados com "eficiência aumentada". Foram instalados coletores de amônia, em cada parcela experimental, imediatamente após a aplicação dos fertilizantes. As esponjas coletoras de amônia foram trocadas a cada 120 h (5 dias), até 360 h (15 dias), coletando-se, portanto em períodos. O nitrato de amônio foi à fonte de nitrogênio que obteve menor perda de nitrogênio por volatilização, entre as demais fontes, em todas as três avaliações. A uréia + enxofre e a uréia perolada comum foram às fontes de nitrogênio que apresentaram maior perda de nitrogênio

volatilização na segunda avaliação, pois houve pouca precipitação logo após a aplicação dos tratamentos, não sendo suficiente para dissolver e incorporar os adubos. Em geral a uréia + NBPT e a uréia +  $\text{Cu}^{2+}$  e B apresentaram as menores perdas por volatilização em relação aos adubos com “eficiência aumentada”. As diferentes fontes de nitrogênio não promoveram diferença significativa nas produções de frutos das safras 2011 e 2012.

**Termos para indexação:** Perdas de amônia, nitrogênio, café Conilon.

### Abstract

This study aimed to determine the losses of nitrogen (N), by ammonia volatilization from 'ureas with increased efficiencies' performance and productive coffee plants Conilon handled with such ureas. The experiment was installed in October 2010 in the city of Nova Venezia - ES on a coffee plantation Conilon cultivar 'Victoria INCAPER 8142'. We evaluated five sources of nitrogen fertilizers: T1 = urea pearly common (45% N) - so commonly found in the market; T2 = urea (45% N) + NBPT - (Super N ®), T3 = urea (44.6% N) 0,15% of  $\text{Cu}^{2+}$  and 0,4 % B - (More Nitro ®); T4 = urea (37% N) + sulfur (17%) - (Nitro Gold ®) and T5 = ammonium nitrate (34% N). The treatments T2, T3 and T4 are considered to "increased efficiency". This device was installed ammonia in each plot immediately after fertilizer application. The sponges collecting ammonia were changed every 120 hours (5 days), up to 360 h (15 days), collecting, so in periods. The ammonium nitrate was the nitrogen source that had lower nitrogen loss through volatilization, among other sources, in all three

assessments. The urea and urea + sulfur pearly were common sources of nitrogen that had higher nitrogen volatilization loss in the second evaluation because there was little rainfall shortly after application of the treatments, it is not sufficient to dissolve and incorporate fertilizers. In general, urea and urea + NBPT +  $\text{Cu}^{2+}$  and B had the lowest volatility losses in relation to fertilizers with "increased efficiency". The different nitrogen sources did not cause significant difference in yield during the 2011 and 2012 vintages.

**Indexed terms:** Ammonia losses, nitrogen, coffee Conilon.

## Introdução

O café Conilon tem uma grande importância no Brasil, pois vem sendo o meio de renda para grande parte dos agricultores e também na fixação do homem no campo. O Brasil produz atualmente cerca de 38,6% de todo o *Coffea canephora* produzido no mundo correspondendo a 55,639 milhões de sacas beneficiadas (ICO, 2012), além de ser referência mundial em tecnologias de produção.

O cafeeiro (*Coffea* sp.) é um arbusto da família Rubiaceae e do gênero *Coffea* L., da qual se conhecem 103 espécies e se colhem sementes denominadas de café. Dentre as espécies conhecidas, o *Coffea canephora* apresenta potencial produtivo elevado, particularmente os germoplasmas obtidos a partir de seleções realizadas em programas de melhoramento genético e pela seleção massal. Os genótipos assim selecionados apresentam alta exigência nutricional e acumulam grande quantidade de nutrientes em seus grãos (BRAGANÇA et al., 2007).

O nitrogênio (N) é o nutriente mais acumulado pelo cafeeiro Conilon, com percentual de 38% do total de macronutrientes distribuídos entre os diversos órgãos. Uma planta adulta, com seis anos de idade, acumula cerca de 250g planta<sup>-1</sup> de N, o que equivale à imobilização de 554 kg ha<sup>-1</sup> de N. Do total de N acumulado, aproximadamente 70,7g (29%) são alocados nas folhas; 60,5g (24%) no tronco + ramos ortotróficos; 49,6g (20%) nas raízes; 43,2g (17%) nos frutos e 25,5 g (10%) nos ramos plagiotróficos (BRAGANÇA et al., 2008).

A uréia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil devido ao seu baixo custo relativo, alta solubilidade em água e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Porém, esta fonte tem apresentado problemas com a aplicação na superfície do solo devido às perdas de N por volatilização de amônia (NH<sub>3</sub>), decorrentes da ação da enzima urease (MALHIET al., 2001).

As perdas de amônia por volatilização aumentam com fatores que incrementam a evaporação, como altas temperaturas do ar e do solo e ventos fortes. Aplicando-se fertilizante sob condições de temperaturas amenas e ventos leves e com boa probabilidade de ocorrer chuvas após a aplicação de N, as perdas por volatilização tendem a ser reduzidas (MALHI et al., 2001). A volatilização ocorre, pois, a amônia oriunda da uréia reage com o H<sup>+</sup> do solo formando o íon NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que não é perdido por volatilização. Portanto, a uréia quando aplicada ao solo consome prótons e, com isso, eleva o pH do solo na região próxima ao grânulo, assim, a volatilização de NH<sub>3</sub> está sujeita a acontecer mesmo em solos ácidos (ROCHETTE et al., 2009).

Diversos pesquisadores têm trabalhado com o intuito de minimizar as perdas de amônia oriundas da fertilização com uréia. As alternativas incluem adequação da época de aplicação do N (DA ROS et al., 2005), manejo da umidade do solo (DUARTE et al., 2007), mistura da uréia com outros fertilizantes de características ácidas, com o objetivo de manejar as características químicas do solo (VITTI et al., 2007), e, mais recentemente, o uso de fertilizantes com eficiência aumentada, como aqueles revestidos com inibidores de urease (CHIEN et al., 2009).

Reduções de perdas por volatilização de NH<sub>3</sub> de uréia aplicada ao solo têm sido conseguidas com a adição de compostos acidificantes (CANTARELLA, 2008). As substâncias utilizadas incluem sulfato de amônio (VILLAS BOAS et al., 2005), o ácido fosfórico, ácido bórico, cloreto de amônio, nitrato de amônio (CANTARELLA ;



MARCELINO, 2007). Esses compostos diminuem o pH no entorno dos grânulos permitindo que o nitrogênio da uréia permaneça na forma do íon amônio.

O ácido bórico além de fornecer nutriente e de contribuir para redução da volatilização da amônia pela redução do pH, também atua como inibidor direto da enzima urease sendo esta inibição dada por competição com a uréia pelos sítios de ligação da enzima urease. Na reação, dois dos três átomos de oxigênio do ácido ( $H_3BO_3$ ) se ligam aos dois átomos de Ni que compõe a enzima urease inibindo sua ação (KRAJEWSKA, 2009). A utilização de ácido bórico, adicionado a uréia na concentração de 5% (v/v), foi responsável por redução de cerca de 50% da volatilização de amônia em solos de floresta (NOMMIK, 1973).

O cobre é outro micronutriente capaz de reduzir as perdas por volatilização de amônia. Em estudo de volatilização de amônia em camas de frango, o sulfato de cobre foi o mais efetivo em promover redução nos níveis de amônia volatilizada (62%), ficando a frente do sulfato de alumínio (53%) e do fosfato (43%) (MEDEIROS et al., 2008).

O NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) é uma substância inibidora da urease que vem se apresentando como uma das mais promissoras para reduzir as perdas de  $NH_3$  proveniente da uréia por volatilização (CANTARELLA et al., 2008; CHIEN et al., 2009; JUAN et al., 2009). O NBPT pode ser uma alternativa viável para minimização das perdas por volatilização de  $NH_3$  (Malhi et al. 2001), mas a sua eficácia assim como dos outros produtos utilizados no mercado tais como os acidificantes ou do grupo dos metais pesados, ainda não foram comprovados para a maioria das culturas e condições brasileiras havendo poucos estudos e, como consequência, utilização empírica do produto.

Desse modo objetivou-se determinar as perdas de nitrogênio, por volatilização de amônia, de 'uréias com eficiências aumentadas' e o desempenho produtivo de plantas de cafeeiro Conilon tratadas com tais produtos.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido no município de Nova Venécia – Espírito Santo - Brasil (18°43'43" S; 40°23'09"O; altitude de 89 m). O clima, conforme classificação de Köppen é Aw, tropical com estação seca. Utilizaram-se seis genótipos de *Coffea canephora* L. sendo, 01 V, 02 V, 03 V, 04 V, 05 V e 06 V que fazem parte da cultivar 'Vitória INCAPER 8142', com dois anos de idade, implantada no espaçamento de 3 X 1 m.

Os tratamentos foram cinco fontes de adubos nitrogenados: T1 = uréia perolada comum (45% N) - forma comumente encontrada no mercado; T2 = Uréia (45% N) + NBPT (Super N<sup>®</sup>); T3 = uréia (44,6% N) + 0,15% de Cu<sup>2+</sup> + 0,4% de B (Nitro Mais<sup>®</sup>); T4 = uréia (37% N) + enxofre (17%) (Nitro Gold<sup>®</sup>); e T5 = nitrato de amônio (34% N). Os tratamentos T2, T3 e T4 são considerados com "eficiência aumentada". O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com seis repetições – cada clone (linha de plantio) constituiu um bloco, e a parcela experimental foi constituída por três linhas com seis plantas, sendo que as quatro plantas centrais constituíram a parcela útil.

Instalou-se o experimento em outubro de 2010, e as taxas de volatilização foram determinadas em 3 épocas distintas: outubro e dezembro de 2011 e março de 2012, ou seja, o início das avaliações se deu um ano após ter-se iniciado as adubações.

A adubação e a calagem foram estabelecidas conforme a interpretação da análise do solo e a expectativa de produção de 100 sc ha<sup>-1</sup>, fornecida em seis etapas, sendo a primeira em junho, a segunda em agosto, a terceira em outubro, a quarta em dezembro, a quinta em março e a sexta em maio. O nitrogênio foi aplicado em dose equivalente a 120 gramas por planta em cada adubação do formulado 20-00-00. O potássio, o fósforo e os micronutrientes foram aplicados separadamente conforme recomendação de adubação.

Os coletores de amônia foram instalados, em cada parcela experimental, imediatamente após a aplicação do fertilizante. As esponjas coletoras de amônia com 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento foram trocadas a cada 120 h (5 dias), até 360 h (15 dias), coletando-se, portanto, três amostras.

As espumas restantes em cada frasco de 50 mL, foram transferidas para tubos de Erlenmeyer de 250 mL, com massa previamente conhecida (P1). Posteriormente, adicionaram-se 40 mL de água destilada a cada tubo. Os tubos com a solução e a lâmina de espuma foram levados a um agitador horizontal a 220 rpm. Após 20 min, os tubos foram removidos do agitador e pesados (P2). Uma alíquota de 5 a 10 mL, conforme a concentração de  $\text{NH}_4^+$  esperada, foi analisada por destilação a vapor e submetida a titulação posterior, para a quantificação do N amoniacal conforme Alves et al. (1994).

As esponjas foram acondicionadas e conduzidas ao Laboratório de Nutrição Mineral do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), onde foi quantificado o teor de nitrogênio volatilizado. Os resultados foram obtidos em miligramas de  $\text{NH}_4^+$  por área do coletor ( $\text{mg cm}^{-2}$ ) e transformados para  $\text{kg ha}^{-1}$ . A umidade do solo antes e após a avaliação foi igual em todos os tratamentos e em todas as épocas amostradas.

A colheita foi realizada no período de abril a julho de cada ano, de forma manual, colhendo-se um genótipo por vez, com 80% dos grãos maduros. Os grãos de cada parcela útil foram submetidos à secagem ao sol, até atingirem entre 11 e 12% de umidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

## **Resultados e Discussão**

As cinco fontes de N promoveram volatilizações de amônia semelhantes, na primeira avaliação (Tabela 1). Isso ocorreu provavelmente devido a precipitação de 20,8 mm ocorrida no mesmo dia da adubação, fazendo com que os fertilizantes fossem dissolvidos e incorporados no perfil do solo, diminuindo drasticamente a ação da enzima urease.

**Tabela 1.** Perdas por volatilização de amônia (kg ha<sup>-1</sup>) proveniente de diferentes fontes nitrogenadas aplicadas no solo, primeira avaliação

| TRATAMENTOS                        | Dias após a aplicação dos fertilizantes |        |        |        |
|------------------------------------|---|--------|--------|--------|
|                                    | 5                                       | 10     | 15     | TOTAL  |
| Uréia Perolada Comum               | 0,88 a                                  | 0,42 a | 0,45 a | 1,75 a |
| Uréia + NBPT                       | 0,37 a                                  | 0,63 a | 0,35 a | 1,35 a |
| Uréia + Cu <sup>2+</sup> e B       | 0,50 a                                  | 0,35 a | 0,50 a | 1,35 a |
| Uréia + enxofre                    | 0,72 a                                  | 0,33 a | 0,43 a | 1,48 a |
| Nitrato de amônio                  | 0,43 a                                  | 0,48 a | 0,42 a | 1,33 a |
| <b>Coeficiente de Variação (%)</b> | 74,15                                   | 69,90  | 51,39  | 41,09  |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Com relação à segunda avaliação, aos cinco dias após a aplicação, o nitrato de amônio foi a fonte que promoveu menor perda por volatilização, sendo seguida pela uréia + NBPT e este pela uréia + Cu<sup>2+</sup> e B. A uréia perolada e a uréia + enxofre foram as fontes que mais apresentaram perdas de N-NH<sub>3</sub> e não diferiram entre si. Aos dez e quinze dias, não houve diferença entre as fontes, exceto entre o nitrato de amônio e a uréia + enxofre aos quinze dias, em que a volatilização de amônia da uréia + enxofre foi maior que a do nitrato de amônio. As fontes uréia perolada e a uréia + enxofre não diferiram entre si e apresentaram a maior volatilização acumulada, sendo seguidas pelas fontes uréia + Cu<sup>2+</sup> e B e uréia + NBPT que também não diferiram entre si. O nitrato de amônio apresentou a menor perda por volatilização (Tabela 2).

A baixa taxa de volatilização de NH<sub>3</sub> da uréia + NBPT está relacionada ao NBPT que ocupa o local de atuação da urease, inativando a enzima, retardando o início da reação e reduzindo a velocidade de volatilização de NH<sub>3</sub> (KRAJEWSKA, 2009). A demora na hidrólise reduz a concentração de NH<sub>3</sub> presente na superfície do solo, diminuindo o potencial de volatilização de NH<sub>3</sub> e permitindo o deslocamento do nutriente para perfis mais profundos no solo. Já para os efeitos da uréia + Cu<sup>2+</sup> e B, a inibição da atividade esta relacionada ao íon Cu<sup>2+</sup> cuja inibição tem sido relatada como não competitiva, onde o íon se liga a grupos “tiol” da enzima, resultando na formação de mercaptides. Há também evidências que esses íons podem atuar por outras formas ainda pouco estudadas (KRAJEWSKA, 2009).

**Tabela 2.** Perdas por volatilização de amônia ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) provenientes de diferentes fontes nitrogenadas aplicados no solo, segunda avaliação

| TRATAMENTOS                                    | 5       | 10     | 15      | TOTAL   |
|--|---------|--------|---------|---------|
| <b>Uréia Perolada Comum</b>                    | 17,73 a | 2,62 a | 1,78 ab | 22,13 a |
| <b>Uréia + NBPT</b>                            | 10,10 c | 3,48 a | 1,80 ab | 15,38 b |
| <b>Uréia + <math>\text{Cu}^{2+}</math> e B</b> | 13,32 b | 3,33 a | 1,80 ab | 16,03 b |
| <b>Uréia + enxofre</b>                         | 19,57 a | 3,72 a | 2,70 a  | 25,98 a |
| <b>Nitrato de amônio</b>                       | 1,87 d  | 2,50 a | 1,43 b  | 5,80 c  |
| <b>Coeficiente de Variação (%)</b>             | 10,00   | 43,97  | 34,84   | 18,93   |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si através do teste Tukey (5%).

A terceira avaliação indicou que a uréia perolada comum apresentou as maiores perdas, sobretudo nos primeiros dias após a aplicação (Tabela 3). Segundo Duarte et al. (2007), as maiores perdas de N por volatilização ocorrem dentro do intervalo de três dias após a aplicação.

Dentro de cada tempo apenas aos 15 dias não ocorreu diferença significativa entre adubos, o que pode ser explicado pela redução da disponibilidade de moléculas de uréia para serem hidrolisadas. Aos cinco dias a uréia perolada comum apresentou as maiores perdas. Ainda neste tempo, as menores perdas foram verificadas quando se utilizou o adubo nitrato de amônio. As uréias com “eficiência aumentada” apresentaram menores volatilizações que a uréia perolada comum, mas, maiores perdas que o nitrato de amônio. Aos 10 dias, as maiores taxas de volatilização ocorreram nos adubos uréia perolada comum e na uréia + enxofre, que não diferiram entre si e também não foi verificada diferença uréia + NBPT, uréia +  $\text{Cu}^{2+}$  e B e nitrato de amônio (Tabela 3).

Estes resultados indicam que o NBPT pode ser uma alternativa viável para minimização das perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  conforme sugere Malhi et al. (2001). Além disso, o cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) que entra na categoria dos íons metais pesados ao lado do  $\text{Hg}^{2+}$  e do  $\text{Ag}^+$  (ZABORSKAET et al., 2004) também apresenta potencial para inibição da volatilização de amônia. Em estudo de volatilização de amônia em camas de frango, o sulfato de cobre foi o mais efetivo em promover redução nos

níveis de amônia volatilizada (62%), ficando a frente do sulfato de alumínio (53%) e do fosfato (43%) (MEDEIROS et al., 2008).

**Tabela 3.** Perdas por volatilização de amônia ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) proveniente de diferentes fontes nitrogenadas aplicados no solo, terceira avaliação.

| <b>Dias após a aplicação dos fertilizantes</b> |          |           |           |              |
|--|----------|-----------|-----------|--------------|
| <b>TRATAMENTOS</b>                             | <b>5</b> | <b>10</b> | <b>15</b> | <b>TOTAL</b> |
| <b>Uréia Perolada Comum</b>                    | 9,10 a   | 5.24 a    | 1.19 ab   | 15.53 a      |
| <b>Uréia + NBPT</b>                            | 6,57 b   | 2.76 bc   | 1.18 ab   | 10.52 b      |
| <b>Uréia + <math>\text{Cu}^{2+}</math> e B</b> | 4,42 c   | 2.39 bc   | 1.00 ab   | 7.22 bc      |
| <b>Uréia + enxofre</b>                         | 5,58 bc  | 4,28 ab   | 1.85 a    | 11.71 ab     |
| <b>Nitrato de amônio</b>                       | 1,75 d   | 1.31c     | 0.73 b    | 4.12 c       |
| <b>Coeficiente de Variação (%)</b>             | 34,51    | 36,92     | 52,96     | 27,55        |

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si através do teste Tukey (5%).

Ocorreu menor perda total de  $\text{N-NH}_3$  por volatilização na terceira avaliação quando se utilizou nitrato de amônio e a maior perda quando se utilizou uréia perolada comum e uréia + enxofre, que não diferiram significativamente entre si. Também não foi verificada diferença significativa nas perdas totais entre os tratamentos uréia + NBPT, uréia +  $\text{Cu}^{2+}$  e B e a uréia + enxofre (Tabela 3).

Em relação à produção de frutos do cafeeiro Conilon, não foi observado diferença significativa entre as cinco fontes de nitrogênio aplicadas (Tabela 4).

**Tabela 4:** Produção do cafeeiro Conilon das safras dos anos 2011 e 2012, expresso em  $\text{sc.ha}^{-1}$ , submetido a cinco fontes de adubos nitrogenados

| <b>Tratamento</b>                              | <b>Safra 2011</b> | <b>Safra 2012</b> |
|--|-------------------|-------------------|
| <b>Uréia Perolada Comum</b>                    | 49,2 a            | 102,1 a           |
| <b>Uréia + NBPT</b>                            | 51,4 a            | 102,7 a           |
| <b>Uréia + <math>\text{Cu}^{2+}</math> e B</b> | 49,1 a            | 99,1 a            |
| <b>Uréia + enxofre</b>                         | 47,4 a            | 85,1 a            |
| <b>Nitrato de amônio</b>                       | 50,2 a            | 104,7 a           |
| <b>Coeficiente de Variação (%)</b>             | 14,66             | 22,47 a           |

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si através do teste Tukey com 5% de probabilidade.

Trabalhos realizados no Brasil com NBPT adicionado à uréia aplicada em cana colhida sem despalha a fogo indicaram que o inibidor reduziu à metade as perdas de N-NH<sub>3</sub> por volatilização (CANTARELLA et al., 2002). Contudo, não houve diferença entre o rendimento de colmos obtidos com uréia e uréia tratada com NBPT. Os benefícios da mistura uréia + NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização da amônia e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de N-NH<sub>3</sub> será convertida em aumento de produção de culturas (HENDRICKSON, 1992; WATSON et al., 1998).

Malta et al. (2003) avaliando diferentes fontes e doses de nitrogênio, não observou diferenças significativas entre os tratamentos e nem interação entre esses dois fatores na produtividade de *Coffea arábica* cultivar Topázio (MG 1190) (Malta et al., 2003).

Como não houve diferenças na produção do cafeeiro em função das diferentes fontes de nitrogênio, a recomendação fica a critério econômico, ou seja, o produtor deve optar pela fonte de nitrogênio que apresenta o menor custo por quilo do nutriente aplicado na lavoura.

## Conclusão

O nitrato de amônio é a fonte de nitrogênio que obteve menor perda de nitrogênio por volatilização entre as demais fontes.

A uréia + enxofre e a uréia perolada comum foram às fontes de nitrogênio que apresentaram maior perda de nitrogênio por volatilização na segunda avaliação.

Em geral a uréia + NBPT e a uréia + Cu<sup>2+</sup> e B apresentaram as menores perdas por volatilização em relação aos adubos com “eficiência aumentada”.

Não houve diferença estatística nas produções das safras 2011 e 2012 entre as diferentes fontes de nitrogênio aplicadas na adubação do cafeeiro.

## Referências Bibliográficas

ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F. dos; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.E.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 449 - 470.

BRAGANÇA, S. M.; PREZOTTI, L. C.; LANI, J. A. Nutrição cafeeiro Conilon. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H. (Org.). **Café Conilon**. Vitória/ES: Incaper, 2007. p.1-702.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. H. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V.H.; LANI, J.A. Accumulation of Macronutrients for the Conilon Coffee Tree. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 31, n. 1, p.103-120, 2008.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; BOLONHEZI, D; ROSSETO, R., BORTOLETTO, N.; PEREIRA, J. C.; VILA, N. A. **Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) tiophosphoric acid triamide) on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions**. Technical report, Campinas, Instituto Agrônômico e Fundag, 2002.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; Contin, T. L. M.; Dias, F. L. F.; ROSSETO, R.; MARCELINO, R; Coimbra, R. B.; Quaggio, J. A. Volatilização de amônia a partir de uréia tratada com inibidor de urease aplicada sobre palha de cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, p. 397-401, 2008.

CANTARELLA, H. & MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. In: SIMPÓSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, v.1. p. 2-19, 2007.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. Newark, **Advances in Agronomy**, v.102, p.267-322, 2009.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acesso em 22/11/2012. Disponível em:

[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_09\\_06\\_10\\_10\\_21\\_boletim\\_cafe\\_-\\_setembro\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_10_10_21_boletim_cafe_-_setembro_2012.pdf).

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

DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; GRAUPE, F.A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.3, p.705-711, 2007.



EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

HENDRICKSON, L. L. Corn yield response to the urease inhibitor NBPT: five year summary. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 5, p. 131-137, 1992.

ICO – International Coffee Organization. Acesso em 05/01/2013. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/11297\\_relatorio\\_do\\_mercado\\_cafeeiro\\_dez\\_2012.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/11297_relatorio_do_mercado_cafeeiro_dez_2012.pdf).

KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v.59, p.9-21, 2009.

JUAN, Y. H.; CHEN, L. J.; WU, Z. J.; WANG, R. Kinetics of soil urease affected by urease inhibitors at contrasting moisture regimes. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutricion Vegetal**, Valdivia, v. 9, n. 2, p.125-133, 2009.

MALHI, S. S.; GRANT, C. A.; JOHNSTON, A. M.; GILL, K. S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v.60, p.101-122, 2001.

MALTA, M. R.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Composição Química, Produção e Qualidade do Café Fertilizado com Diferentes Fontes e Doses de Nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n. 6, p. 1246-1252, nov./dez., 2003.

MEDEIROS, R.; SANTOS, B. J. M.; FREITAS, M.; SILVA, O. A.; ALVES, F. F.; FERREIRA, E. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da úmida e na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2321-2326, 2008.

NOMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, v. 39, p. 309-318, 1973.

PRASERTSAK, P.; FRENEY, J. R.; SAFFIGNA, P. G.; DENMEAD, O. T.; PROVE, B.G. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Glasgow, v. 59, p. 65-73, 2001.

ROCHETTE, P.; MacDONALD, J. D.; ANGERS, D.; CHANTINI, M. H.; GASSER, M. & BERTRAND, N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 38, p. 1383-1390, 2009

VILLAS BÔAS, R. L.; BOARETTO, A. E.; GODOY, L. J. G.; FERNANDES, D. M. Recuperação do nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas do milho. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 263-272, 2005.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de

adubosnitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 491-498, 2007.

ZABORSKA, W.; KRAJEWSKA, B.; OLECH, Z. Heavy metal ions inhibition of jack bean urease: Potential for rapid contaminant probing. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, London, v. 19, n. 1, p. 65-69, 2004.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosporictriamide (NBTPT) for impruve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperate grassland. **Grass and forage science**. v. 53, p. 137-145, 1998.

## **2.2. Avaliação dos aspectos morfofisiológicos de *Coffea canephora* sob a influência de diferentes fontes nitrogenadas**

### **Resumo**

O elemento químico nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelo cafeeiro. Objetivou-se determinar as características morfofisiológicas em função de fontes nitrogenadas de 'uréias com eficiências aumentadas'. O experimento foi instalado em outubro de 2010 na cidade de Nova Venécia - ES em uma lavoura de café Conilon cultivar 'Vitória INCAPER 8142'. Foram avaliadas no experimento cinco fontes de adubos nitrogenados: T1= uréia perolada comum (45% N) - forma comumente encontrada no mercado; T2= uréia (45% N) + NBPT - (Super N<sup>®</sup>); T3= uréia (44,6% N) + 0,15% de Cu<sup>2+</sup> + 0,4% de B - (Nitro Mais<sup>®</sup>); T4= uréia (37% N) + enxofre (17%) - (Nitro Gold<sup>®</sup>); e T5= nitrato de amônio (34% N). Os tratamentos T2, T3 e T4 são considerados com "eficiência aumentada". Foram avaliados as características da fluorescência da clorofila *a*. As medições de clorofila determinadas momentos antes das adubações referentes às datas de 11/10/11, 28/12/11, 01/03/12 e 04/05/12 e 20 dias após cada uma destas. O crescimento de ramos foi avaliado mensalmente por marcação de dois grupos de ramos em crescimento escolhido ao acaso. Foram marcados quatro ramos plagiotrópicos por parcela no dia 05/08/2011 (1º grupo), sendo que esse grupo foi avaliado até o dia 13/04/2012. Constatou-se que valores de fluorescência máxima

da clorofila *a* não diferiram em nenhuma das épocas analisadas, propondo que as fontes nitrogenadas não alteraram a eficiência do fotossistema II. Os parâmetros que descrevem os fluxos específicos (fluxos por centro de reação do FSII) não sofreram diferenças significativas dentro de cada época avaliadas. Na primeira avaliação constatou-se valores mais elevados no fluxo de absorção por centro de reação (ABS/RC) e do fluxo de energia capturado por centro de reação (TR<sub>0</sub>/RC) no tratamento uréia (37% N) + enxofre (17%), sendo que (ABS/RC) não diferiu significativamente dos tratamentos uréia perolada comum e da uréia + Cu<sup>2+</sup> e B. Percebeu-se que os valores de Índice Relativo de Clorofila alternaram suas significâncias com relação aos tratamentos ao longo das datas de avaliação. Em relação ao crescimento dos três grupos de ramos não foi observado diferença significativa entre as fontes de adubos nitrogenados, na média de crescimento de ramos, em todas as avaliações realizadas. Presume-se que somente as fontes de N não foram responsáveis, sozinhas, pelas alterações do IRC, uma vez que existem outros fatores que afetam a absorção e as perdas por volatilização de amônia nos solos.

**Termos para indexação:** Características morfofisiológicas, nitrogênio, *Coffea canephora*.

### Abstract

The chemical element nitrogen (N) is the nutrient required in greatest quantity by coffee. The objective was to determine the morphological and physiological characteristics as a function of nitrogen sources of ureas with increased efficiencies. " The experiment was installed in October 2010 in the city of Nova Venezia - ES on a coffee plantation Conilon cultivar 'Victoria INCAPER 8142'. Were evaluated in this experiment five sources of nitrogen fertilizers: T1 = urea pearly common (45% N) - so commonly found in the market; T2 = urea (45% N) + NBPT - (Super N<sup>®</sup>), T3 = urea (44, 6% N) + 0.15% of Cu<sup>2+</sup> and 0.4% of B - (More Nitro<sup>®</sup>); T4 = urea (37% N) + sulfur (17%) - (Nitro Gold<sup>®</sup>) and T5 = Nitrate ammonia (34% N). The treatments T2, T3 and T4 are considered to "increased efficiency". We

evaluated the characteristics of chlorophyll fluorescence. Measurements of chlorophyll certain moments before fertilization concerning the dates of 11/10/11, 28/12/11, 01/03/12 and 04/05/12 and 20 days after each of these. The branch growth was evaluated monthly for marking groups of two branches growing randomly selected. Were scored four primary branches per plot on 08.05.2011 (1 group), and this group was evaluated until the day 13/04/2012. It was found that values of chlorophyll a fluorescence maximum did not differ in any of the times examined, suggesting that the nitrogen sources did not alter the efficiency of photosystem II. The parameters that describe the specific flows (flows for the PSII reaction center) suffered no significant differences within each periods. In the first assessment was observed in the higher flow rates of absorption per reaction center (ABS / RC) and the flow of energy captured per reaction center (TR0/RC) treating urea (37% N) + sulfur (17% ), and (ABS / RC) did not differ significantly from treatments pearly common urea and urea + Cu<sup>2+</sup> and B. It was noticed that the values of Relative Index of Chlorophyll alternated their significance with respect to treatments throughout the evaluation dates. Regarding the growth of three groups of branches no significant difference was observed between the sources of nitrogen fertilizers, the average growth of branches in all assessments. It is assumed that only the N sources were not responsible, alone, with changes to the IRC, since there are other factors that affect the absorption and volatilization losses of ammonia in soils.

**Indexed terms:** Morphophysiological characteristics, nitrogen, *Coffea canephora*.

## Introdução

O gênero *Coffea* é representado por pelo menos 103 espécies, no entanto o *C. arábica* e *C. canephora* são aqueles que se destacam comercialmente (DAVIS et al., 2006). A cultura do café, no Brasil, está presente em maior proporção principalmente nos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e São Paulo. Apresentou uma produção de 50,83 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado na safra de 2012 e estima para a safra de 2013, 48,57 milhões de sacas (CONAB, 2013).

O elemento químico nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pelo cafeeiro. O nitrogênio encontra-se no solo em formas variadas como: nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), óxido nítrico (NO), nitrogênio elementar ( $\text{N}_2$ ), como uréia, proteínas, aminoácidos livres, amins, açúcares, peptídeos, quitina, quitobiase, peptidoglicano, ácidos nucleicos, bases nitrogenadas, aminados e nos compostos orgânicos (MOREIRA e SIQUEIRA, 2002). Este nutriente participa da síntese de proteínas estruturais e enzimáticas, as quais são responsáveis pela síntese de outras proteínas e dos intermediários metabólicos e componentes da estrutura celular, como carboidratos, lipídios e pigmentos. Estes compostos constituem a estrutura da planta e são requeridos para o crescimento celular e dos órgãos, como os frutos (LEMAIRE et al., 1992; LAWLOR, 1995).

O crescimento vegetativo do cafeeiro é complexo, e a periodicidade estacional pode ser atribuída a diversos fatores, tais como a lixiviação de nitrato pelas chuvas, competição dos frutos por fotoassimilados, menor intensidade de luz e baixas temperaturas. Compreender as características sazonais do crescimento vegetativo em *Coffea canephora* é uma importante ferramenta na avaliação do estado fisiológico e no manejo da cultura.

Na cultura do cafeeiro, o uso de fertilizantes nitrogenados é um recurso eficaz para elevar a produtividade. A análise de resposta à adubação nitrogenada e a sua disponibilidade nas plantas, baseia-se em geral pelo crescimento e produção, ou pelo “status” de N presente nas folhas. Os tecidos das plantas do cafeeiro mostram o real estado nutricional no momento da avaliação. Dentre os órgãos da planta mais utilizados nessas amostragens, a folha é o de maior importância pelo fato de ser a sede do metabolismo e refletir bem na sua composição as mudanças

nutricionais (JÚNIOR, 2008). O processo fotossintético destaca-se nas plantas como força motriz para as reações que se processam em seu metabolismo, a unidade principal desse processo é a clorofila responsável pela conversão de energia luminosa em química nas plantas. A ausência de nitrogênio e clorofila significam que a planta não vai utilizar a luz do sol como fonte de energia para realizar suas funções essenciais como a absorção de nutrientes (REIS et al. 2006).

A utilização de parâmetros da fluorescência das clorofilas tem sido difundida, principalmente no estudo da capacidade fotossintética das plantas, por ser um método não-destrutivo que permite a análise qualitativa e quantitativa da absorção e o aproveitamento da energia luminosa (eficiência fotoquímica do fotossistema II – FV/FM) pelo aparelho fotossintético. Tal técnica tem permitido um aumento no conhecimento dos processos fotoquímicos e não-fotoquímicos que ocorrem na membrana dos tilacóides, além de possibilitar o estudo de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons (KRAUSE ; WEIS, 1991).

Segundo Carelli et al. (1996), a capacidade fotossintética das plantas é dependente do suprimento de nitrogênio. Uma considerável fração desse elemento encontra-se nas folhas, alocado nas proteínas envolvidas no processo fotossintético. Em adição, a fotossíntese depende de vários compostos nitrogenados, como enzimas e pigmentos fotossintéticos, para a produção dos compostos de carbono que compõem a parte aérea. Portanto, a capacidade fotossintética das plantas e o metabolismo do nitrogênio estão diretamente conectados. Apesar da importância do nitrogênio para a cultura do *Coffea canephora*, poucos são os estudos que correlacionam a atividade do nitrogênio à eficiência fotoquímica do fotossistema II.

Dessa forma objetivou-se realizar os estudos das alterações morfofisiológicas nas plantas de *Coffea canephora* tratadas com 'uréias com eficiências aumentadas'.

## Material e Métodos

Conduziu-se o experimento no município de Nova Venécia – Espírito Santo - Brasil (18°43'43" S; 40°23'09" O; altitude de 89 m). O clima, conforme classificação de Köppen, é Aw, tropical com estação seca. Utilizaram-se 6 genótipos de *Coffea canephora* sendo, 01 V, 02 V, 03 V, 04 V, 05 V e 06 V que fazem parte da cultivar 'Vitória INCAPER 8142', com dois anos de idade, implantada no espaçamento de 3 X 1 m. Foram avaliadas no experimento cinco fontes de adubos nitrogenados: T1= uréia perolada comum (45% N) - forma comumente encontrada no mercado; T2= Uréia (45% N) + NBPT (Super N<sup>®</sup>); T3= uréia (44,6% N) + 0,15% de Cu<sup>2+</sup> + 0,4% de B (Nitro Mais<sup>®</sup>); T4= uréia (37% N) + enxofre (17%) (Nitro Gold<sup>®</sup>); e T5= nitrato de amônio (34% N). Os tratamentos T2, T3 e T4 são considerados com "eficiência aumentada". Ressalta-se que as adubações foram inicializadas em outubro de 2010, conforme o manual de recomendação de adubação e calagem 5º Aproximação do Espírito Santo (PREZZOTI et al. 2007).

As medidas da cinética da fluorescência transiente da clorofila *a* foram analisadas em três épocas distintas, sendo nas datas 11/10/2011, 18/01/2012 e 27/03/12, pelo fluorômetro portátil HandyPEA (Hanstech, King's Lynn, Norkfolk, UK). Previamente às leituras, as folhas do terceiro ou quarto par de folhas a partir da ponta do ramo, foram adaptadas ao escuro utilizado clips foliares por 30 minutos, período para oxidação completa do sistema fotossintético. Em seguida, foi emitido um flash de luz, proporcionando um pulso de irradiância saturante de 3000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de fótons nas folhas, com duração de 1 s. Foram avaliados as características da fluorescência da clorofila: fluorescência inicial (F0), fluorescência máxima (FM), fluorescência variável (FV) e eficiência fotoquímica do FS II (FV/FM), ABS/RC = Fluxo de absorção por centro de reação; TR<sub>0</sub>/RC = Fluxo de energia capturado por centro de reação no t=0; ET<sub>0</sub>/RC = Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação no t=0; DI<sub>0</sub>/RC = Fluxo de energia dissipada por centro de reação no t=0.

As medições de clorofila foram realizadas com um Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila portátil CFL1030 marca Falker, momentos antes das adubações referentes às datas de 11/10/11, 28/12/11, 01/03/12 e 04/05/12 e 20 dias após cada uma destas. Ambos os dados das medições dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, quanto os parâmetros das medições de teor de clorofila obtidos, foram



submetidos à análise de variância e analisados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

O crescimento de ramos foi avaliado mensalmente por medição de três grupos de ramos em crescimento escolhido ao acaso, sendo quatro ramos plagiotrópicos por parcela. O primeiro grupo de ramos foram marcados e avaliados a partir das seguintes datas: 05/08/2011, 03/09/2011, 01/10/2011, 29/10/2011, 09/12/2011, 09/01/2012, 07/02/2012, 12/03/2012 e 13/04/2012, o segundo grupo a partir das seguintes datas: 09/12/2011, 09/01/2012, 07/02/2012, 12/03/2012, 12/05/2012, 19/06/2012 e 09/07/2012 e o terceiro grupo de ramos foram marcados a partir das seguintes datas: 12/04/2012, 12/05/2012, 16/06/2012 e 06/07/2012. O crescimento dos ramos ortotrópicos foi obtido medindo-se a partir da base do ramo plagiotrópico marcado. Os valores de crescimento de ramos foram avaliados pelo teste de regressão com o crescimento em função do tempo e compararam-se as médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

## **Resultados e Discussão**

Os dados de fluorescência inicial ( $F_0$ ) da primeira avaliação foram diferentes somente entre a uréia + enxofre e o nitrato de Amônio, sendo que ambos não diferiram estatisticamente dos demais tratamentos. Valores mais altos de fluorescência máxima (FM) foram encontrados para os tratamentos uréia perolada comum, uréia + NBPT e uréia + enxofre, diferindo estatisticamente das demais dentro da primeira avaliação.

Presume-se que a emissão da fluorescência inicial ( $F_0$ ), ocorre dentro do estágio rápido da fluorescência e representa a energia liberada pelas moléculas de clorofila *a* da antena do fotossistema II, antes dos elétrons migrarem para o centro de reação P 680 (PSII), sendo o componente mínimo do sinal da fluorescência (MATHIS; PALLOTIN, 1981). Dessa forma, é uma perda fotoquímica que se espera, não influenciável ou pouco influenciável pela presença ou não do N.

Os valores da eficiência fotoquímica do FS II (FV/FM), não diferiram em nenhuma das épocas analisadas, além de exibirem valores muito próximos do nível bom, que esta em torno de 0,83, propondo que as fontes nitrogenadas não alteraram a eficiência do fotossistema II (Tabela 1, 2 e 3). A razão FV/FM indica a eficiência de captura da energia de excitação pelos centros de reação abertos do Fotossistema II (FSII), ou seja, indica a probabilidade de um elétron, quando absorvido pelos pigmentos fotossintéticos do FSII, causar a redução da Quinona (Qa) (Baker, 1991; Krause e Weis, 1991), representando segundo Haehnel et al (1982), a eficiência quântica do transporte de elétron através do FII. As relações da fluorescência variável e a máxima é uma das mais representativas do estado fotoquímico das folhas ou mesmo indicador de estresses (ZANANDREA et al., 2006).

Na segunda e terceira avaliação, a fluorescência inicial ( $F_0$ ), a fluorescência máxima da clorofila *a* e a eficiência fotoquímica potencial do PSII não apresentaram diferenças mínimas significativas entre a segunda e terceira avaliação.

Os parâmetros que descrevem os fluxos específicos (fluxos por centro de reação do FSII) não sofreram grandes diferenças significativas dentro de cada época avaliadas. Na primeira avaliação constatou-se valores mais elevados no fluxo de absorção por centro de reação ( $ABS/RC$ ) e do fluxo de energia capturado por centro de reação ( $TR_0/RC$ ) no tratamento uréia + enxofre, sendo que ( $ABS/RC$ ) não diferiu significativamente dos tratamentos uréia perolada comum e uréia +  $Cu^{2+}$  e B (Tabela 1).

O fluxo de transporte de elétrons ( $ET_0/RC$ ),  $DI_0/RC$  = Fluxo de energia dissipada por centro de reação no  $t=0$ , não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das épocas avaliadas (Tabela 1).

O índice de performance total ( $PI(ABS)_{total}$ ) também não apresentou nenhuma diferença significativo dentro de cada época avaliada, indicando que as fontes nitrogenadas não causaram efeitos significativos entre si dentro de cada avaliação, propondo que as fontes não resultaram influência da perda de atividade FSII (Tabelas 1, 2 e 3).

**Tabela 1.** Primeira avaliação dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* em função de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados em *Coffea canephora*.

| PARÂMETROS           | Uréia<br>Perolada<br>Comum | Uréia +<br>NBPT | Uréia +<br>Cu <sup>2+</sup> e B | Uréia +<br>enxofre | Nitrato<br>de<br>Amônio | Coefficiente<br>de<br>variação<br>(%) |
|----------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| <b>F0</b>            | 669,8 ab                   | 667,0 ab        | 659,7 ab                        | 694,3 a            | 635,4 b                 | 7,76                                  |
| <b>FM</b>            | 3705 ab                    | 3690 ab         | 3583 b                          | 3895a              | 3539 b                  | 8,66                                  |
| <b>FV/FM</b>         | 0,81 a                     | 0,81 a          | 0,81 a                          | 0,82 a             | 0,82 a                  | 1,52                                  |
| <b>PI (ABS)total</b> | 3,04 ab                    | 3,04 ab         | 2,95 ab                         | 2,51 b             | 3,27 a                  | 22,48                                 |
| <b>ABS/RC</b>        | 1,69 ab                    | 1,68 b          | 1,70 ab                         | 1,80 a             | 1,66 b                  | 7,95                                  |
| <b>TR0/RC</b>        | 1,34 b                     | 1,33 b          | 1,34 b                          | 1,43 a             | 1,32 b                  | 6,75                                  |
| <b>ET0/RC</b>        | 0,74 a                     | 0,75 a          | 0,74 a                          | 0,75 a             | 0,75 a                  | 4,76                                  |
| <b>DI0/RC</b>        | 0,35 a                     | 0,34 a          | 0,35 a                          | 0,37 a             | 0,34 a                  | 14,04                                 |

\*Médias seguidas pela mesma letra na linha, em cada fator, não diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F0= Fluorescência inicial; FM= Fluorescência máxima; FV/FM= Eficiência fotoquímica do fotossistema II; PI (ABS)total= Índice de desempenho total; ABS/RC = Fluxo de absorção por centro de reação; TR<sub>0</sub>/RC = Fluxo de energia capturado por centro de reação no t=0; ET<sub>0</sub>/RC = Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação no t=0; DI<sub>0</sub>/RC = Fluxo de energia dissipada por centro de reação no t=0.

**Tabela 2.** Segunda avaliação dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* em função de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados em *Coffea canephora*.

| PARÂMETROS           | Uréia<br>Perolada<br>Comum | Uréia +<br>NBPT | Uréia +<br>Cu <sup>2+</sup> e<br>B | Uréia +<br>enxofre | Nitrato<br>de<br>Amônio | Coefficiente<br>de<br>variação<br>(%) |
|----------------------|----------------------------|-----------------|------------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| <b>F0</b>            | 697,3 a                    | 694,2 a         | 687,7 a                            | 699,3 a            | 700,2 a                 | 8,52                                  |
| <b>FM</b>            | 3249 a                     | 3311a           | 3347 a                             | 3232 a             | 3403 a                  | 13,50                                 |
| <b>FV/FM</b>         | 0,781 a                    | 0,788 a         | 0,789 a                            | 0,780 a            | 0,790 a                 | 4,16                                  |
| <b>PI (ABS)total</b> | 1,992 a                    | 2,098 a         | 2,216 a                            | 1,977 a            | 2,282 a                 | 41,34                                 |
| <b>ABS/RC</b>        | 1,987 a                    | 1,960 a         | 1,938 a                            | 2,018 a            | 1,901 a                 | 11,67                                 |
| <b>TR0/RC</b>        | 1,489 a                    | 1,488 a         | 1,463 a                            | 1,491 a            | 1,447 a                 | 8,12                                  |
| <b>ET0/RC</b>        | 0,799 a                    | 0,812 a         | 0,777 a                            | 0,775 a            | 0,793 a                 | 11,28                                 |
| <b>DI0/RC</b>        | 0,498 a                    | 0,472 a         | 0,474 a                            | 0,526 a            | 0,454 a                 | 26,41                                 |

\*Médias seguidas pela mesma letra na linha, em cada fator, não diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F0= Fluorescência inicial; FM= Fluorescência máxima; FV/FM= Eficiência fotoquímica do fotossistema II; PI (ABS)total= Índice de desempenho total; ABS/RC = Fluxo de absorção por centro de reação; TR<sub>0</sub>/RC = Fluxo de energia capturado por centro de reação no t=0; ET<sub>0</sub>/RC = Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação no t=0; DI<sub>0</sub>/RC = Fluxo de energia dissipada por centro de reação no t=0.

**Tabela 3.** Terceira avaliação dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* em função de diferentes fontes de fertilizantes nitrogenados em *Coffea canephora*.

| PARÂMETROS           | Uréia Perolada Comum | Uréia + NBPT | Uréia + Cu <sup>2+</sup> e B | Uréia + enxofre | Nitrato de Amônio | Coefficiente de variação (%) |
|----------------------|----------------------|--------------|------------------------------|-----------------|-------------------|------------------------------|
| <b>F0</b>            | 483,1 a              | 497,5 a      | 504,9 a                      | 509,3 a         | 503,0 a           | 7,76                         |
| <b>FM</b>            | 2748 a               | 2758 a       | 2881 a                       | 2766 a          | 2938 a            | 9,82                         |
| <b>FV/FM</b>         | 0,822 a              | 0,817 a      | 0,821 a                      | 0,812 a         | 0,826 a           | 3,33                         |
| <b>PI (ABS)total</b> | 3,570 a              | 2,945 a      | 3,424 a                      | 3,200 a         | 3,366 a           | 30,19                        |
| <b>ABS/RC</b>        | 1,871 a              | 2,006 a      | 1,947 a                      | 1,947 a         | 1,978 a           | 13,57                        |
| <b>TR0/RC</b>        | 1,484 a              | 1,564 a      | 1,530 a                      | 1,521 a         | 1,567 a           | 9,95                         |
| <b>ET0/RC</b>        | 0,888 a              | 0,871 a      | 0,899 a                      | 0,910 a         | 0,906 a           | 9,76                         |
| <b>DI0/RC</b>        | 0,386 a              | 0,441 a      | 0,417 a                      | 0,425 a         | 0,410 a           | 31,96                        |

\*Médias seguidas pela mesma letra na linha, em cada fator, não diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade. F0= Fluorescência inicial; FM= Fluorescência máxima; FV/FM= Eficiência fotoquímica do fotossistema II; PI (ABS)total= Índice de desempenho total; ABS/RC = Fluxo de absorção por centro de reação; TR<sub>0</sub>/RC = Fluxo de energia capturado por centro de reação no t=0; ET<sub>0</sub>/RC = Fluxo de transporte de elétrons por centro de reação no t=0; DI<sub>0</sub>/RC = Fluxo de energia dissipada por centro de reação no t=0.

Com relação ao Índice Relativo de Clorofila (IRC), não houve diferença estatística nas datas de medições (11/10/11), (28/12/11) e (04/05/12), o que indica que o efeito dos resíduos dos fertilizantes das adubações anteriores foi insuficiente para alterar significativamente o teor de N foliar (Tabela 4).

Na segunda data de amostragem (31/11/2011), os tratamentos apresentaram diferença entre si, ou seja, 20 dias após aplicação da adubação de N houve diferença na absorção deste em relação às fontes. A uréia perolada comum, a uréia Nitro Gold® e o nitrato de amônio obtiveram maior IRC. Isso poderia ser explicado, uma vez que, ocorreu precipitação de 143,8 mm a partir do dia 12/11/2011 até 31/11/2011 e de 202,6 mm em novembro, favorecendo-o com relação à solubilidade, assimilação e redução da volatilização.

**Tabela 4:** Valores médios dos Índices Relativos de Clorofila (IRC) observados em *Coffea canephora*. submetidos a cinco fontes de fertilizantes nitrogenados em função do tempo.

| TRAT.    | Uréia<br>Comum<br>Perolada | Uréia +<br>NBPT | Uréia +<br>Cu <sup>2+</sup> e B | Uréia +<br>enxofre | Nitrato<br>de<br>Amônio | Coefficiente<br>de<br>variação<br>(%) |
|----------|----------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 11/10/11 | 69,23 a                    | 67,35 a         | 68,41 a                         | 68,10 a            | 70,66 a                 | 9,18 %                                |
| 31/11/11 | 73,16 a                    | 70,56 b         | 70,58 b                         | 71,67 ab           | 72,28 ab                | 7,67 %                                |
| 28/12/11 | 62,91 a                    | 61,25 a         | 60,61 a                         | 64,83 a            | 64,69 a                 | 14,82 %                               |
| 17/01/12 | 71,31ab                    | 71,39 ab        | 68,76 b                         | 72,31 ab           | 73,37 a                 | 13,00 %                               |
| 01/03/12 | 66,29 ab                   | 62,96 b         | 64,43 ab                        | 66,58 a            | 65,25 ab                | 13,87 %                               |
| 20/03/12 | 66,19 abc                  | 62,47 c         | 65,19 bc                        | 67,16 ab           | 69,61 a                 | 15,69 %                               |
| 04/05/12 | 59,49 a                    | 55,81 a         | 56,42 a                         | 58,89 a            | 58,72 a                 | 16,98 %                               |
| 24/05/12 | 63,69 a                    | 61,50 ab        | 59,46 b                         | 64,89 a            | 63,97 a                 | 15,50 %                               |

\*Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. (\*) Datas referentes às aplicações de fertilizantes nitrogenados. <sup>(1)</sup>= Coeficiente de variação.

Nas datas (17/01/12) e (20/03/12), ou seja, quarta e sexta data referente às amostragens verificou-se que a fonte “Nitrato de Amônio” apresentou valores superiores de IRC em relação às demais, porém não diferindo estatisticamente. Isso pode ser explicado uma vez que as condições climáticas nestas datas de amostragem apresentaram baixos volumes de precipitação, atingindo valores de 253,4 mm no acumulado de janeiro a março de 2012, porém o acumulado da evapotranspiração de janeiro a 20/03/2011 chegou a 344,5 mm, condições propícias à volatilização, apresentando altas temperaturas máximas, média de 31,82 °C entre janeiro a março e umidade no solo o suficiente para ocasionar grandes perdas, o que contribuiu para o aumento das perdas de Nitrogênio por volatilização.

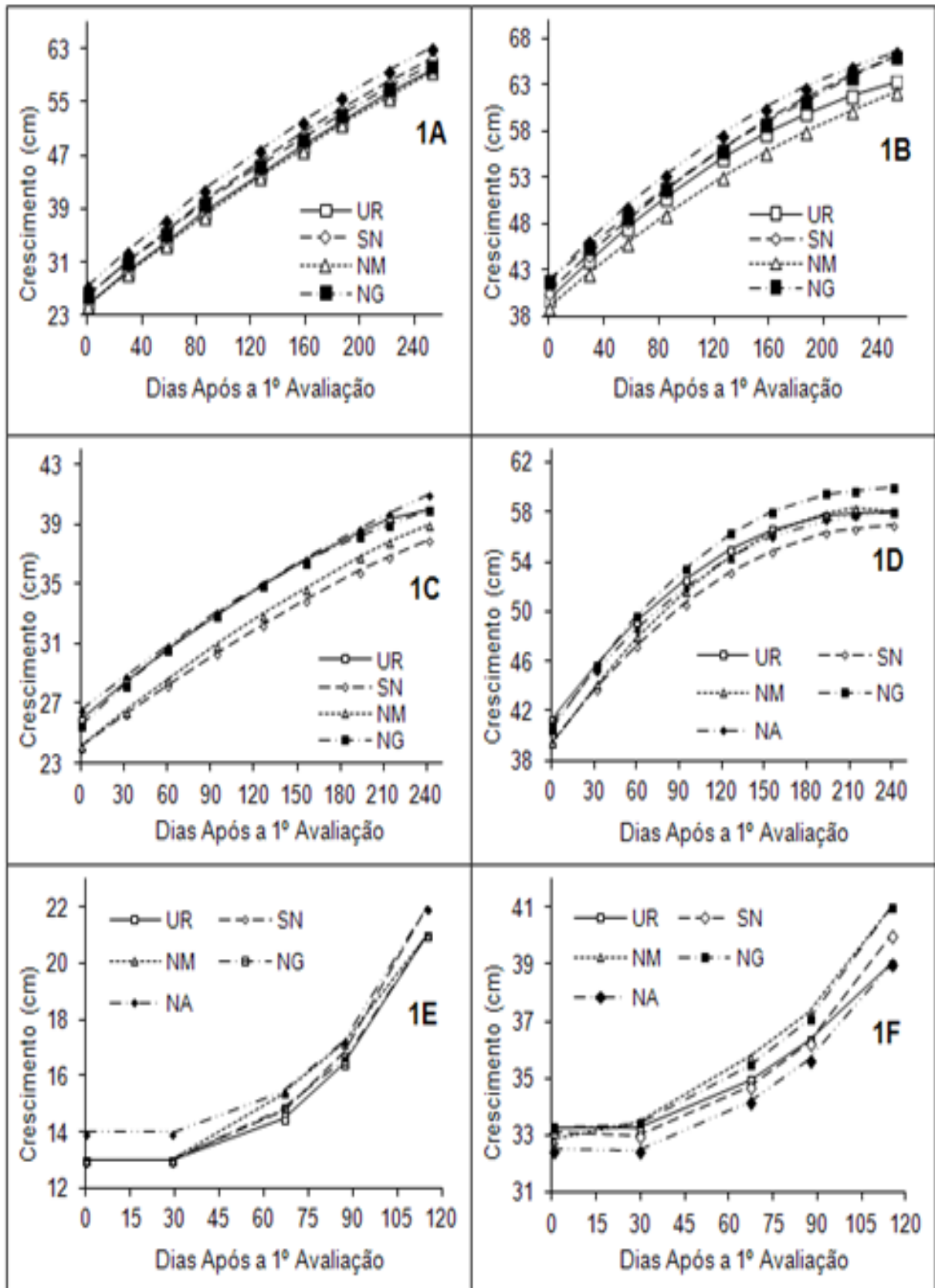
A aplicação de uréia em solos secos, com a ausência de chuvas, resulta em pouca dissolução e hidrólise da uréia. Mas, à medida que a umidade aumenta a hidrólise também tende a aumentar e, com isso, a volatilização também aumenta (PRASERTSAK et al., 2001). A combinação de elevada umidade do solo, ausência de chuvas após a adubação e temperatura elevada, determina elevadas perdas de amônia por volatilização (MARTHA JÚNIOR et al., 2004).

Percebe-se que os valores de IRC alternam suas significâncias com relação aos tratamentos ao longo das datas de avaliação. Presume-se que somente as fontes de N não são responsáveis, sozinhas, pelas alterações do IRC, uma vez que existem outros fatores que afetam a absorção e as perdas por volatilização de amônia nos solos que são em função das condições do solo como CTC e textura (SANGOI et al., 2003), pH, umidade e cobertura vegetal (LONGO; MELLO, 2005).

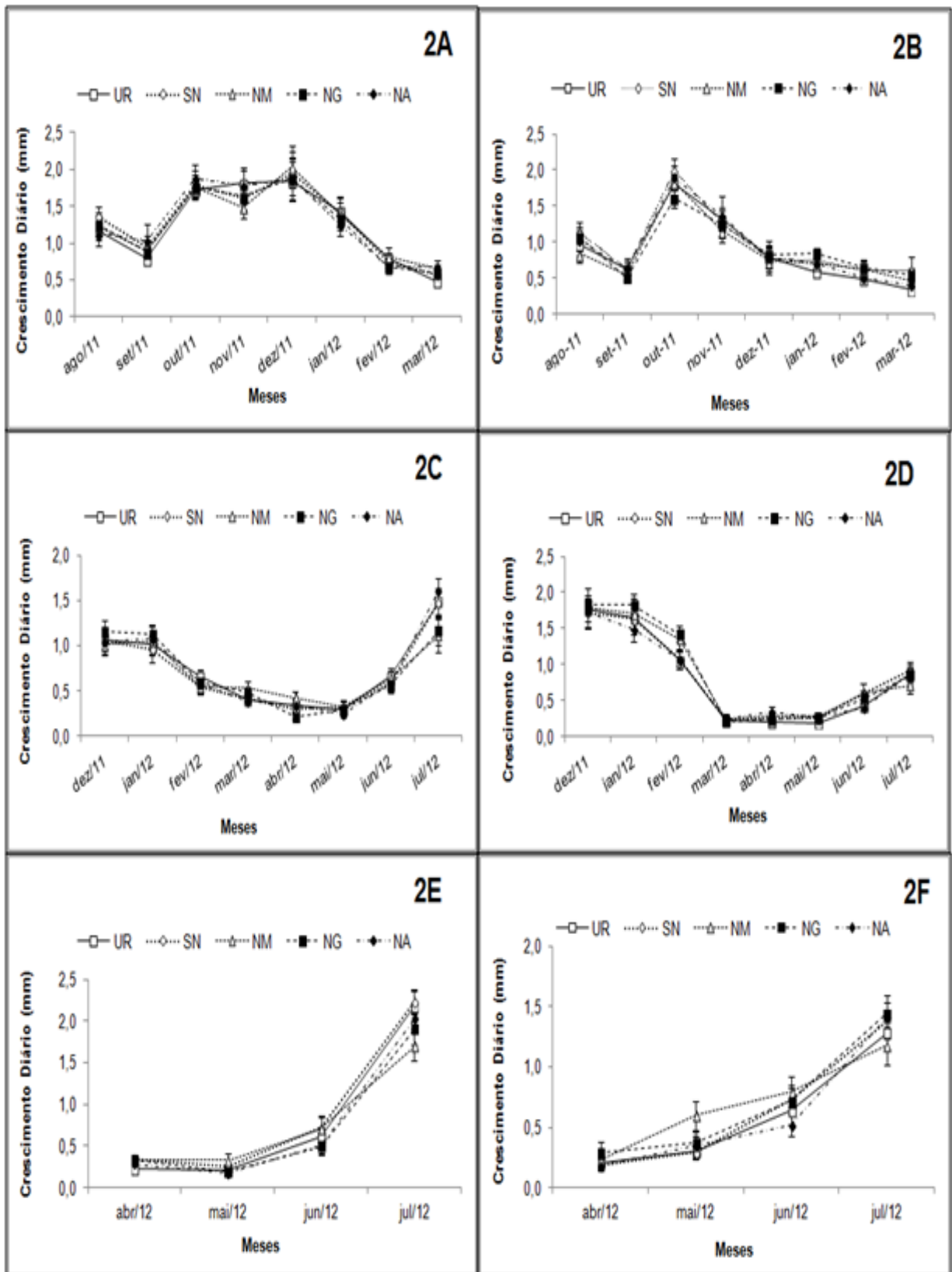
De modo geral, percebe-se que os valores de IRC aumentaram aos 20 dias após a adubação com a aplicação das fontes nitrogenadas, porém não de formas equivalentes entre as diferentes datas avaliadas, uma vez que as plantas utilizaram de maiores teores de nitrogênio em determinadas etapas dos estádios fenológicos, reduzindo o teor de N nas folhas. Isso acontece principalmente nos estádios de expansão, granação e maturação. Os frutos do cafeeiro, durante sua expansão, podem drenar aproximadamente 95 % do total de N recentemente absorvido, causando sintomas de deficiência N na folha e restringindo o crescimento vegetativo (AMARAL et al., 2006).

Em relação ao crescimento dos três grupos de ramos não foi observado diferença estatística significativa entre as fontes de adubos nitrogenados, na média de crescimento de ramos, em todas as avaliações realizadas.

No crescimento acumulado dos ramos representados na Figura 1, observa-se que os ramos plagiotrópicos do Figura 1B (que representa ramos plagiotrópicos velhos) e 1D (que representa ramos plagiotrópicos em estágio intermediário) apresentaram crescimento inicial mais rápido, e reduzindo a partir dos meses de janeiro/fevereiro. Já na Figura 1F (que representa ramos plagiotrópicos novos) observou-se um crescimento inicial nulo e somente foi constatada a retomada do crescimento a partir da segunda avaliação coincidindo com o mês de maio, ou seja, final do período reprodutivo. Isso também pode ser observado na Figura 2, onde o crescimento diário dos ramos em estágio de crescimento intermediário da Figura 2D e os ramos novos do Figura 2F apresentaram retomada do crescimento a partir do mês de maio.



**Figura 1:** Crescimento acumulado dos três grupos de ramos em função de cinco fontes de Nitrogênio no *Coffea canephora*: uréia perolada comum, uréia Super N®, uréia Nitro Mais®, uréia Nitro Gold®, e Nitrato de Amônio. Em que: ramo ortotrópico mais velho (1A), ramo plagiotrópico mais velho (1B), ramo ortotrópico em estágio intermediário (1C), ramo plagiotrópico em estágio intermediário (1D), ramo ortotrópico novo (1E) e ramo plagiotrópico novo (1F), avaliados no período de agosto de 2011 até julho de 2012.



**Figura 2:** Crescimento diário dos três grupos de ramos, em  $\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$ , em função cinco fontes de Nitrogênio *Coffea canephora*: uréia perlada comum, uréia Super N®, uréia Nitro Mais®, uréia Nitro Gold®, e Nitrato de Amônio. Em que: ramo ortotrópico mais velho (2A), ramo plagiotrópico mais velho (2B), ramo ortotrópico em estágio intermediário (2C), ramo plagiotrópico em estágio intermediário (2D), ramo ortotrópico novo (2E) e ramo plagiotrópico novo (2F), avaliados no período de agosto de 2011 até julho de 2012.



Resultados semelhantes foram obtidos por Amaral et al. (2006) em café arábica, e por Partelli et al. (2010) em cafeeiro Conilon. Isso pode ser explicado devido à maior demanda por fotoassimilados para o enchimento dos frutos, uma vez que durante frutificação, a prioridade dos fotoassimilados é para os frutos (PIMENTEL, 1998). Dessa forma, o padrão de crescimento de ramos do cafeeiro Conilon apresenta duas fases: uma de crescimento mais rápido, do final da colheita até o início do enchimento de grãos (“fase vegetativa”) e outra de crescimento lento, do início do enchimento de grãos até o final da colheita (“fase reprodutiva”).

O padrão de crescimento de ramos do cafeeiro Conilon é muito importante uma vez que a produção de frutos se dá em gemas novas. E para maior produtividade do ano seguinte, o ramo plagiotrópico deverá apresentar potencial de crescimento e formação de novas gemas, já que o cafeeiro só produz grãos nas gemas uma única vez. Assim, o potencial de produção do ano futuro ficará condicionado ao potencial do crescimento do ramo. Isso serve para verificar se os ramos ainda apresentam potencial de produção futura ou deverá ser eliminado através da poda.

## Conclusões

Valores de fluorescência máxima da clorofila *a* (FV/FM), não diferiu em nenhuma das épocas analisadas, propondo que as fontes nitrogenadas não alteraram a eficiência do fotossistema II.

O fluxo de transporte de elétrons ( $ET_0/RC$ ),  $DI_0/RC$  = Fluxo de energia dissipada por centro de reação no  $t=0$ , índice de performance total ( $PI(ABS)_{total}$ ) não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das épocas avaliadas.

Não foi observado diferença estatística na média de crescimento de ramos dos três grupos de ramos em todas as avaliações realizadas.

As fontes de N não foram responsáveis, sozinhas, pelas alterações do IRC, uma vez que existem outros fatores que afetam a absorção e as perdas por volatilização de amônia nos solos.

## Referências Bibliográficas

- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.
- CARELLI, M. L. C.; UNGARO, M. R. G.; FAHL, J. I. e NOVO, M. do C. S. S. Níveis de nitrogênio, metabolismo, crescimento e produção de girassol. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 8, n. 2, p.123-130, 1996.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2013 primeira estimativa, janeiro/2013 Acesso em 29/01/2013. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_01\\_09\\_17\\_43\\_49\\_boletim\\_cafe\\_janeiro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_43_49_boletim_cafe_janeiro_2013.pdf).
- Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M., Stoffelen, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**. v. 152, p. 465-512, 2006.
- HAEHNEL, W.; NAIRN, I. A.; REISBERG, P.; SAUER, K. Picosecond fluorescence kinetics and transfer in chloroplast and algae. **Biochemistry and Biophysical Acta**, Amsterdam, v. 680, n. 1, p. 161-173, 1982.
- JUNIOR, F. A. R. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura usando sensor SPAD e análise foliar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008, 64p.
- KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313-349, 1991.
- LAWLOR, D. W. Photosynthesis, productivity and environment. **Journal of Experimental Botany**, Oxford. v. 46, p. 1449-1461, 1995.
- LEMAIRE, G.; KHAITY, M; ONILLON, B.; ALLIRAND, J. M.; CHARTIER, M.; GOSSE, G. Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of Lucerne (*Medicago sativa*) in a dense canopy. **Annals of Botany**, Oxford, v. 70, p. 429-435, 1992.
- LONGO, R. M. ; MELO, W. J. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 651-657, 2005.
- MARTHA JR, G. B.; 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**, v. 33, n. 6, p. 2240-2247, 2004.

MATHIS, P.; PALLOTIN, G. Primary process of photosynthesis. In: HATCH, M.D.; BOARDMAN, N. K. (Ed.). **The biochemistry of plants**. New York: Academic Press, p. 97-161, 1981.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. (2002) **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 625p.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D. SILVA, M. G.; RAMALHO, J. C. Crescimento vegetativo sazonal em ramos de diferentes idades do cafeeiro Conilon. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 619-626, 2010.

PIMENTEL, C. **Metabolismo do carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150p.

PRASERTSAK, P.; FRENEY, J. R.; SAFFIGNA, P. G.; DENMEAD, O. T.; PROVE, B. G. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.59, p.65-73, 2001.

PREZZOTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação. Vitória: **SEEA/INCAPER/CEDAGRO**, 2007. 305 p.

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

SANGOI, L. ERNANI, P.R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v. 33, p. 687-692, 2003.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. de L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 157-161, 2006.

### 3. CONCLUSÕES GERAIS

O nitrato de amônio foi a fonte de nitrogênio que promoveu menor perda de nitrogênio por volatilização entre as demais fontes nitrogenadas. A uréia + enxofre e a uréia perolada comum foram às fontes de nitrogênio que apresentaram maior perda de nitrogênio por volatilização na segunda avaliação. Em geral a uréia + NBPT e a uréia +  $\text{Cu}^{2+}$  e B apresentaram as menores perdas por volatilização em relação aos adubos com “eficiência aumentada”. Não houve diferença significativa nas produções das safras 2011 e 2012 entre as diferentes fontes de nitrogênio aplicadas na adubação do cafeeiro. Os valores de (Fv/Fm) não diferiram em nenhuma das épocas analisadas, propondo que as fontes nitrogenadas não alteraram a eficiência do fotossistema II. Os valores de Índice Relativo de Clorofila (IRC) alternaram suas significâncias com relação aos tratamentos ao longo das datas de avaliação. Não foi observado diferença significativa na média de crescimento de ramos, em todas as avaliações realizadas em relação ao crescimento dos três grupos de ramos.

#### 4. REFERÊNCIAS

ALVES, B. J. R.; SANTOS, J. C. F. dos; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M.E.; ARAÚJO, R.S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. p. 449 - 470.

AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.

ANTISARI, L. V.; MARZADORI, C.; GIOACCHINI, P.; RICCI, S. ; GESSA, C. Effects of the urease inhibitor N-(nbutyl) phosphorothioic triamide in low concentrations on ammonia volatilization and evolution of mineral nitrogen. **Biology and Fertility of Soils**, v. 22, n. 3, p. 196-201, 1996.

ANUÁRIO estatístico do setor de fertilizantes 2009-2010. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2010.

BANERJEE, M. R.; BURTON, D. L; GRANT, C. A.. Influence of urea fertilization and urease inhibitor on the size and activity of the soil microbial biomass under conventional and zero tillage at two sites. **Canadian Journal of Soil Science**, V. 79, p. 255–263, 1999.

BEYROUTY, C. A.; SOMMERS, L. E.; NELSON, D. W. Ammonia volatilization from surface-applied urea as affected by several phosphoroamide compounds. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 52, p.1173-1178, 1988.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. C. O. Efficient use of N in conventional fertilizers. Abstracts of Nitrogen 4th Conference, Costa do Saúpe, Bahia, Brasil, p. 33, 2007.

BRAGANÇA, S. M. **Crescimento e Acúmulo de Nutrientes pelo cafeeiro Conilon (*Coffea canephora*)**. Tese de Doutorado (Fitotecnia). 2005. 99p.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. H. P.; LEITE, H. G.; SANTOS, L. P.; SEDIYAMA, C. S.; ALVAREZ, V.H.; LANI, J.A. Accumulation of Macronutrients for the Conilon Coffee Tree. **Journal of Plant Nutrition**, Georgia, v. 31, n. 1, p.103-120, 2008.

BRAGANÇA, S. M.; PREZOTTI, L. C.; LANI, J. A. Nutrição cafeeiro Conilon. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H. (Org.). **Café Conilon**. Vitória/ES: Incaper, 2007. p.1-702.

BRAGANÇA, S. M.; SILVA, E. B.; GUARÇONI, A.M.; SANTOS, L.P.; LANI, J.A.; VOLPI, P.S. Resposta do cafeeiro Conilon à adubação de NPK em sistema de plantio adensado. **Coffee Science**, v. 4, p. 67-75, 2009.

BREMNER, J. M.; CHAY, H. S. Evaluation of N-butyl phosphorotic triamide for retardation of urea hydrolysis in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 35, p. 191-199, 1986.

BRONSON, K. F.; TOUCHTON, J. T.; HILTBOLD, A. E.; HENDRICKSON, L. L. Control of ammonia volatilization with N- (n-butyl) thiofosphoric triamide in loamy sands. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 20, p. 1439-1459, 1989.

BYRNES, B. H. Liquid fertilizers and nitrogen solutions. In: International Fertilizer Development Center, **Fertilizer manual**, Kluwer Academic, Alabama, p. 20-44, 2000.

CALCINO, D. V.; BURGESS, D. J. W. Effect of urea placement on crop cycle yields of green trash blanketed sugarcane ratoons. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 17, p. 193-198, 1995.

CAMARGO, P.B. **Dinâmica do nitrogênio dos fertilizantes: Uréia (15N) e aquamônia (15<sup>N</sup>) incorporados ao solo na cultura de cana-de-açúcar**. 1989. Dissertação (de Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1989.

CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. O uso de inibidor de urease para aumentar a eficiência da uréia. In: SIMPÓSIO SOBRE INFORMAÇÕES RECENTES PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA, **International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, v. 1, p. 2-19, 2007.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; GALLO, P. B.; BOLONHEZI, D; ROSSETO, R., BORTOLETTO, N.; PEREIRA, J. C.; VILA, N. A. **Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butyl) tiophosphoric acid triamide) on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions**. Technical report, Campinas, Instituto Agrônômico e Fundag, 2002.

CANTARELLA, H.; ROSSETO, R.; BARBOSA, W.; PENNA, M. J.; RESENDE, L. C. L. Perdas de nitrogênio por volatilização da amônia e resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada, em sistema de colheita de cana sem queima prévia. In: **Congresso Nacional da STAB**, 7., Londrina, p.82-87, 1999.

CANTARELLA, H.; Trivelin, P. C. O.; Contin, T. L. M.; Dias, F. L. F.; ROSSETO, R.; MARCELINO, R.; Coimbra, R. B.; Quaggio, J. A. Volatilização de amônia a partir de uréia tratada com inibidor de urease aplicada sobre palha de cana-de-açúcar. Piracicaba, 2008, Anais. Piracicaba, **Scientia Agricola**, v. 65, p. 397-401, 2008.

CARELLI, M. L. C.; UNGARO, M. R. G.; FAHL, J. I. e NOVO, M. do C. S. S. Níveis de nitrogênio, metabolismo, crescimento e produção de girassol. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 8, n. 2, p.123-130, 1996.

CARMONA G., CHRISTIANSON C. B., BYRNES B. H. Temperature and low concentration effects of the urease inhibitor N-n-butyl thiophosphoric triamide (NBPT) on ammonia volatilization from urea. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 7, p. 933-937, 1990.

CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. Newark, **Advances in Agronomy**, v.102, p.267-322, 2009.

CHRISTIANSON, C. B.; BYRNES, B. H.; CARMONA, G. A. Comparison of the sulfur and oxygen analogs of phosphoric triamide urease inhibitors in reducing urea hydrolysis and ammonia volatilization. **Fertilizer Research**. v. 26, p. 21-27, 1990.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2012 quarta estimativa**. Acesso em 22/01/2013. Disponível em:  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_01\\_09\\_17\\_43\\_49\\_boletim\\_cafe\\_janeiro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_43_49_boletim_cafe_janeiro_2013.pdf).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2012 quarta estimativa**. Acesso em 22/11/2012. Disponível em:  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_09\\_06\\_10\\_10\\_21\\_boletim\\_cafe\\_setembro\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_09_06_10_10_21_boletim_cafe_setembro_2012.pdf).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2013 primeira estimativa**. Acesso em 29/01/2013. Disponível em:  
[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_01\\_09\\_17\\_43\\_49\\_boletim\\_cafe\\_janeiro\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_43_49_boletim_cafe_janeiro_2013.pdf).

CONTIN, T. L. M. **Uréia tratada com o inibidor da urease NBPT na adubação de cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo** (Dissertação de mestrado). Campinas, 2007. 69 fls.

COSTA, M. C. G.; VITTI, G. C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 631-637, 2003.

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

Davis, A. P., Govaerts, R., Bridson, D. M., Stoffelen, P. An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**. v. 152, p. 465-512, 2006.

DUARTE, F. M.; POCOJESKI, E.; SILVA, L. S.; GRAUPE, F. A.; BRITZKE, D. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, v. 37, n. 3, p. 705-711, 2007.

EMBRAPA. **Consórcio Brasileiro de Pesquisas e desenvolvimento do café**. EMBRAPA Café, 2004. 147p.

Engelsjord, M. E., Fostad, O.; Singh, B. R. Effects of temperature on nutrient release from slow-release fertilizers. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 46, p. 179-187, 1997.

FASSIO, L. H.; SILVA, A. E. S. Importância econômica e social do café Conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Org.). **Café Conilon**. Vitória: Incaper, p.37-47, 2007.

FRENEY, J. R.; DEANMEAD, O. T.; WOOD, A. W.; SAFFIGNA, P. G.; CHAPMAN, L. S.; HAM, G. J.; HURNEY, A. P.; STEWART, R. L. Factors controlling ammonia loss from trash covered sugarcane fields fertilized with urea. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 31, p. 341-349, 1992.

FRENEY, J. R.; DENMEAD, O.T.; SAFFIGNA, P. G.; WOOD, A. W.; CHAPMAN, L. S.; HURNEY, A. P. Ammonia loss from sugar cane fields as affected by fertilizer placement, irrigation and canopy development. **Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**, v. 13, p. 38-43, 1991.

GIOACCHINI, P., NASTRI, A., MARZADORI, C., GIOVANNINI, C., ANTISARI, L. V., GESSA C. Influence of urease and nitrification inhibitors on N losses from soils fertilized with urea. **Biology and Fertility of Soils**, v. 36, n. 2, p. 129-135, 2002.

HAEHNEL, W.; NAIRN, I. A.; REISBERG, P.; SAUER, K. Picosecond fluorescence kinetics and transfer in chloroplast and algae. **Biochemistry and Biophysical Acta**, Amsterdam, v. 680, n. 1, p. 161-173, 1982.

HARGROVE, W. L. Soil, environmental, and management factors influencing ammonia volatilization under field conditions. In: BOCK, B.R.; KISSEL, D.E. (Ed.) **Ammonia volatilization from urea fertilizers**. Alabama: NFDC, TVA, 1988. cap. 2, p.17-36.

HENDRICKSON, L. L. Corn yield response to the urease inhibitor NBPT: five year summary. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 5, p. 131-137, 1992.



HU, X. F.; SUN, Q. Q.; WANG, Z. Y. Study on ammonia volatilization of slow/controlled release compound fertilizer. **Nitrogen 4th Conference**, Costa do Sauípe, Bahia, Brasil, p. 114, 2007.

ICO – International Coffee Organization. Acesso em 05/01/2013. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/11297\\_relatorio\\_do\\_mercado\\_cafeeiro\\_d\\_ez\\_2012.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/11297_relatorio_do_mercado_cafeeiro_d_ez_2012.pdf).

INCAPER – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Caraterização climática do município de Jaguaré**. Acessado em 22 de novembro de 2012. Disponível em: [http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/caracterizacao/jaguare\\_carac.php](http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/caracterizacao/jaguare_carac.php).

JOHNSTON, A. E. Fertilizers and Agriculture: Fifty Years of Developments and hallenges. **Fertilizer Society. Proceedings**, nº 396. York, 1997.

JUAN, Y. H.; CHEN, L. J.; WU, Z. J.; WANG, R. Kinetics of soil urease affected by urease inhibitors at contrasting moisture regimes. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutricion Vegetal**, v. 9, n. 2, p. 125-133, 2009.

JUNIOR, F. A. R. **Geração de zonas de manejo para cafeicultura usando sensor SPAD e análise foliar**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008, 64p.

KRAJEWSKA, B. Ureases I. Functional, catalytic and kinetic properties: A review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 59, p. 9-21, 2009.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313-349, 1991.

LAWLOR, D. W. Photosynthesis, productivity and environment. **Journal of Experimental Botany**, Oxford. v. 46, p. 1449-1461, 1995.

LEMAIRE, G.; KHAITY, M; ONILLON, B.; ALLIRAND, J. M.; CHARTIER, M.; GOSSE, G. Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of Lucerne (*Medicago sativa*) in a dense canopy. **Annals of Botany**, Oxford, v. 70, p. 429-435, 1992.

LONGO, R. M. ; MELO, W. J. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 651-657, 2005.

MALHI, S. S.; GRANT, C. A.; JOHNSTON, A. M.; GILL, K. S. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil & Tillage Research**, v. 60, p. 101-122, 2001.

MALTA, M. R.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Composição Química, Produção e Qualidade do Café Fertilizado com Diferentes Fontes e Doses de

Nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n. 6, p. 1246-1252, nov./dez., 2003.

MARTHA Jr, G. B.; 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**, v. 33, n. 6, p. 2240-2247, 2004.

MATHIS, P.; PALLOTIN, G. Primary process of photosynthesis. In: HATCH, M.D.; BOARDMAN, N. K. (Ed.). **The biochemistry of plants**. New York: Academic Press, p. 97-161, 1981.

MEDEIROS, R.; SANTOS, B. J. M.; FREITAS, M.; SILVA, O. A.; ALVES, F. F.; FERREIRA, E. A adição de diferentes produtos químicos e o efeito da úmida e na volatilização de amônia em cama de frango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 8, p. 2321-2326, 2008.

MOBLEY, H. L. T.; HAUSINGER, R. P. Microbial ureases: Significant, regulation, and molecular characterization. **Microbiology Reviews**. v. 53, p. 85-108, 1989.

MOREIRA, F. M. S., SIQUEIRA, J. O. (2002) **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 625p.

NOMMIK, H. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. **Plant and Soil**, v. 39, p. 309-318, 1973.

OLIVEIRA, M. W.; TRIVELIN, P. C. O.; BENDASSOLLI, J. A.; Volatilização de amônia da uréia (15N) aplicada ao solo com e sem cobertura de palhada em diferentes manejos na adubação de soqueira de cana-de-açúcar. In: **Congresso Nacional da STAB, 7.**, Londrina, 1999. Anais. Piracicaba: STAB, 1999. p. 86-99.

OVERREIN, L. N.; MOE, P. G. Factors affecting urea hydrolysis and ammonia volatilization in soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 31, p. 57-61, 1967.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D. SILVA, M. G.; RAMALHO, J. C. Crescimento vegetativo sazonal em ramos de diferentes idades do cafeeiro Conilon. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 619-626, 2010.

PILBEAM, C. J. Effect of climate on the recovery in crop and soil of 15N labeled fertilizer applied to wheat. **Fertilizer Research**, v. 45, p. 209-215, 1996.

PIMENTEL, C. **Metabolismo do carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150p.

PRASERTSAK, P.; FRENEY, J. R.; SAFFIGNA, P. G.; DENMEAD, O. T.; PROVE, B. G. Fate of urea nitrogen applied to a banana crop in the wet tropics of Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 59, p. 65-73, 2001.

PREZOTTI, L. C.; BRAGANÇA, S. M.; Guarçoni M. A.; LANI, J. A. Calagem e Adubação do Cafeeiro Conilon. In: FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; DE MUNER, L.H. (Org.). **Café Conilon**. Vitória: Incaper, p. 329-334, 2007.

PREZZOTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação. Vitória: **SEEA/INCAPER/CEDAGRO**, 2007. 305 p.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: **Potafos/Ceres**, 285 p.,1991.

RAWLUK, C. D. L.; GRANT, A. C.; RACZ, G. J. Ammonia volatilization from soils fertilized with urea and varying rates of urease inhibitor NBPT. **Canadian Journal of Plant Science**. v. 81, p. 239-246, 2001.

REIS, A. R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

ROCHETTE, P.; MacDONALD, J. D.; ANGERS, D.; CHANTINI, M. H.; GASSER, M. & BERTRAND, N. Banding urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 38, p. 1383-1390, 2009

SANGOI, L. ERNANI, P.R.; LECH, V. A.; RAMPAZZO, C. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, v. 33, p. 687-692, 2003.

SCHLEGEL, A. J.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Field evaluation of urease inhibitors for corn production. **Agronomy Journal**. v. 78, p. 1007-1012, 1986.

TERMAN, G. L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface-applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, v. 31, p. 189-223, 1979.

TERMAN, G. L. Yield and protein content of wheat grain as affected by cultivar, N, and environmental growth factors. **Agronomy Journal**. v. 71, p. 437-440, 1979.

TILMAN, D. Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. In: Plants and population: Is there time? **National Academy of Science**, Irvine. v. 96, p. 5995-6000, 1999.

VILLAS BÔAS, R. L.; BOARETTO, A. E.; GODOY, L. J. G.; FERNANDES, D.M. Recuperação do nitrogênio da mistura de uréia e sulfato de amônio por plantas do milho. **Bragantia**, v. 64, n. 2, p. 263-272, 2005.

VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O.; GAVA, G. J. C.; FRANCO, H. C. J.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 31, p. 491-498, 2007.

VITTI, G. C.; TAVARES, J. E.; LUZ, P. H. C.; FAVARIN, J. L.; COSTA, M. C. G. Influencia da mistura de sulfato de amônio com uréia sobre a volatilização de nitrogênio amoniacal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 663-671, 2002.

VITTORI ANTISARI, L.; MARZADORI, C.; GIOACCHINI, P.; RICCI, S.; GESSA, C. Effects of the urease inhibitor N-(n-butyl) phosphorothioic triamide in low concentrations on ammonia volatilization and evolution of mineral nitrogen. **Biology and Fertility of Soils**. v. 22, p. 196-201, 1996.

WATSON, C. J. Urease activity and inhibition – Principles and practice. In: The International Fertilizer Society Meeting, London, **The International Fertilizer Society, Proceedings**, n. 454, p. 39, 2000.

WATSON, C. J.; MILLER, H.; POLAND, P.; KILPATRICK, D. J.; ALLEN, M. B. D.; GARRET, M. K.; CHRISTIANSON, C. B. Soil properties and the ability of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide (NBPT) to reduce ammonia volatilization from surface-applied urea. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 26, p. 1165-1171, 1994.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications if the urease inhibitor N-(n-butyl)thiophosphoric triamide (NBPT) for improve the efficiency of urea fertiliser utilization on temperature grassland. **Grass and forage science**. v. 53, p. 137-145, 1998.

ZABORSKA, W.; KRAJEWSKA, B.; OLECH, Z. Heavy metal ions inhibition of jack bean urease: Potential for rapid contaminant probing. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, London, v. 19, n. 1, p. 65-69, 2004.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. de L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 157-161, 2006.

**ANEXOS**



Colheita do *Coffea canephora* cultivar 'Vitória INCAPER 8142'.



Medição cinética da fluorescência transiente da clorofila *a* em *Coffea canephora*.



Coletores de captação de amônia instalados em lavoura de *Coffea canephora*.



Medição de ramos em lavoura de *Coffea canephora* a esquerda e medição de Índice Relativo de Clorofila a direita.