

JORGE LUIZ ABRANCHES

**RESPOSTA DA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA À APLICAÇÃO DE UREIA
REVESTIDA**

Botucatu - SP
2018

JORGE LUIZ ABRANCHES

**RESPOSTA DA CULTURA DO CAFÉ ARÁBICA À APLICAÇÃO DE UREIA
REVESTIDA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Coorientador: Dr. Marcos José Perdoná

Botucatu - SP
2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

A161r Abranches, Jorge Luiz, 1984-
Resposta da cultura do café arábica à aplicação de ureia revestida / Jorge Luiz Abranches. - Botucatu: [s.n.], 2018
92 f.: fots. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2018
Orientador: Rogério Peres Soratto
Coorientador: Marcos José Perdoná
Inclui bibliografia

1. Café - Adubação. 2. Nitrogênio na agricultura. 3. Café - Produtividade. 4. Adubação - Manejo. I. Soratto, Rogério Peres. II. Perdoná, Marcos José. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

Elaborada Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

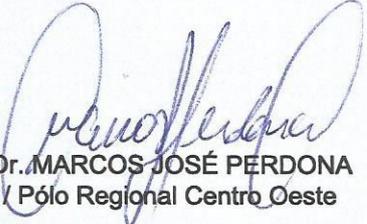
TÍTULO: RESPOSTA DA CULTURA DO CAFÉ ARABICA À APLICAÇÃO DE UREIA REVESTIDA

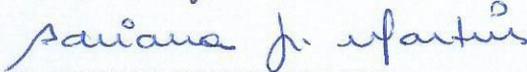
AUTOR: JORGE LUIZ ABRANCHES

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

COORIENTADOR: MARCOS JOSÉ PERDONA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCOS JOSÉ PERDONA
APTA / Pólo Regional Centro Oeste


DRa ADRIANA NOVAIS MARTINS
Descentralização do Desenvolvimento / APTA - REGIONAL CENTRO OESTE


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 29 de janeiro de 2018.

Aos meus amados pais,

Luiz e Maria Elena,

dedico

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus.

Aos meus amados pais Luiz Aparecido Abranches e Maria Elena de Almeida Abranches e a minha futura esposa Andressa Forato Gallego pela paciência e apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto e ao Dr. Marcos José Perdoná, pelas orientações e ensinamentos.

Aos estagiários que passaram pela Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento de Bauru-SP, Fabrício, Marcelo e outros. Ao colega da pós-graduação Renan e ao colega Leandro da Eduvale, e aos companheiros de colheita Valdemar e Ivone, que contribuíram de uma forma ou de outra para a realização desse trabalho.

À Secretaria Municipal de Agricultura e Abastecimento de Bauru-SP, e em especial ao Secretário Chico Maia, pela parceria para a realização do projeto.

À Empresa Kimberlit Agrociência pela doação dos fertilizantes, sem os quais não seria possível o desenvolvimento da pesquisa.

À Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, APTA Regional Centro-Oeste Bauru-SP, pela parceria do projeto.

À Universidade Estadual Paulista – UNESP (Faculdade de Ciências Agrônômica) e aos professores, por proporcionarem um ensino de qualidade tanto na graduação quanto na pós-graduação.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura), pela eficiência e qualidade de ensino.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Agricultura) da FCA/UNESP, pela atenção e ensinamentos.

A todos que de alguma forma colaboraram ou torceram para que esse projeto pudesse ser desenvolvido.

“Tudo posso naquele que me fortalece”.

Filipenses, 4-13.

RESUMO

Nas condições em que o café arábica (*Coffea arabica* L.) é cultivado no Brasil, o nitrogênio (N) é o elemento que mais limita as produções, em razão da alta demanda pela cultura e baixa disponibilidade, na maioria dos solos brasileiros, nesse elemento. Através do revestimento dos fertilizantes tradicionais, por resinas sintéticas, orgânicas ou inorgânicas, esses insumos tendem a liberar os nutrientes de forma lenta. Desta forma, uma possibilidade de aumentar a eficiência de aproveitamento dos fertilizantes, e tentar minimizar as perdas de produtividade, é o uso de fertilizantes revestidos. Objetivou-se, com este experimento, estudar a eficiência da ureia revestida em fornecer N para o cafeeiro arábica e seu efeito na nutrição mineral, crescimento vegetativo e produtividade, em comparação a ureia convencional. O experimento foi conduzido no município de Bauru-SP, instalado em agosto de 2014, em uma lavoura de café do cultivar Mundo Novo, IAC 388-17-1, com três anos e meio de idade, em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd). Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, em um esquema fatorial 3x2+1, testando três doses de N (150, 300 e 600 kg ha⁻¹), duas fontes (ureia revestida e ureia convencional) e uma testemunha (sem aplicação de N), com seis repetições. A ureia revestida utilizada, com 43% de N, é denominada “Kimcoat N[®]”. Cada parcela foi composta por sete plantas. A adubação nitrogenada aumentou o diâmetro do caule, a altura da planta, o número de nós em ramos plagiotrópicos, o comprimento dos ramos, o teor de N foliar, os valores SPAD e a produtividade da lavoura, nas três safras avaliadas. Nas condições edafoclimáticas do presente estudo, o fornecimento de N para cultura do café arábica, através da aplicação de ureia revestida, via cobertura, não apresentou maior eficiência que a aplicação da ureia convencional.

Palavras chave: *Coffea arabica*, adubação nitrogenada, manejo da adubação, produtividade de grãos.

ABSTRACT

In the conditions under which the Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) is cultivated in Brazil, nitrogen (N) is the most limiting element due to the high crop demand and low availability in most Brazilian soils. By coating traditional fertilizers with synthetic, organic or inorganic resins, these inputs tend to release nutrients slowly. Thus, one possibility of increasing the efficiency of fertilizer utilization and trying to minimize productivity losses is the use of coated fertilizers. In this experiment the objective was to study the efficiency of coated urea in providing N for Arabica coffee and its effect on mineral nutrition, vegetative growth, and grain yield, compared to conventional urea. The experiment was conducted in the city of Bauru-SP, installed in August 2014, in a coffee crop of Mundo Novo cultivar, IAC 388-17-1, with three years and middle age, on a dystrophic Yellow Red Latosol (LVAd). A randomized block design was used in a $3 \times 2 + 1$ factorial scheme, testing three doses of N (150, 300 and 600 kg ha⁻¹), two sources (coated urea and conventional urea) and one control (no application of N), with six replicates. The coated urea used, with 43% N, is referred to as "Kimcoat N®". Each plot was composed of seven plants. Nitrogen fertilization increased stem diameter, plant height, number of nodes in plagiotropic branches, length of branches, leaf N content, SPAD values and crop yield, in the three harvests evaluated. In the edaphoclimatic conditions of the present study, the supply of N for the cultivation of arabica coffee, through the application of coated urea, through the cover, did not present greater efficiency than the application of the conventional urea.

Keywords: *Coffea arabica*, nitrogen fertilization, fertilization management, grain yield.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ureia revestida	40
Figura 2 - Ureia sem revestimento (convencional)	40
Figura 3 - Teores de P nas folhas do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.	59
Figura 4 - Teores de K nas folhas do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.	60
Figura 5 - Teores de Ca nas folhas do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.	61
Figura 6 - Teores de Mg nas folhas do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.	62
Figura 7 - Produtividade de grãos beneficiados do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de temperatura média (TM), precipitação pluvial (PP) mensais de janeiro de 2014 a junho de 2017, Bauru-SP.....	38
Tabela 2 - Atributos químicos e granulométricos do solo antes da instalação do experimento.....	39
Tabela 3 - Descrição dos tratamentos utilizados em cobertura	41
Tabela 4 - Diâmetro do caule da planta de café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17.	45
Tabela 5 - Altura da planta de café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17. ...	47
Tabela 6 - Número de nós no ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16.	50
Tabela 7 - Comprimento do ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16.	52
Tabela 8 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas do café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação no ano agrícolas 2014/15.....	55

Tabela 9 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas do café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2015/16 e 2016/17..... 56

Tabela 10 - Medidas de clorofilômetro SPAD aferidas no terço médio superior da planta de café arábica em função de fontes e doses de N via solo, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17..... 63

Tabela 11 - Produtividade de grãos beneficiados de café arábica em função de fontes e doses de N, nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17. 66

Tabela 12 - Aumento da produtividade (AP) e produtividade relativa (PR) de grãos de café beneficiados em função de doses N via solo, para as fontes, ureia convencional (UC) e ureia revestida (UR). Índice de eficiência agrônômica (IEA) de três doses N para a fonte ureia revestida, (UR) comparadas à testemunha, nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17..... 69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIC	Associação Brasileira da Indústria do Café
DAP	Fosfato diamônico
ICO	Organização Internacional do Café
IPMet	Instituto de Pesquisas Meteorológicas
NBPT	N-(n-butil) tiofosfóricotriamida

LISTA DE SÍMBOLOS

B	boro
C	carbono
Ca	cálcio
Cu	cobre
Cl	cloro
CTC	capacidade de troca catiônica
Fe	ferro
K	potássio
K ₂ O	óxido de potássio
Mg	magnésio
Mn	manganês
N	nitrogênio
N ₂	nitrogênio na forma gasosa
NO ₃ ⁻	íon nitrato
NH ₄ ⁺	íon amônio
P	fósforo
pH	potencial hidrogeniônico
S	enxofre
UC	ureia convencional
UR	ureia revestida
Zn	zinco
R ²	coeficiente de determinação
%	porcentagem

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	25
2. REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1 Cultura do café arábica	27
2.2 Nutrição nitrogenada do café arábica	28
2.3 Manejo da adubação nitrogenada na cultura do café arábica	30
2.4 Uso de fertilizantes nitrogenados melhorados	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1 Localização da área experimental e características do local.	38
3.2 Cultivar Mundo Novo IAC 388-17-1	39
3.3 Delineamento experimental e tratamentos	39
3.5 Amostragens e Avaliações	42
3.5.1 Diâmetro do caule	42
3.5.2 Altura da planta	42
3.5.3 Número total de nós e comprimento dos ramos plagiotrópicos	42
3.5.4 Teor de macronutrientes nas folhas de café	42
3.5.5 Índice relativo de clorofila	43
3.5.6 Produtividade de grãos	43
3.5.7 Produtividade relativa de grãos	43
3.5.8 Índice de Eficiência Agronômica	43
3.6 Análise estatística	44
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	45
5. CONCLUSÕES	72
6. REFERÊNCIAS	73
APÊNDICE	85

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que a produção mundial de café, em 2017, foi de aproximadamente 151,6 milhões de sacas, permanecendo o Brasil como o maior produtor do grão do mundo (ICO, 2017). A produção nacional de café alcançou, no ano de 2016, cerca de 51,4 milhões de sacas de 60 kg do produto beneficiado, somadas as espécies arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre), correspondendo à cerca de 30% da produção global (ABIC, 2017).

O café é consumido especialmente pelo seu apreciado sabor, sendo utilizado na forma de chás, expresso, gourmet, cappuccino, frappuccino, balas, entre outros, podendo-se extrair óleo, geralmente usado como aditivo na indústria alimentícia, que, quando extraído do grão verde, é utilizado também pela indústria cosmética (SAES; JAYO, 1998). É também, o principal cultivo de inúmeros países (RODRÍGUEZ et al., 2013). No agronegócio brasileiro, a cultura do café ocupa a 5ª posição no ranking das exportações, com participação de aproximadamente 5,4% na receita cambial, revelando sua importância socioeconômica (EMBRAPA, 2018), sendo um dos principais produtos agrícolas de exportação, gerando empregos e agregando considerável volume de receita a balança comercial.

Por outro lado, com o aumento dos custos de produção, além da crescente competição do mercado interno e externo, torna-se imprescindível a eliminação de perdas nas lavouras cafeeiras (MATIELLO et al., 2010). Uma das principais fontes de perdas da lavoura cafeeira constitui-se do manejo inadequado dos fertilizantes, em particular dos nitrogenados.

Apesar das práticas de manejo na lavoura cafeeira já estarem relativamente definidas, muitos aspectos da cultura ainda necessitam de maiores informações, destacando-se entre eles a adubação nitrogenada do cafeeiro (FENILLI, 2006). O nitrogênio (N) geralmente proporciona os maiores efeitos no aumento da produtividade de grãos, tendo importância na expansão da área foliar, crescimento vegetativo, formação dos botões florais, granação dos frutos e no metabolismo das plantas.

O manejo da adubação com N é tido como um dos mais difíceis, devido ao dinamismo desse nutriente no solo, das inúmeras reações químicas que ocorrem no campo, do envolvimento dos fatores climáticos e, principalmente, da relação com a disponibilidade hídrica (CANTARELLA; DUARTE, 2004). Assim, grande parte do N

aplicado pode ser perdido, no sistema solo-planta, por processos de volatilização, lixiviação, desnitrificação e erosão. Outra parte permanece no solo, na forma orgânica, assim, apenas uma parte do N mineral aplicado é absorvido pelas plantas (LARA CABEZAS et al., 2000; VARGAS, 2010). Considerando-se, portanto, esse potencial de perdas do N, recomenda-se que a maior parte da aplicação do fertilizante nitrogenado seja realizada parceladamente em coberturas, em um período imediatamente anterior ao de maior exigência da cultura (BAYER; FONTOURA, 2006). Entretanto, a aplicação parcelada exige maior número de operações, o que acaba por aumentar o custo de produção.

A principal fonte de N usado no Brasil é a ureia, que apresenta como vantagens alta solubilidade, menor corrosividade e maior compatibilidade, se comparada com outros fertilizantes, além de elevada concentração de N e menor preço desse elemento por unidade (MATIELLO, et al., 2010). Contudo, suas limitações também são inúmeras, devido às perdas, especialmente quando utilizada em cobertura e em condições climáticas inadequadas, por conta das perdas por volatilização.

Assim um dos inúmeros desafios das pesquisas relacionadas aos fertilizantes nitrogenados é o desenvolvimento de tecnologias para aumentar a eficiência do uso do N e minimizar a perdas da ureia (GUELFY, 2017). Além disso, observa-se na literatura que os trabalhos desenvolvidos com a utilização da ureia revestida, são na sua grande maioria voltados para culturas anuais, especialmente com a cultura do milho, pouquíssimos trabalhos foram realizados em culturas perenes, principalmente na cultura do café.

A ureia revestida é recoberta por um produto líquido formado por polímeros com alta densidade de cargas elétricas que tem como objetivo proteger a ureia, principalmente contra a volatilização, melhorando a eficiência de uso do N (REIS JÚNIOR, 2007). Nesse sentido, é possível que o uso da ureia revestida seja uma boa opção de redução de perdas de N, especialmente por volatilização, possibilitando maior absorção do nutriente pelo cafeeiro e maximizando a eficiência da adubação, com maiores produtividades e menor custo.

Esse trabalho objetivou estudar a eficiência da ureia revestida em fornecer N para o cafeeiro arábica, seu efeito na nutrição mineral, crescimento vegetativo e produtividade, em comparação com a ureia convencional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do café arábica

O café arábica é originário da Etiópia, país do nordeste da África. Essa região é caracterizada por altitudes elevadas, com excelente precipitação pluvial anual média (FERRÃO, 2004). No Brasil, a espécie é cultivada principalmente ao norte do Trópico de Capricórnio, desenvolvendo-se melhor em altitudes acima de 700 m, exigindo um clima mais ameno, com temperaturas médias entre 18 e 22 °C e precipitações bem distribuídas ao longo do ano, abrangendo as regiões de cerrado e florestas de altitude, como a região Sul de Minas Gerais e a Zona da Mata, além de regiões do Estado de São Paulo e Paraná (ROSSETTI, 2007).

O cafeeiro arábica tem potencial produtivo, comprovado em pesquisas, de mais de 100 sacas beneficiadas por hectare (MATIELLO et al., 2010). Entretanto, muitas propriedades agrícolas ainda apresentam produtividades baixas devido, principalmente, ao manejo inadequado da adubação, dos fatores edáficos e à ausência efetiva de um controle fitossanitário. Tais fatos são agravados pelo uso contínuo da mesma área e reposição incorreta de nutrientes, desgastando assim o solo e causando perdas na produtividade. Com o intuito de melhorar a produtividade e aumentar a qualidade, torna-se necessário a realização de boas práticas agrícolas, em especial a nutrição adequada dos cafeeiros (MANCUSO, 2012).

Os nutrientes exigidos em maior quantidade pelo cafeeiro são o N e o K, sendo o primeiro mais exigido em anos de safra baixa (formação de vegetação) e o segundo em anos de safra alta (formação de frutos), variando com a intensidade da safra (MATIELLO et al., 2010). Matiello et al. (2010) relatam, em trabalho realizado em Varginha-MG, que na média de 4 safras (média das cultivares Mundo Novo e Catuaí), para uma produtividade média de 18,5 sacas beneficiadas mil plantas⁻¹, foram necessárias, por planta de café e por ano, 123 g de N e 104 g de K₂O. Para os demais nutrientes, a exigência média anual foi de 56 g de CaO, 35 g de MgO, 12 g de P₂O₅, 6 g de S, 1.850 mg de Fe, 190 mg de Mn, 185 mg de Zn, 121 mg de B e 163 mg de Cu. Em média, para cada saca produzida, o cafeeiro adulto e produtivo necessita, para vegetar e produzir, de 6,2 kg de N, 0,6 kg de P₂O₅, 5,9 kg de K₂O, 3,0 kg de CaO, 1,9 kg de MgO, 0,3 kg de S, 110 g de Fe, 10 g de Mn e Zn, 8,8 g de Cu e 6,5 g de B (MATIELLO et al., 2010). Os autores também relataram que a necessidade de nutrientes por saca não varia muito de região para região. O que

varia, na verdade, são os níveis de produtividade alcançados nas lavouras podendo-se, assim, usar esses índices para estimar a necessidade de nutrientes nos cafezais adultos.

2.2 Nutrição nitrogenada do café arábica

O N representa 78% dos gases da atmosfera e, a maior parte do N no solo, provém do ar (CANTARELLA, 2007). Existem três formas que garantem a manutenção de N ao solo. Uma é a transformação ocorrida na atmosfera, em que o N_2 é transformado em óxidos, pelas descargas elétricas. Posteriormente são convertidos em ácido nítrico e infiltram no solo pela água da chuva e, finalmente, são disponibilizados para as plantas na forma de nitratos. Outra forma é a fixação biológica do N presente no ar, que ocorre por meio de microorganismos, com maior relevância para bactérias dos gêneros *Rizobium*, *Azobacter* e *Beijerinckia*. A última forma é a adição de N ao solo, através da fertilização mineral ou orgânica (RAIJ, 1991).

No solo, aproximadamente 90% do N encontra-se na forma orgânica e está presente na matéria orgânica. Geralmente, menos de 5% do N total está em formas inorgânicas (KEENEY, NELSON, 1982), assim, há escassez do nutriente em formas assimiláveis pelas plantas. O N pode ser absorvido pelas plantas nas formas nítrica (NO_3^-), amoniacal (NH_4^+), amídica [$CO(NH_2)_2$] e gasosa (N_2), porém, as plantas absorvem predominantemente, e preferencialmente, as duas primeiras formas, sendo a última exclusiva das leguminosas (VILLALBA et al., 2014).

Dessa forma, o suprimento de N ao solo depende variavelmente da mineralização de sua matéria orgânica, que é função do teor de água, da temperatura, do pH do solo, e da quantidade e natureza dessa mesma matéria orgânica, em particular, de sua relação C/N (MALAVOLTA, 1986), sendo maior a importância do elemento principalmente em solos de região de clima tropical úmido onde existe grande mobilidade de N e intensa mineralização de matéria orgânica.

O N mineralizado é absorvido pelas raízes do cafeeiro arábica que possuem extensão máxima de 1 m de comprimento e apresentam em média 1,2 m de profundidade, sendo que mais de 80% das raízes se concentram nos primeiros 0,5 m na projeção da copa (RENA; GUIMARÃES, 2000).

Na planta, o N encontra-se principalmente nos cloroplastos das folhas, constituindo aminoácidos, ácidos nucléicos, enzimas, entre outros, bem como da

molécula de clorofila, com relevância na atividade fotossintética e no aumento da vegetação (MENGEL; KIRKBY, 2001), com ampliação da área foliar, desenvolvimento dos ramos plagiotrópicos, na formação de botões florais e granação de frutos, influenciando de forma significativa a produtividade do cafeeiro (FENILLI, 2006; CLEMENTE et al., 2013; SAKIYAMA; MARTINEZ; TOMAZ, 2015).

Taiz e Zeiger (2004) explicaram que o N desempenha função na formação das proteínas, com papel relevante na síntese de clorofila e fotossíntese, fazendo parte da formação de compostos indispensáveis às plantas, favorecendo o crescimento vegetativo. Sua deficiência no cafeeiro promove redução da produção de folhas e diminuição no crescimento da planta, menor enchimento dos frutos, diminuição da área foliar, redução da fotossíntese, resultando em clorose gradual das folhas mais velhas, justificado pelo fato que o elemento é facilmente redistribuído pelas plantas via floema (MENGEL; KIRKBY, 2001). Contudo, folhas bem nutridas com N possuem alta capacidade de incorporar CO₂ e produzir carboidratos durante o processo fotossintético resultando, como consequência, em maior acúmulo de biomassa seca e maior produtividade de grãos (SOUZA et al., 2008), levando possivelmente, a maior produtividade (SOUZA; FERNANDES, 2006).

Considerando todas as espécies mundialmente cultivadas, o cafeeiro está no grupo daquelas que mais utilizam N, sendo absorvido em grandes quantidades, uma vez que pode representar de 1 a 6% da sua matéria seca (HAVLIN et al., 2005).

O N é o elemento que mais limita o desenvolvimento do cafeeiro (RAIJ, 1991; MAURI, 2016) e sua produção, nas condições em que o café é cultivado no Brasil. Isto ocorre em razão da alta demanda do cafeeiro cultivado a pleno sol e da baixa disponibilidade de N, em formas disponíveis para as plantas, na maioria dos solos brasileiros (SILVA et al., 2003). Assim, parte da quantidade de N requerido pelas culturas pode ser suprida pelo solo. No entanto, em muitas situações o solo é incapaz de atender toda a demanda por N. Dessa forma, torna-se necessária a adubação nitrogenada sendo, o adequado fornecimento de N, fator preponderante na boa nutrição e na obtenção de altas produtividades (MALAVOLTA et al., 1974).

Tyner (1946) relatou que o N é o nutriente que mais exprime possibilidade para determinar a produtividade de grãos. Os frutos do cafeeiro necessitam prioritariamente de N, que é fornecido devido a alta translocação do elemento para as regiões de maior demanda (CATANI; MORAES, 1958; MALAVOLTA, 1993). No período de granação, o nutriente é deslocado das folhas para os frutos, sendo que a

deficiência nessa época é expressa de forma mais marcante. Por isso, os ramos carregados são os que apresentam sintomas mais intensos de deficiência do nutriente nas folhas do cafeeiro (MATIELLO et al., 2010), evidenciando que a falta de N é mais restritiva para a produção do cafeeiro e não menos importante a fase de crescimento (RENA; MAESTRI, 1987).

Sua disponibilidade afeta diretamente a enchimento dos frutos e o crescimento da área foliar, bem como a taxa de fotossíntese, atuando na interceptação e no uso da radiação fotossintética ativa para a produção de biomassa seca (LEMAIRE; GASTAL, 1997). No trabalho realizado por Lima et al. (2016), ficou demonstrado que a utilização da adubação nitrogenada promoveu incrementos na produção do cafeeiro arábica de até 151%, em relação a plantas que não foram adubadas com N. A adubação com N reduz, também, a bienalidade de produção do cafeeiro (VALADARES et al., 2013).

2.3 Manejo da adubação nitrogenada na cultura do café arábica

O N é o elemento mais difícil de ser manejado nos solos de regiões tropicais e subtropicais. Isso, em virtude do grande número de reações e transformações a que está exposto, das variações climáticas e da ausência de análises laboratoriais de fácil execução (MALAVOLTA, 1986; ERNANI; DIAS, 1999; ERNANI, 2003; CASTOLDI, 2011). Uma das tarefas importantes no manejo da adubação nitrogenada consiste em fornecer nutrientes nos momentos em que a planta necessita, em tempo hábil e, em quantidades necessárias. Deve-se ter cuidado, pois o fertilizante em questão pode ser aplicado em taxas inadequadas, promovendo maiores perdas de N do sistema, devido à baixa absorção pelas plantas no momento da aplicação (PRADO; NASCIMENTO, 2003).

O teor de N no solo é dependente da quantidade de matéria orgânica que, por sua vez, é extremamente variável, e depende do processo de mineralização, influenciado pelo clima (temperatura e umidade), solo (pH, aeração, disponibilidade de nutrientes, relação C/N, etc.), sistema de cultivo, etc..., sendo que a contribuição de N para as plantas é, em muitos casos, pequena (MALAVOLTA, 1986).

A recomendação oficial para o Estado de São Paulo, de acordo com o Boletim Técnico 100, para cafeeiros em produção, é baseada em função da produtividade esperada e do teor de N na planta (RAIJ et al., 1997). São recomendadas doses de 150 kg ha⁻¹ a 450 kg ha⁻¹ de N, por ano agrícola, fornecidos no período chuvoso, de

setembro a março, compreendendo as fases de floração, frutificação e desenvolvimento vegetativo (RENA; MAESTRI, 1987; RAIJ et al., 1997; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). Como as doses de N aplicadas são altas, e as adubações são realizadas na época das chuvas, pressupõe-se que as perdas sejam significativas. Contudo, a prática da adubação nitrogenada é fundamental, e indispensável para os ganhos significativos de produtividade. Porém, gera altos custos, merecendo uma atenção de destaque por parte da pesquisa, para a racionalização do uso desse elemento (FENILLI, 2006). Viana (1980) e Martins (1981) relataram que o mais eficiente aproveitamento de N pelo cafeeiro arábica tem estreita relação com o número de fracionamento e as quantidades de N aplicadas, com enorme influência da época de adubação.

Considerando-se plantas em plena produção, o período de aplicação dos fertilizantes nitrogenados é determinado em função de dois fatores principais: as fases de maior exigência do cafeeiro e o comportamento do fertilizante no solo (MALAVOLTA, 1986). As fases de maior exigência são o pegamento da florada, crescimento e granação dos frutos e início da vegetação, sendo que o parcelamento de N deve ser no mínimo de 3 a 4 vezes, devido à sua dinâmica na planta e no solo, evitando-se as perdas de N por lixiviação (MATIELLO; GARCIA; ALMEIDA; 2008).

De acordo com Kupper (1976), o parcelamento de N deve ser realizado preferencialmente em três doses variáveis, objetivando aplicá-las nas fases de maior necessidade da planta de café. Contudo, Viana et al. (1985) e Viana et al. (1987) não observaram variabilidade significativa na produtividade do cafeeiro utilizando fracionamento em doses iguais de N ou diferentes. Lazzarini e Moraes (1967) obtiveram respostas positivas na produção do cafeeiro com parcelamento da adubação nitrogenada, sem necessariamente correlação com as necessidades por épocas. Porém, Moraes, Reis, Cervellini (1978), trabalhando com doses parceladas de N, obtiveram resultados positivos com fracionamentos concentrados entre outubro e fevereiro.

Dessa forma, são citados na literatura resultados variáveis com relação à resposta do cafeeiro à fertilização. A utilização de N na lavoura cafeeira promove efeito positivo (VIANA et al., 1987; RAIJ et al., 1997; SANZONOWICZ et al., 2001).

Assim, geralmente, através da fertilização mineral o N é disponibilizado para as plantas de café pela prática de parcelamento das adubações químicas. Entretanto, no Brasil, essa prática ainda apresenta aspectos tradicionalistas, decorrentes das

recomendações baseadas na remoção dos nutrientes, mas, em quantidade mais elevada do que a necessária para sua simples reposição, predominando a aplicação de fórmulas, como no caso da fórmula N-P₂O₅-K₂O 20-05-20, o que ocasiona perdas (GALLO et al., 1999).

De maneira generalizada, para a decisão do produtor em escolher um ou outro fertilizante, ele baseia-se, no custo da unidade do elemento, na disponibilidade e na eficiência da fonte aplicada. Para a adubação nitrogenada não é diferente, a tomada de decisão do produtor também é determinada pelo custo da unidade de N, na disponibilidade, na eficiência da fonte aplicada do fertilizante (ZAVASCHI, 2010) e no preço da saca de café.

Por esse motivo, o adubo nitrogenado mais consumido no Brasil é a ureia (45% de N), seguido pelo fosfato monoamônico (9% de N), sulfato de amônio (20% de N), nitrato de amônio (32% de N), fosfato diamônico (DAP, 16% de N) e outros complexos, como aquamônia e nitrocálcio, que podem ser empregados em formulações, juntamente com o P e o K, respectivamente, em ordem decrescente de importância em relação ao preço de mercado e ao consumo (VILLALBA et al., 2014).

A ureia [CO(NH₂)₂] apresenta como vantagens elevada concentração de N, menor custo com transporte, armazenagem e aplicação, além da alta solubilidade, baixa corrosividade e facilidade de mistura com outras fontes (MELGAR; CAMOZZI; FIGUEROA, 1999). Como desvantagens apresenta elevada higroscopicidade e maior susceptibilidade à perdas por volatilização (VILLALBA et al., 2014), quando aplicada em cobertura e em condições climáticas desfavoráveis (GUELFI, 2017).

A perda por volatilização de amônia (NH₃) para a atmosfera é um fator relevante e também o principal responsável pela baixa eficiência da ureia aplicada sobre a superfície do solo (BOUWMEESTER; VLEK; STUMPE, 1985). Essas perdas podem chegar a 78%, após a aplicação de ureia sobre a superfície do solo, fazendo com que este mecanismo de perda de N seja bastante estudado (MIYAZAWA et al., 2012). Para Oliveira e Balbino (1995), a perda do N ocorre principalmente quando o solo apresenta pH alcalino, baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade tampão do hidrogênio, alta temperatura e baixa umidade, além de altas doses do elemento, ou pela ação conjunta de dois ou mais destes fatores. Tais perdas ocorrem por meio dos processos de lixiviação do nitrato, volatilização da amônia, desnitrificação e erosão do solo (CIVARDI et al., 2011). Assim, observa-se que a volatilização de NH₃ da ureia e outros fertilizantes nitrogenados é influenciado pelas

características do solo e pelas condições ambientais. Em geral, um pH mais elevado, temperatura e umidade elevada, aumentam o potencial para volatilização, enquanto que o aumento da profundidade de incorporação do adubo, sistemas de irrigação e práticas conservacionistas como plantio direto, diminuem o potencial de volatilização (JONES et al., 2007). As perdas de N amoniacal, da ureia aplicada na superfície, são significativas em solos de clima tropical e subtropical, devido às condições climáticas, tais como altas temperaturas, ventos e alta umidade relativa do ar (OLIVEIRA; TRIVELIN; OLIVEIRA, 2007).

O processo de volatilização da amônia com a aplicação de ureia envolve, inicialmente, a hidrólise da ureia por meio da ação da urease, que é uma enzima extracelular produzida por microorganismos como bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou, ainda, de origem em restos vegetais (REYNOLDS; WOLF; ARMBRUSTER, 1987). Para esses autores, a ureia aplicada é subitamente hidrolisada em 2 ou 3 dias, o que vai depender das condições edafoclimáticas, quantidade e da forma pela qual o fertilizante é aplicado, sendo essa hidrólise influenciada por esses fatores e pela atividade dos microrganismos presentes no solo e na palha. De acordo com Volk (1959), a hidrólise da ureia ocorre em ampla faixa de umidade de solo, porém quanto mais rápida a hidrólise, maior o potencial de perda de NH_3 . A adição de água tem influência direta sobre a hidrólise e promove o aumento da difusão da ureia e, conseqüentemente, maior contato com a urease no solo (SAVANT; JAMES; McCLEAN, 1987). Ao entrar em contato com a urease presente no solo e em resíduos vegetais, a ureia sofre hidrólise, produzindo carbonato de amônio $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$. O acúmulo de carbonato de amônio causa aumento no pH e esse evento pode ser acompanhado pela emissão de NH_3 (MELGAR; CAMOZZI; FIGUEROA, 1999). Ressalta-se também que as perdas de amônia por volatilização são potencialmente maiores quando os fertilizantes amoniacais e amídicos são aplicados em superfície e em solos secos (BOUWMEESTER; VLEK; STUMPE, 1985). Dessa forma, métodos como parcelamento da adubação, utilização de adubos revestidos e fontes menos suscetíveis à volatilização podem reduzir as perdas de N (CANTARELLA, 2007).

2.4 Uso de fertilizantes nitrogenados melhorados

Várias estratégias constantemente estão sendo desenvolvidas com o intuito de minimizar as perdas de N e aumentar a eficiência da fonte, incluindo o uso de

inibidores de urease (N-(n-butil) tiofosfóricotriamida (NBPT) e de nitrificação, a adição de compostos acidificantes, o uso de ureia revestida com polímeros ou gel também conhecidos como fertilizantes de liberação lenta ou controlada (CANTARELLA, 2007).

Os fertilizantes de liberação lenta são produtos caracterizados por terem propriedades de dissolução mais lenta no solo, e de forma geral, podem ser obtidos mediante mudanças na estrutura dos compostos nitrogenados ou através do recobrimento do fertilizante com materiais pouco permeáveis, chamados polímeros (VITTI; REIRINCHS, 2007).

Nas últimas décadas, não havia diferenças entre os termos liberação lenta e liberação controlada, sendo considerados sinônimos. Atualmente, existe a tendência de se adotar a definição que considera os fertilizantes de liberação controlada como sendo aqueles nos quais são conhecidos os fatores que determinam a quantidade, o padrão e a duração da liberação do nutriente para as plantas, sendo que a taxa de liberação do nutriente no solo é mais previsível (SHAVIV, 2005).

Já o grupo dos fertilizantes de liberação lenta são aqueles que liberam os nutrientes de forma mais lenta que os fertilizantes normais, porém sem caracterização exata da quantidade, padrão e duração da liberação dos nutrientes, isto é, o formato da curva de liberação de nutrientes não é alterado, sendo que a liberação é dependente do tipo de solo e das condições climáticas. Assim, a determinação da curva de liberação dos nutrientes desses fertilizantes revestidos é extremamente importante, pois ocorre variação na taxa de liberação do N em função da além da composição e da espessura do revestimento, da temperatura, da umidade do solo e principalmente quantidade de chuvas após a aplicação sobre o solo (GUELFY, 2017).

Nesse grupo enquadram-se os fertilizantes polimerizados (VILLALBA et al., 2014). Através do revestimento dos fertilizantes tradicionais por resinas sintéticas, orgânicas ou inorgânicas esses fertilizantes liberam os nutrientes de forma lenta. Em grande parte, essas substâncias são compostas por polímeros das mais diversas naturezas, ou então derivadas de ureia, como poliamidas, enxofre elementar, etc. (GIRARDI; MOURÃO FILHO, 2003).

Os fertilizantes revestidos normalmente são constituídos de grânulos recobertos por resinas ou polímeros orgânicos termoplásticos. Os adubos revestidos são normalmente preparados por polimerização, resultando na formação de um polímero

reticulado, hidrofóbico e que degrada com o aquecimento. As duas principais famílias de polímeros são as do tipo alquídicas e as do tipo poliuretano (SHAVIV, 2005).

De acordo Girardi e Mourão Filho (2003), o processo de encapsulação influencia diretamente no mecanismo e na intensidade do processo de liberação dos nutrientes, que são determinados pela natureza química da resina de recobrimento, a dimensão do grânulo do fertilizante e a quantidade de microfissuras em sua superfície também contribuem para determinar a curva de liberação de nutrientes ao longo do tempo.

Uma infinidade de polímeros, com diferentes comportamentos para revestimento, está disponível para serem testados. A liberação pode ser controlada pela umidade ou pela temperatura, de modo que se faz necessário conhecer o comportamento destes polímeros aplicados em adubos para que o resultado seja satisfatório (VASCONCELOS et al., 2010). Essa tecnologia propõe que o encapsulamento de fertilizantes forme uma película protetora não afetando a disponibilização do nutriente para a planta e impedindo que os diversos fatores causadores de perdas de nutrientes atuem (SILVA et al., 2012).

Os fertilizantes revestidos minimizam as perdas de nutrientes por lixiviação, volatilização e fixação, permitindo uma redução da dose aplicada (ZHRANI, 2000), assim, a diferença entre eles ocorre quanto à eficiência da adubação (GUARESCHI et al., 2011). Essa melhor eficiência é propiciada pela estrutura dos grânulos dos fertilizantes revestidos, os quais ao entrarem em contato com a água do solo liberam os nutrientes no interior das cápsulas, que são dissolvidos de forma gradual através da estrutura porosa, na zona da raiz, de acordo com a necessidade das plantas (SHAVIV, 1999; HANAFI; ELTAIB; AHMAD, 2000; TOMASZEWSKA; JARPSOEWICZ; KARAKULSKI, 2002; SHAVIV, 2005).

A ureia revestida controla a liberação de N, atuando como uma membrana semi-permeável que permite que a água se mova através do revestimento e a ureia dissolvida saia (JONES et al., 2007). A melhor eficiência acontece devido à estrutura dos grânulos dos fertilizantes revestidos, que ao absorverem água do solo, solubilizam os nutrientes no interior dos grânulos, que através da estrutura porosa liberta gradativamente próximo a raiz (GUARESCHI et al., 2011).

De acordo com Ferreira (2010), esses grânulos da ureia revestida são recobertos por três camadas de aditivos especiais, chamados de polímeros, sendo que cada

camada possui sua função. A última camada é composta por um aditivo de baixa solubilidade e de um corante para diferenciar da ureia convencional, sendo que esta camada necessita de um volume maior de água, cerca de 10 a 20 mm de lâmina, fornecida pela chuva e/ou irrigação, para solubilizá-la. Esta quantidade é suficiente para a incorporação do Kimcoat N[®], desfazendo-se assim a última camada. Desta forma, havendo água suficiente para incorporá-la, haverá disponibilidade imediata de N.

Dessa forma, a tecnologia Kimcoat N[®], ou denominada “NutriSphere-N[®]” desenvolvida pela empresa Kimberlit, constitui-se de um produto líquido formado por polímeros com alta densidade de cargas elétricas que tem como objetivo proteger a ureia contra a volatilização, melhorando a eficiência de uso do N. Os modos de ação do produto envolvem: sequestro de íons biodisponíveis de níquel (Ni), um dos componentes da enzima urease, presentes na solução do solo ao redor das partículas de ureia, e redução da nitrificação pelo sequestro de íons de Cu e Fe, elementos envolvidos no processo de nitrificação que é realizado por bactérias do solo (FERREIRA, 2010).

Esses fertilizantes, que até algum tempo atrás possuíam um mercado ínfimo, restrito, com recomendações direcionadas apenas para culturas perenes, culturas ornamentais, gramados e similares, devido principalmente ao seu custo ser mais oneroso (VILLALBA et al., 2014), têm hoje, através da utilização da ureia revestida, uma opção de insumo acessível para os diversos sistemas de produção de grãos (CHIEN; PROCHNOW; CANTARELLA, 2009; GAGNON; ZIADI; GRANT, 2012). Nos últimos anos, as empresas conseguiram minimizar o diferencial de preços (que chegava a ser de 2,4 a 10 vezes o valor dos fertilizantes convencionais), mudando o posicionamento desses produtos no mercado, com foco nas culturas extensivas de interesse econômico como café, milho, arroz, trigo, cevada, eucalipto, citros, batata, entre outras (VILLALBA et al., 2014).

Blaylock (2007) relatou maximização na produtividade de grãos quando se utilizou, em cobertura, a ureia revestida, na cultura do milho. A pesquisa mostrou que a ureia revestida propiciou produtividade de 12.240 kg ha⁻¹, enquanto a ureia convencional, a produtividade foi de 10.984 kg ha⁻¹. O autor concluiu que a produtividade de diversas culturas pode ser mantida utilizando-se, em média, 70-80% da dose de N, em relação à dose dos fertilizantes comumente utilizados, diminuindo assim o custo de produção.

Cantarella e Marcelino (2008), em pesquisa realizada com a cultura do milho, nos Estados Unidos, verificaram que houve maior eficiência de N contida na ureia revestida, em relação à ureia convencional sem revestimento, principalmente para solos arenosos. Trabalhando com a cultura do milho, em Uberlândia-MG, Silva et al. (2012), não encontraram diferenças significativas na produtividade de grãos quando utilizaram ureia convencional ou revestida, embora tenham observado incremento de produtividade com aumento das doses de N. Resultados semelhantes foram relatados por Secretti et al. (2013), em Dourados-MS. Valderrama et al. (2014) trabalhando com ureia revestida, nas condições edafoclimáticas do cerrado brasileiro, também não encontraram diferenças significativas para as mesmas doses de N, para o teor foliar de N, componentes da produção e produtividade de grãos de milho irrigado, tanto no cultivo safra como no cultivo de segunda safra.

Em experimentos realizados por Martins, Cazetta, Fukuda (2014), em Jaboticabal-SP, na cultura do milho, constatou-se que a ureia revestida, quando aplicada à superfície do solo, em período de veranico, em doses acima de 170 kg ha⁻¹ N proporcionou maior produtividade de grãos que a ureia comum.

Pode-se inferir, então, que os trabalhos realizados com o uso da ureia revestida aparentemente apresentam bom potencial, entretanto, as observações a campo, com as várias culturas, ainda são pouco conclusivas (ABRANCHES; PERDONÁ; NAKAYAMA, 2014), apresentando resultados inconsistentes (MARTINS; CAZETTA; FUKUDA, 2014). Autores como Blaylock (2007), Santini et al. (2009) e Cantarella e Marcelino (2008) defendem que com menores quantidades de ureia revestida é possível se atingir os mesmos níveis de produtividade conseguidos com o uso da ureia convencional, relatando maior eficiência do N pelo uso da ureia revestida. Já autores como, Maestrello (2011), Valderrama (2011), Valderrama et al. (2011), Valderrama et al. (2014), Mello et al. (2017) relatam não haver nenhum tipo de ganho em comparação com a aplicação de ureia comum; não permitindo que se feche essa questão (ABRANCHES; FERREIRA; PERDONÁ, 2016). Dessa forma, a necessidade de trabalhos a campo se faz necessário, em particular na cultura do café, devido a principalmente a sua importância econômica e ao respaldo em relação a custo-benefício com o agricultor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental e características do local

O experimento foi instalado em outubro de 2014, em uma lavoura de café com a cultivar Mundo Novo IAC 388-17-1, com espaçamento de 4,0 × 0,80 m, perfazendo um total de 3.125 plantas ha⁻¹. A lavoura foi plantada em dezembro de 2010 e ocupa uma área de 3,77 ha do Sítio Tibiriçá, no município Bauru-SP, latitude 22° 14' S, longitude 49° 11' W e altitude de 576 m.

Segundo a classificação de Koeppen, o clima da região é Aw, tropical, com estação seca no inverno e verão chuvoso, temperatura média anual de 22,6 °C e regime pluviométrico anual em torno de 1.331 mm (CEPAGRI, 2015). Os dados de temperatura média mensal e precipitação, de acordo com o Instituto de Pesquisas Meteorológicas, IPMET Bauru, dos anos agrícolas em que foi realizado o experimento são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Dados de temperatura média (TM), precipitação pluvial (PP) mensais de janeiro de 2014 a junho de 2017, Bauru-SP

Mês	Ano							
	2014		2015		2016		2017	
	TM (°C)	PP (mm)						
Janeiro	26,3	104,6	27,5	182,4	26,1	380,2	25,0	462,0
Fevereiro	26,0	132,3	25,5	134,1	27,5	351,3	26,2	137,9
Março	24,7	125,5	24,5	251,5	25,1	118,9	24,8	135,9
Abril	23,2	74,4	23,7	46,7	25,2	37,8	22,6	119,1
Mai	20,5	73,8	20,9	125,2	19,7	110,2	21,0	218,7
Junho	20,3	0,5	20,7	0,0	18,1	94,0	19,2	22,4
Julho	18,9	30,5	20,3	88,1	19,5	9,1	-	-
Agosto	21,7	22,4	22,5	21,6	20,7	61,7	-	-
Setembro	23,1	125	24,1	220,2	21,3	24,6	-	-
Outubro	25,0	37,3	25,3	123,4	23,3	103,6	-	-
Novembro	24,8	116	25,0	260,1	23,8	91,2	-	-
Dezembro	25,1	257	25,9	259,8	25,0	143,8	-	-

Fonte: IPMET/2017.

O solo do local é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd) (EMBRAPA, 1999). Antes da instalação do experimento (agosto de 2014) fez-se amostragem de solo para caracterização química e física da área nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm. As análises químicas foram realizadas conforme metodologias descritas por Vitti (1989), para o enxofre, e Raji et al. (2001), para os demais

elementos. As características químicas e granulométricas do solo encontram-se na tabela 2.

Tabela 2 - Atributos químicos e granulométricos do solo antes da instalação do experimento

Prof. (cm)	pH(CaCl ₂)	M.O. (g dm ⁻³)	P (resina) (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	H+AL	Al	SB	CTC	V (%)
0-20	5,4	9	108	2,2	22	10	17	0	35	51	68
20-40	4,6	6	100	2,3	12	4	21	3	18	39	47
	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	Al/CTC	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	m (%)
	(%)			(mg dm ⁻³)							
0-20	43	20	4,3	0	22	30	1,4	24,5	2,9	1,1	0
20-40	31	10	5,9	7,7	42	36	0,9	41,4	3,5	0,9	14
	Areia		Argila		Silte			Textura			
	(%)										
0-20	96		3		1			Arenosa			
20-40	92		6		2			Arenosa			

Fonte: Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais.

Anterior a implantação do experimento as adubações foram realizadas de acordo com os critérios do produtor e de sua condição financeira. Contudo, após a implantação do experimento, as adubações realizadas seguiram as recomendações para a cultura do café (RAIJ et al., 1997).

3.2 Cultivar Mundo Novo IAC 388-17-1

A cultivar Mundo Novo IAC 388-17-1 apresenta ramos laterais mais longos (maior diâmetro da copa). Ótima qualidade de bebida. Sua constituição é de 50% de 'Bourbon' e 50% de 'Típica'. É uma das cultivares mais plantadas no Brasil, principalmente Mundo Novo IAC 379-19 e IAC 376-4, que são excelentes para a colheita mecânica e safra zero (MATIELLO et al., 2010).

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3x2+1, com sete tratamentos e seis repetições. Os tratamentos foram compostos por três doses de N (0, 1/2, 1 e 2 vezes a dose de N recomendada para a cultura do café, ou seja, 0, 150, 300 e 600 kg ha⁻¹), duas fontes [ureia com revestimento (Kimcoat N[®]) (Figura 1) e sem revestimento (convencional) (Figura 2)], respectivamente, com 43% de N e 45% de N, e uma testemunha (sem aplicação de

N). A ureia revestida utilizada no presente experimento é um produto cujo grânulo é revestido por três camadas de um polímero de alta densidade de carga (NutriSphere-N® ou NSN).

Figura 1 - Ureia revestida



Figura 2 - Ureia sem revestimento (convencional)



As doses foram calculadas de acordo com as recomendações de Raij et al. (1997), com produção esperada de 2.400-3.600 kg ha⁻¹ de café beneficiado. Os tratamentos encontram-se descritos na tabela 3.

Tabela 3 - Descrição dos tratamentos utilizados em cobertura

Tratamento	Fertilizante	Dose de N (kg ha ⁻¹)
1	-	0
2	Ureia convencional	150
3	Ureia revestida	150
4	Ureia convencional	300
5	Ureia revestida	300
6	Ureia convencional	600
7	Ureia revestida	600

Os fertilizantes foram aplicados manualmente, em faixas, sem incorporação, na projeção da copa da planta, parcelados em três vezes, com intervalos de 45 dias, nos meses de outubro a março.

Cada parcela foi composta por sete plantas, espaçadas por 0,80 m, totalizando 22,4 m². O espaçamento entre fileiras foi de 4 m. A área total do experimento é de 940,8 m².

3.4 Manejo da lavoura

Além dos tratamentos, nas mesmas datas foram aplicados em todas as parcelas 200 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O e 80 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅. Em todos os anos agrícolas foram aplicados via adubação foliar, na área experimental; 1,5 kg ha⁻¹ de ácido bórico, 2 kg ha⁻¹ de sulfato de manganês, 2 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, 2 kg ha⁻¹ de sulfato de zinco, 3 kg ha⁻¹ de sulfato de cobre, realizadas em duas aplicações de janeiro a março.

Para o controle de plantas daninhas foram realizadas roçadas mecanizadas nas entrelinhas e aplicação do herbicida glifosato (720 g ha⁻¹ do i.a.), em uma faixa de 1,5 metros, distante a partir do tronco das plantas.

O manejo fitossanitário da lavoura foi feito através de pulverizações foliares com aplicação de fungicidas a base de triazóis e estrobirulinas, na dose de 100 g ha⁻¹ do i.a. cyproconazole, e da aplicação com inseticida tiametoxam (750 g kg⁻¹ do i.a.), na forma de esguicho no tronco sob a copa do cafeeiro, também utilizou-se tebuconazol

na dose de 200 g i.a. ha⁻¹, para o controle da doença *Phoma* spp.; piraclostrobina + epoxiconazol na dose de 274,5 g i.a. ha⁻¹ e oxicloreto de cobre na dose de 2,5 kg ha⁻¹, para o controle das doenças *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola*.

3.5 Amostragens e Avaliações

As medições de desenvolvimento das plantas de cafeeiro foram iniciadas em março de 2015 e realizadas até junho de 2017, avaliando-se as três plantas centrais de cada parcela, analisando as seguintes variáveis:

3.5.1 Diâmetro do caule

Medido a 0,05 m de altura em relação à superfície do solo com paquímetro analógico nos meses de outubro a março em cada ano agrícola.

3.5.2 Altura da planta

Determinado com uma régua graduada da superfície do solo ao meristema apical da planta, nos meses de outubro a março de cada ano agrícola.

3.5.3 Número total de nós e comprimento dos ramos plagiotrópicos

Foram feitas contagens e aferições em dois períodos distintos: nos meses de outubro (15 dias antes da primeira adubação) e março (15 dias após a última adubação) dos dois primeiros anos agrícolas, do comprimento dos ramos plagiotrópicos, que foram marcados com fitilhos de polietileno de coloração branca, e mediram-se os três ramos mais próximos ao meristema apical da planta, imediatamente abaixo a lignificação do ramo ortotrópico, contando nesses ramos os números de nós.

3.5.4 Teor de macronutrientes nas folhas de café

As amostragens foram realizadas normalmente 15 dias antes da adubação (outubro de cada ano agrícola) e 15 dias em março de cada ano agrícola, após a adubação, nas três plantas centrais. Para a determinação dos teores foliares de macronutrientes coletou-se 5 folhas no terço médio superior de cada planta, a partir do ápice do ramo, no 3º par de folhas dos ramos frutíferos descrito por Malavolta, Vitti, Oliveira (1997); totalizando 15 folhas por parcela. As folhas foram submetidas à lavagem rápida com água e enxugadas com toalha de papel e colocadas para

secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 horas, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey. Os teores de macronutrientes foram determinados segundo metodologia descrita por Malavolta, Vitti, Oliveira (1997).

3.5.5 Índice relativo de clorofila

Utilizando o clorofilômetro portátil SPAD-502 avaliou-se o índice relativo de clorofila.

As leituras através do clorofilômetro foram realizadas em todas as avaliações sempre nos mesmos horários, por volta das 12:00h, nas mesmas folhas coletadas para determinação dos teores de nutrientes, conforme descrito no item 3.6.4, sendo realizado duas aferições por folha, em partes distintas da folha, totalizando 30 aferições por parcela, do qual posteriormente calculou-se a média de cada parcela.

3.5.6 Produtividade de grãos

As colheitas foram realizadas em junho de 2015, 2016 e 2017. A avaliação de produtividade de grãos foi realizada colhendo-se sete plantas de cada parcela, no mês de junho, de cada ano. Para tanto, derriçou-se o café sobre um pano e, posteriormente, procedeu-se a abanação e secagem em terreiro de alvenaria, até atingir teor de água entre 11 e 12%. Em seguida, os grãos “em coco” foram beneficiados. Na sequência, efetuou-se o cálculo de rendimento de grãos beneficiados, calculado através da porcentagem que os grãos beneficiados representavam da quantidade colhida de grãos “em coco”. Também foi determinada a produtividade de grãos beneficiados, pesando-se a massa de grãos de café após o beneficiamento, com o uso de balança eletrônica.

3.5.7 Produtividade relativa de grãos

A produtividade relativa foi calculada mediante a relação entre a produtividade em cada tratamento e a produtividade na testemunha, conforme descrito por Barnes e Kamprath (1975).

3.5.8 Índice de Eficiência Agronômica

Seguindo a metodologia de Goedert e Lobato (1984), o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) foi calculado por meio da relação percentual entre a produtividade propiciada pelas fontes de N, aplicadas na mesma dose, subtraindo-se de ambas a

produtividade do tratamento sem adubação nitrogenada, calculada da seguinte forma:

$$IEA (\%) = [(Y2 - Y1) / (Y3 - Y1)] \times 100$$

Em que, $Y1$ = produtividade de grãos obtida pelo tratamento testemunha (sem aplicação de N); $Y2$ = produtividade de grãos obtida com a fonte testada (F1), em cada uma das doses; e $Y3$ = produtividade de grãos obtida pela fonte referência (N) na mesma dose. O valor $Y1$ será obtido pela média de 6 parcelas do tratamento testemunha (sem aplicação de N).

3.6 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância através do programa estatístico SISVAR. As médias das fontes, no esquema fatorial, foram comparadas pelo teste t (DMS) a 5% de probabilidade. Os efeitos das doses de N foram avaliados por análise de regressão e, para esse propósito, a testemunha (sem aplicação de N) foi considerada como dose zero e adotou-se como critério para escolha do modelo matemático a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5% de probabilidade, pelo teste F.

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

O efeito da adubação nitrogenada sobre o diâmetro do caule foi observado desde a primeira avaliação, demonstrando que a cultivar Mundo Novo IAC 388-17-1 tem crescimento rápido e é muito responsiva a adubação nitrogenada. Na avaliação de caracterização das plantas, realizada em outubro de 2014, anteriormente a primeira adubação, o diâmetro médio do caule dos cafeeiros foi de 43,6 mm, não havendo diferença significativa entre os tratamentos. A aplicação de N proporcionou efeito quadrático no diâmetro do caule dos cafeeiros, com incrementos até as doses estimadas de 397, 509, 494, 438 e 457 kg ha⁻¹ de N, respectivamente, nas cinco avaliações realizadas no período de março de 2015 a março de 2017 (Tabela 4). Com cultivares de porte menor os efeitos podem ser mais lentos. Trabalhando com cultivar de porte baixo (Catuaí Vermelho - IAC 99), em fase inicial de crescimento e com doses de 0, 75, 150 e 300 kg ha⁻¹ de N, em Manduri-SP, Parecido (2016) obteve incremento no diâmetro de caule das plantas de café apenas do segundo para o terceiro ano de avaliação.

Tabela 4 - Diâmetro do caule da planta de café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

Tratamento	Época de avaliação				
	Mar. 2015	Out. 2015	Mar. 2016	Out. 2016	Mar. 2017
	(mm)				
Fonte de N					
Ureia comum	55,0a ⁽²⁾	63,1a	67,3a	71,8a	76,2a
Ureia revestida	53,6a	61,2a	66,0a	69,1a	74,6a
Dose de N (kg ha ⁻¹)					
0	49,3	55,4	58,7	61,8	64,5
150	53,7	60,5	65,3	70,0	74,2
300	55,1	62,2	66,3	70,2	75,0
600	54,1	63,8	68,4	71,2	76,9
Regressão	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Interação Dx F ⁽¹⁾	0,798	0,725	0,231	0,325	0,741
CV(%)	6,7	6,1	5,5	5,9	6,2

⁽¹⁾Interação considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽²⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator fonte de N, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade, na análise considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽³⁾ $y = 49,439 + 0,031747^{**}x - 0,000040^{**}x^2$ R² = 0,99; ⁽⁴⁾ $y = 55,586 + 0,033573^{**}x - 0,000033x^2$ R² = 0,98; ⁽⁵⁾ $y = 59,139 + 0,038492^{**}x - 0,000039^{**}x^2$ R² = 0,95; ⁽⁶⁾ $y = 62,432 + 0,046371^{**}x - 0,000053^{**}x^2$ R² = 0,91; ⁽⁷⁾ $y = 65,241 + 0,055765^{**}x - 0,000061^{**}x^2$ R² = 0,93 ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Não houve diferença entre o diâmetro do caule das plantas de café tratadas com ureia revestida ou ureia convencional, em nenhuma das épocas de avaliação (Tabela 4). Embora não se tenha encontrado outros resultados publicados para a cultura de café, resultados semelhantes foram observados em outras culturas. Silva et al. (2012), trabalhando em Uberlândia-MG, com cultura do milho e doses de N (0, 100, 120, 150 e 180 kg ha⁻¹) aplicadas em cobertura, utilizando ureia revestida e ureia convencional, também verificaram incrementos quadráticos no diâmetro do caule das plantas e, assim como nesse experimento, não verificaram diferenças significativas entre as ureias testadas. Valderrama (2011), trabalhando em Selvíria-MS, em Latossolo Vermelho Distrófico com textura argilosa e com doses de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, aplicadas em cobertura na cultura do milho, utilizando ureia revestida (Kimcoat N[®]) e ureia convencional, também não encontrou diferenças significativas para o diâmetro basal do colmo.

Dados obtidos por Maestrello (2011), trabalhando com a cultura do milho na mesma condição de solo e doses de N que Valderrama (2011), também não mostraram diferenças significativas entre as fontes (ureia convencional e ureia revestida) para o diâmetro basal do colmo. Em ambos os trabalhos, os autores justificaram que os experimentos foram conduzidos sob irrigação monitorada e no período chuvoso, que totalizaram mais de 40 mm. Isso teria reduzido a volatilização do N da ureia convencional. Situação similar também aconteceu no presente experimento, pois, todas as adubações, em cobertura, foram seguidas de precipitações próximas a 30 mm, com exceção da adubação realizada em outubro de 2014, em que a precipitação ocorrida durante todo o mês foi de 37,3 mm (Tabela 1).

De acordo com Lara Cabezas, Korndorfer, Motta (1997), se a água for suficiente para diluir a concentração de hidroxilas (OH⁻), ao redor dos grânulos de ureia, que foram produzidos na reação de hidrólise, além de proporcionar a “incorporação” da ureia no solo, há diminuição da volatilização da amônia. Além disso, segundo Silva et al. (1995), há aumento do contato entre o fertilizante e as partículas de solo, com consequente incremento da adsorção de NH₄⁺ às cargas negativas do solo, o que dificulta sua transformação a NH₃, forma na qual o N é perdido por volatilização.

Entretanto, quando não ocorrem precipitações logo após as adubações, os resultados podem ser diferentes. Em trabalho realizado por Reis (2013), na cultura do feijão, em Brasília-DF, comparando doses de 30, 60, 90, 120 kg ha⁻¹ de N na

forma de ureia revestida, com 60 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia convencional, o autor relatou que o uso da ureia revestida (Kimcoat N®), independente da dose aplicada, promoveu menor atividade da urease, quando comparada a ureia convencional. Contudo, o autor observou que a elevada atividade da urease não representou diferença significativa, entre os tratamentos, para as variáveis peso de matéria verde e peso de matéria seca de plantas.

Da mesma forma que no diâmetro do caule, a aplicação de diferentes doses de N em cobertura, via solo, também influenciou a altura das plantas de café, em todas as avaliações (Tabela 5). Nas cinco avaliações realizadas no período, de março de 2015 a março de 2017, a aplicação de N proporcionou incrementos quadráticos na altura das plantas de café, até as doses estimadas de 374, 461, 460, 486 e 492 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5 - Altura da planta de café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

Tratamento	Época de avaliação				
	Mar. 2015	Out. 2015	Mar. 2016	Out. 2016	Mar. 2017
	(m)				
Fonte de N					
Ureia comum	2,17a ⁽²⁾	2,34a	2,55a	2,65a	2,80a
Ureia revestida	2,13a	2,29a	2,51a	2,61a	2,80a
Dose de N (kg ha ⁻¹)					
0	2,03	2,17	2,39	2,48	2,64
150	2,12	2,29	2,50	2,58	2,77
300	2,17	2,35	2,56	2,66	2,81
600	2,17	2,32	2,54	2,63	2,77
Regressão	⁽³⁾	⁽⁴⁾	⁽⁵⁾	⁽⁶⁾	⁽⁷⁾
Interação DxF ⁽¹⁾	0,550	0,814	0,951	0,828	0,863
CV(%)	4,9	4,5	4,1	4,5	4,9

⁽¹⁾Interação considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽²⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator fonte de N, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade, na análise considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽³⁾ $y = 2,028 + 0,000748x - 0,000001x^2$ R² = 0,99; ⁽⁴⁾ $y = 2,173 + 0,000921x - 0,000001x^2$ R² = 0,99; ⁽⁵⁾ $y = 2,388 + 0,000920x - 0,000001x^2$ R² = 0,99; ⁽⁶⁾ $y = 2,474 + 0,000971x - 0,000001x^2$ R² = 0,99; ⁽⁷⁾ $y = 2,642 + 0,000984x - 0,000001x^2$ R² = 0,99. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Na avaliação de caracterização das plantas, realizada em outubro de 2014, a altura média dos cafeeiros foi de 2,01 m, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos. Em março de 2015, após realizadas as três primeiras adubações durante o período chuvoso, no primeiro ano agrícola, as doses de 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, promoveram incrementos iguais, ambos de 16 cm, enquanto que a testemunha, sem a adubação nitrogenada, cresceu apenas 2 cm em relação a altura

média dos cafeeiros, independente da fonte utilizada. No período de março de 2015 a outubro de 2015, as doses de 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, independente da fonte utilizada, promoveram crescimento em altura nas plantas de café arábica de 17, 18 e 15 cm, respectivamente, enquanto na testemunha, sem aplicação de N, a altura incrementada no período foi de 14 cm. Já no período de outubro de 2015 a março de 2016, as mesmas doses de N, independente da fonte utilizada, promoveram crescimento em altura nas plantas de café arábica de 17, 21 e 22 cm, respectivamente, enquanto que na testemunha, sem aplicação de N, a altura incrementada no período foi de 22 cm (Tabela 5), mostrando a rápida resposta da cultivar Mundo Novo, IAC 388-17-1, à adubação nitrogenada e o notado efeito do N, percebido desde a primeira avaliação que nas avaliações seguintes se manteve.

Lima et al. (2012), trabalhando em Cascavel-PR, com cafeeiros da cultivar IAPAR 98, em estágio inicial de crescimento e doses crescentes de N, também observaram aumento na altura das plantas de café arábica, provocados pelo aumento das doses de N. Esses resultados já eram esperados, uma vez que a adubação nitrogenada no cafeeiro é o principal fator responsável pelo crescimento vegetativo da planta (CATANI; MORAES, 1958) e que o N tem função estrutural na planta, é constituinte das proteínas, ácidos nucleicos, de enzimas e da molécula de clorofila, sendo imprescindível na atividade fotossintética (MENGEL; KIRKBY, 2001). Além de ser o nutriente exigido em maior quantidade e o maior limitante para o crescimento e desenvolvimento do cafeeiro, sendo que o seu fornecimento na nutrição do cafeeiro se traduz a efeitos notórios na fitomassa e na produtividade da lavoura (REIS et al., 2009; QUINTELA et al., 2011).

Resultados semelhantes ao presente trabalho também foram relatados por Parecido (2016), que observou que as doses de N influenciaram a altura das plantas de forma quadrática positiva. Entretanto, o autor observou incrementos até a dose de 252 kg ha⁻¹ de N, valor menor que os pontos de máxima encontrados no presente estudo. Porém a cultivar testada no presente experimento apresentava-se em estágio maior de desenvolvimento e, possivelmente, tinha maior demanda de N. Outra diferença entre os trabalhos é que o solo do local do presente experimento caracteriza-se por ter textura arenosa, com altos teores de areia e baixo teor de matéria orgânica (Tabela 2). Isso interfere diretamente em suas propriedades físicas e influencia facilitando a lixiviação do N.

Resultados semelhantes aos do presente experimento foram encontrados por Silveira et al. (2016), em experimento realizado em Mococa-SP, trabalhando com a cultura do café arábica, aplicando doses de 192, 302 e 480 kg ha⁻¹ de N, parceladas em 3 vezes no período chuvoso. Os autores observaram que, no período de setembro a março, as plantas obtiveram incrementos de mais de 10 cm, sendo que os menores incrementos foram relatados nos meses de março a setembro. Esses resultados também corroboram trabalho realizado por Nazareno et al. (2003), em que as plantas de café não irrigadas apresentaram maior crescimento no período de outubro a dezembro, com a instalação do período quente e chuvoso, mostrando a habilidade da planta de recuperação do estresse termo-hídrico ocorrido no inverno. O aproveitamento de N pela planta de café arábica, em região de Cerrado, tem estreita relação com as crescentes doses de N e é influenciado pela época da adubação, sendo fundamental aplicá-las nas fases de maior necessidade do cafeeiro, que coincide com o período chuvoso (MARTINS, 1981).

Não houve diferença na altura das plantas de café arábica com a aplicação de ureia revestida ou de ureia convencional, em nenhuma das épocas de avaliação. Maestrello (2011) e Valderrama et al. (2014), também não constataram que a aplicação de ureia revestida por polímeros resultasse em diferenças significativas para altura das plantas de milho, em relação a aplicação da ureia convencional.

Mello et al. (2017), trabalhando em Selvíria-MS, com a cultura do milho, em duas safras e testando doses de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N e 4 formas de ureia (ureia convencional, com 45% de N e ureias revestidas por 3 diferentes polímeros, com 41, 43 e 45% de N), também não encontraram diferenças significativas entre as fontes testadas para altura de plantas. Os autores relataram uma provável ineficácia do revestimento nas condições da pesquisa, já que o trabalho foi realizado nas condições de Cerrado, com altas temperaturas e altos níveis de atividade de microorganismos.

A disponibilização do N, além de ser dependente das condições de precipitação, pode ser também influenciada pela temperatura e atributos relacionados com o solo, como poder tampão, pH, textura, aeração, potencial de água, quantidade de matéria orgânica, entre outros (PRIMAVESI et al., 2001), que são relevantes na volatilização do N (SENGIK et al., 2001), que também é influenciada pela velocidade do vento (HARPER; SHARPE, 1995; MARTHA JÚNIOR, 2003).

De acordo com Rodrigues et al. (2013), a eficácia de um fertilizante revestido depende da solubilidade do grânulo e da taxa de hidrólise, que regula o processo de liberação de nutrientes. As taxas de liberação e dissolução de fertilizantes solúveis em água dependem dos materiais de revestimento utilizados, da temperatura e da umidade do solo (CANTARELLA, 2007). Além disso, a espessura e a natureza química da resina de revestimento, a quantidade de microfissuras na superfície e o tamanho do grânulo do fertilizante também influenciarão a taxa de liberação de nutrientes ao longo do tempo (RODRIGUES et al., 2014).

Os nós presentes no ramo plagiotrópico, também chamados de ramos produtivos, são responsáveis pela produção dos frutos do cafeeiro (MATIELLO; GARCIA; ALMEIDA, 2008). No ano agrícola 2014/2015, o número de nós nos ramos plagiotrópicos da parte superior da planta, localizado imediatamente acima a lignificação do ramo ortotrópico foi influenciado pelas doses de N, mas não pela fonte, ou pela interação entre os fatores dose e fonte, nas três avaliações realizadas (Tabela 6).

Tabela 6 - Número de nós no ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16.

Tratamento	Época de avaliação		
	Mar.2015	Out. 2015	Mar. 2016
	(nº. de nós ramo ⁻¹)		
Fonte de N			
Ureia comum	14,1a ⁽²⁾	19,8a	24,8a
Ureia revestida	14,2a	19,9a	25,3a
Dose de N (kg ha ⁻¹)			
0	12,6	16,4	20,8
150	14,2	19,5	23,8
300	13,9	19,5	24,7
600	14,3	20,4	26,5
Regressão	⁽³⁾	⁽⁴⁾	⁽⁵⁾
Interação Dx ² F ⁽¹⁾	0,143	0,814	0,547
CV(%)	4,7	7,7	6,6

⁽¹⁾Interação considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽²⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator fonte de N, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade, na análise considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽³⁾ $y = 12,798 + 0,007469^{**}x - 0,000008^{**}x^2$ R² = 0,78; ⁽⁴⁾ $y = 16,671 + 0,016757^{**}x - 0,000018^{**}x^2$ R² = 0,90; ⁽⁵⁾ $y = 20,948 + 0,018361^{**}x - 0,000015^{**}x^2$ R² = 0,98. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Nos três períodos avaliados, de março de 2015 a março de 2016, a aplicação de doses crescentes de N promoveu efeitos quadráticos no número de ramos, com

incremento até as doses estimadas de 467, 466 e 612 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 6). Dados obtidos por Parecido (2016), trabalhando com a cultivar Catuaí Vermelho - IAC 99, em solo com maior teor de argila e maior teor de matéria orgânica que o presente experimento, mostraram que a aplicação de N em cobertura também proporcionou efeito positivo no número de nós no ramo plagiotrópico, porém com incrementos quadráticos até a dose de 235 kg ha⁻¹ de N. Nazareno et al. (2003), em experimento instalado no Cerrado Mineiro, com a cultivar Rubi MG 1192, em fase inicial de crescimento, também observaram que as doses de N influenciaram positivamente o número de nós por planta até a dose de 200 kg ha⁻¹ de N. Contudo, Vilela (2014), observou que diferentes cultivares de café com idades distintas, exigem níveis de nutrição diferenciados durante o ano e a cada ano, justificando as diferenças de doses ideais, encontradas entre os trabalhos citados.

Pois as necessidades nutricionais aumentam rapidamente da muda plantada até os 18 meses e crescem, abruptamente, aos 2,5 anos com a entrada da primeira safra, em que o cafeeiro apresenta maiores respostas a doses crescentes de N (MATIELLO; GARCIA; ALMEIDA, 2008).

Na avaliação de caracterização das plantas de café arábica, realizada em outubro de 2014, o número de nós médio obtido foi de 7,1 m, não havendo diferenças significativas entre os tratamentos. Na primeira avaliação em março de 2015, independente da fonte utilizada, as doses de 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N em cobertura promoveram incrementos de 7,1; 6,8 e 7,2 nós, respectivamente, em relação ao número médio de nós, enquanto que na testemunha, sem a aplicação de N, o incremento foi de 5,5 nós (Tabela 6). No período estudado, os resultados obtidos demonstram que, no período de março de 2015 a março de 2016, as doses de 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, independentemente da fonte, promoveram aumento de 10,8 e 12,2 nós, respectivamente, enquanto na testemunha, sem aplicação de N, o número médio de nós incrementado foi de 8,2 (Tabela 6).

Em trabalho realizado por Lima et al. (2016), em Araguari-MG, testando ureia revestida, na cultura do café arábica irrigado, também foram observados efeitos positivos no número de nós em relação à testemunha. Os autores observaram que, no período avaliado de outubro de 2012 até maio de 2013, nas doses de 210 e 300 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia convencional, o aumento médio foi de 10,9 nós. Já com a aplicação de ureia revestida nas mesmas doses observaram aumento médio de 9,3 nós, não havendo diferença significativa entre as fontes. No período de

outubro de 2013 a maio de 2014, para as mesmas doses de N, a ureia revestida promoveu aumento médio de 9,8 nós, enquanto que, com a ureia convencional repetiu-se o mesmo incremento de 10,9 nós. Contudo, não houve diferença entre a ureia revestida e a convencional nos resultados obtidos por Lima et al. (2016), com exceção do primeiro ano agrícola avaliado, em que a dose de 210 kg ha⁻¹ de N aplicado na forma de ureia revestida mostrou-se inferior aos demais tratamentos, revelando que fatores aleatórios do ambiente, como umidade e temperatura, interferem no revestimento da ureia e na disponibilização do N.

Uma das preocupações ao uso de adubos revestidos é que o revestimento faça uma proteção muito intensa e que prejudique a disponibilização do nutriente para o solo e, conseqüentemente, para a planta, fato esse não observado no trabalho de Lima et al. (2016) e também no presente estudo.

Em todos os períodos avaliados, as doses de N influenciaram positivamente o comprimento dos ramos plagiotrópicos (Tabela 7). Os efeitos da aplicação das doses crescentes de N foram quadráticos para as épocas de avaliação de março de 2015, outubro de 2015 e março de 2016, com incrementos até as doses estimadas de 424, 417 e 443 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7 - Comprimento do ramo plagiotrópico da planta de café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16.

Tratamento	Época de avaliação		
	Mar.2015	Out. 2015	Mar. 2016
	(cm)		
Fonte de N			
Ureia comum	42,4a ⁽²⁾	53,3a	63,1a
Ureia revestida	43,1a	52,8a	62,8a
Dose de N (kg ha ⁻¹)			
0	35,5	40,7	47,9
150	42,4	51,8	60,6
300	42,7	53,8	63,6
600	43,2	53,5	64,6
Regressão	⁽³⁾	⁽⁴⁾	⁽⁵⁾
Interação Dx ⁽¹⁾	0,667	0,217	0,233
CV(%)	6,9	9,1	6,4

⁽¹⁾Interação considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽²⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator fonte de N, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade, na análise considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽³⁾ $y = 36,026 + 0,039810^{**}x - 0,000047^{**}x^2$ R² = 0,91; ⁽⁴⁾ $y = 41,315 + 0,071724^{**}x - 0,000086^{**}x^2$ R² = 0,96; ⁽⁵⁾ $y = 48,574 + 0,082349^{**}x - 0,000093^{**}x^2$ R² = 0,97. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

A avaliação de caracterização das plantas de café arábica, realizada em outubro de 2014, mostrou que o comprimento médio dos ramos plagiotrópicos era de 22,6 cm e não haviam diferenças entre os tratamentos (Tabela 7). No período avaliado, de março de 2015 a março de 2016, a aplicação das doses de 150, 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, promoveu aumento no comprimento dos ramos plagiotrópicos de 18,2, 20,9 e 21,4 cm, respectivamente, enquanto a testemunha sem aplicação de N foi de 12,4 cm. Resultados relatados por Lima et al. (2016), também mostraram correlação positiva com as doses de N e o aumento no comprimento dos ramos plagiotrópicos. No período de outubro de 2012 a maio de 2013, os autores observaram que, com a utilização das doses de 210 e 300 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia convencional, os incrementos foram de 24,8 e 28,5 cm, respectivamente; enquanto que para as mesmas doses de N na forma de ureia revestida, o crescimento dos ramos plagiotrópicos foi de 28,5 e 23,2 cm. Já no tratamento em que não se aplicou N, o incremento no mesmo período foi de 10,5 nós. Prezotti e Guarçoni (2013) relataram que a carência de N promove a diminuição do crescimento da planta e dos ramos.

É interessante destacar o efeito positivo que a adubação nitrogenada promove no crescimento dos ramos plagiotrópicos, e o que estes podem proporcionar na produtividade da cultura. De acordo com Rena e Maestri (1986), em café arábica, as inflorescências são formadas nas axilas das folhas dos ramos plagiotrópicos crescidos no ano anterior e esses nós produzem flores apenas uma vez. Esse fato faz com que o crescimento dos ramos seja uma das características a serem utilizadas para se fazer previsões da safra futura. Assim, quanto maior o crescimento dos ramos plagiotrópicos, maior será o potencial produtivo do ano seguinte, pela presença de maior número de nós e, conseqüentemente, maior número de inflorescências.

Não houve diferença no comprimento dos ramos plagiotrópicos das plantas de café tratadas com ureia revestida ou ureia convencional, em nenhuma das épocas de avaliação (Tabela 7). Da mesma forma não encontrou-se diferença significativa em relação as fontes testadas, em todas as avaliações de crescimento dos cafeeiros no presente estudo (Tabelas 4, 5, 6 e 7). Esses resultados corroboram os de Valderrama (2011), Maestrello (2011), Valderrama et al. (2011), Silva et al. (2012), Valderrama et al. (2014) e Mello et al. (2017). Tal fato pode ser justificado devido à ocorrência de precipitações próximas de 30 mm após a realização das adubações de cobertura. Precipitações ou lâmina de água de irrigação entre 20 à 30 mm

tendem a proporcionar incorporação da ureia, fazendo com que haja diminuição de perdas por volatilização de N (MAESTRELO, 2011), fazendo com que a disponibilização do N através da fonte ureia convencional fosse semelhante à ureia revestida.

O teor de N nas folhas foi influenciado positivamente pelas crescentes doses do elemento, em todas as épocas de avaliação (Tabelas 8 e 9). A aplicação de N em cobertura teve efeitos quadráticos nos teores de N nas folhas do cafeeiro, nas avaliações de março de 2015, 2016 e 2017, com incrementos até as doses estimadas de 570, 543, 431 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 8 e 9). Já em outubro de 2015 e 2016, a aplicação de N em cobertura proporcionou efeitos lineares no incremento de N nas folhas (Tabela 8 e 9). Os dados corroboram os obtidos de Alves et al. (2007), que trabalhando com a cultivar Catuaí Vermelho IAC 44, em Piracicaba-SP, com a aplicação de 150 e 300 kg ha⁻¹ de N obtiveram também resposta linear positiva com a aplicação de N. Resultados encontrados por Parecido (2016) mostraram também correlação positiva, em que a aplicação de N proporcionou incremento no teor desse nutriente nas folhas do cafeeiro, até a dose estimada de 273 kg ha⁻¹ de N. As doses crescentes de ureia aplicadas no cafeeiro promoveram o maior crescimento e desenvolvimento das plantas e, as plantas que não receberam a aplicação de N em cobertura, apresentaram maior deficiência desse elemento, principalmente nos ramos carregados, ocorrendo queda das folhas mais velhas nas plantas com deficiência de N, estando de acordo com os dados obtidos por Parecido (2016).

Tabela 8 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas do café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação no ano agrícolas 2014/15.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
(g kg ⁻¹)						
Mar.2015						
Fonte de N						
Ureia comum	24,6a ⁽²⁾	1,4a	19,8a	11,1a	2,5a	1,8a
Ureia revestida	25,7a	1,5b	18,8a	11,2a	2,6a	1,7a
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	18,7	1,4	23,2	8,4	1,8	1,9
150	22,7	1,4	19,9	11,4	2,3	1,9
300	25,5	1,4	17,7	10,5	2,6	1,7
600	27,3	1,5	20,3	10,6	2,8	1,6
Regressão	⁽³⁾	ns	⁽⁴⁾	⁽⁵⁾	⁽⁶⁾	ns
Interação DxF ⁽¹⁾	0,085	0,028	0,040	0,023	0,047	0,637
CV(%)	5,5	10,2	13,2	13,0	11,8	17,5
Out.2015						
Fonte de N						
Ureia comum	27,6a ⁽²⁾	1,5a	23,6a	5,4a	2,2a	1,7a
Ureia revestida	27,5a	1,5a	24,4a	5,2a	2,0a	1,7a
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	24,9	1,7	22,8	6,8	2,5	2,3
150	27,7	1,6	24,0	5,8	2,3	1,7
300	27,0	1,6	23,6	4,8	2,0	1,8
600	27,8	1,4	24,4	5,3	2,1	1,7
Regressão	⁽⁷⁾	⁽⁸⁾	ns	⁽⁹⁾	⁽¹⁰⁾	⁽¹¹⁾
Interação DxF ⁽¹⁾	0,193	0,120	0,916	0,744	0,536	0,195
CV(%)	8,0	9,7	6,5	12,3	12,1	14,1

⁽¹⁾Interação considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽²⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator fonte de N, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade, na análise considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽³⁾ $y = 18,695 + 0,030803^{**}x - 0,000027^{**}x^2$ R² = 0,99; ⁽⁴⁾ $y = 23,320 - 0,031151^{*}x - 0,000044^{**}x^2$ R² = 0,99; ⁽⁵⁾ $y = 8,631 + 0,018752^{**}x - 0,000026^{**}x^2$ R² = 0,91; ⁽⁶⁾ $y = 1,819 + 0,003512^{**}x - 0,000003^{**}x^2$ R² = 0,99; ⁽⁷⁾ $y = 25,901 + 0,003674^{*}x$ R² = 0,46; ⁽⁸⁾ $y = 1,694 - 0,000477^{**}x$ R² = 0,94; ⁽⁹⁾ $y = 6,833 - 0,009952^{**}x + 0,000012^{**}x^2$ R² = 0,98; ⁽¹⁰⁾ $y = 2,499 - 0,002524^{**}x + 0,000003^{**}x^2$ R² = 0,94; ⁽¹¹⁾ $y = 2,235 - 0,002857^{**}x + 0,000003^{**}x^2$ R² = 0,85; ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Tabela 9 - Teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) nas folhas do café arábica em função de fontes e doses de N, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2015/16 e 2016/17.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
(g kg ⁻¹)						
Mar.2016						
Fonte de N						
Ureia comum	27,6b ⁽²⁾	1,3a	22,7a	5,5a	2,4a	1,6a
Ureia revestida	28,6a	1,2b	22,3a	5,6a	2,3a	1,7a
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	21,0	1,5	22,0	6,2	2,3	1,6
150	26,7	1,2	22,7	5,7	2,3	1,6
300	27,5	1,3	22,8	5,2	2,3	1,7
600	30,2	1,1	21,9	5,7	2,5	1,8
Regressão	⁽³⁾	⁽⁴⁾	ns	⁽⁵⁾	⁽⁶⁾	ns
Interação DxF ⁽¹⁾	0,730	0,055	0,423	0,470	0,733	0,251
CV(%)	6,0	11,2	9,9	12,2	8,7	10,8
Out.2016						
Fonte de N						
Ureia comum	25,0a	1,2b	27,1a	9,0a	2,4a	2,1a
Ureia revestida	25,0a	1,3a	27,4a	9,1a	2,5a	2,1a
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	21,0	1,5	27,6	10,6	2,5	2,8
150	22,8	1,2	27,7	10,4	2,5	2,4
300	24,7	1,3	28,4	8,3	2,3	2,0
600	27,5	1,3	25,6	8,4	2,4	2,0
Regressão	⁽⁷⁾	⁽⁸⁾	⁽⁹⁾	⁽¹⁰⁾	ns	⁽¹¹⁾
Interação DxF ⁽¹⁾	0,151	0,933	0,603	0,134	0,521	0,625
CV(%)	6,6	14,5	8,4	7,4	7,6	14,8
Mar.2017						
Fonte de N						
Ureia comum	26,2a	1,15a	17,4a	8,9a	2,6a	1,6a
Ureia revestida	26,2a	1,20a	17,6a	9,1a	2,6a	1,7a
Dose de N (kg ha ⁻¹)						
0	19,3	1,4	22,6	11,5	2,6	2,7
150	25,6	1,2	23,9	10,0	2,7	1,6
300	26,7	1,1	15,3	8,2	2,4	1,7
600	27,0	1,2	13,4	8,8	2,7	1,8
Regressão	⁽¹²⁾	⁽¹³⁾	⁽¹⁴⁾	⁽¹⁵⁾	ns	⁽¹⁶⁾
Interação DxF ⁽¹⁾	0,782	0,131	0,940	0,258	0,257	0,880
CV(%)	6,7	8,9	16,7	13,1	14,4	17,2

⁽¹⁾Interação considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽²⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator fonte de N, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade, na análise considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽³⁾ $y = 21,450 + 0,031481^{**}x - 0,000029^{**}x^2$ R² = 0,95; ⁽⁴⁾ $y = 1,448 - 0,001112^{**}x + 0,000001^{**}x^2$ R² = 0,83; ⁽⁵⁾ $y = 6,245 - 0,005610x - 0,000008^{**}x^2$ R² = 0,97; ⁽⁶⁾ $y = 2,232 + 0,000342^{**}x$ R² = 0,73; ⁽⁷⁾ $y = 21,187 + 0,010767^{**}x^2$ R² = 0,99; ⁽⁸⁾ $y = 1,436 - 0,001436x + 0,000002^{**}x^2$ R² = 0,66; ⁽⁹⁾ $y = 28,179 - 0,003270^{**}x$ R² = 0,48; ⁽¹⁰⁾ $y = 10,910 - 0,009315^{**}x + 0,000008^{**}x^2$ R² = 0,80; ⁽¹¹⁾ $y = 2,795 - 0,003704^{**}x + 0,000004^{**}x^2$ R² = 0,98; ⁽¹²⁾ $y = 19,708 + 0,039684^{**}x - 0,000046^{**}x^2$ R² = 0,95; ⁽¹³⁾ $y = 1,369 - 0,001383^{**}x + 0,000002^{**}x^2$ R² = 0,99; ⁽¹⁴⁾ $y = 23,511 - 0,017900^{**}x$ R² = 0,77; ⁽¹⁵⁾ $y = 11,657 - 0,016604^{**}x + 0,000020^{**}x^2$ R² = 0,97; ⁽¹⁶⁾ $y = 2,551 - 0,005803^{**}x + 0,000008^{**}x^2$ R² = 0,83; ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

A ureia revestida proporcionou maior teor de N nas folhas que a ureia convencional apenas na avaliação de março de 2016 (Tabela 9). Isso pode ser explicado devido ao fato de que nos períodos de dezembro de 2015 e janeiro e fevereiro de 2016 ocorreram elevadas precipitações (Tabela 1), ocasionando, possivelmente, maior lixiviação do N, oriundo da ureia convencional.

Situação semelhante foi relatado por Frazão et al. (2014), em experimento com a cultura do milho em Goiânia-GO, aplicando doses de 32,5, 65, 130 e 260 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia convencional, ureia tratada com o inibidor de urease NBPT e ureia revestida Kimcoat®. Os autores observaram que o revestimento da ureia com polímeros favoreceu o teor de N na folha. Segundo eles, os dados de precipitação pluvial, durante a condução do experimento, nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, foram, respectivamente, 255, 175, 310, 155 e 240 mm, o que leva a crer que, assim como no presente experimento, devido a ocorrência de elevadas precipitações, houve uma maior perda do N oriundo da ureia convencional. Ernani, Sangoi, Rampazzo (2002), demonstraram que quando há percolação de água no solo, as perdas de N por lixiviação são altas, independentemente do manejo da adubação nitrogenada.

De acordo com Ferreira (2010), a ureia revestida por polímeros é menos sensível ao processo de lixiviação, pois a primeira camada de revestimento reduz o processo de nitrificação, pelo sequestro de íons de Cu e Fe, que é realizado por bactérias do solo, assim o N na forma de amônia (NH₃) será transformado em íon amônio (NH₄⁺) e estará disponível em sua maior parte na forma amoniacal, reduzindo assim as transformações nas formas nítricas (NO₃⁻). Os outros dois polímeros estarão em solução junto com o amônio (NH₄⁺) dificultando assim o seu reconhecimento pelas bactérias nitrificadoras e com isso reduz-se a perda por lixiviação, além de reduzir o gasto energético pelas plantas para metabolizar o nitrogênio na forma amoniacal (NH₄⁺).

Outra situação que supostamente pode ocorrer é a minimização do processo de liberação do nutriente contido no interior dessas camadas protetoras, pois a estrutura dos grânulos desses fertilizantes encapsulados propicia melhor eficiência da ureia revestida, permitindo sincronização da liberação de nutrientes (CAHILL et al., 2010) e possibilitando um aumento da eficiência de recuperação do nutriente aplicado ao solo (MOTAVALLI; GOYNE; UDAWATTA, 2008).

Contudo, em trabalho realizado por Valderrama et al. (2014), em Selvíria-MS, com a cultura do milho, em Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa e com doses de 0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de N, comparando a ureia convencional com três tipos de ureia revestida, em duas safras, também observou-se ajuste linear crescente para o teor N nas folhas do milho, nos dois experimentos, entretanto, não houve diferença significativa entre o teor foliar de N para as diferentes fontes em nenhuma das safras, demonstrando que as ureias com diferentes revestimentos não afetaram o estado nutricional de N da planta.

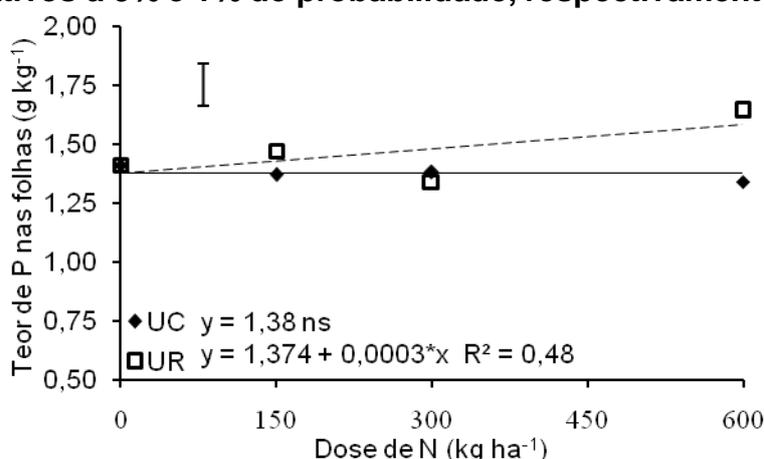
Peixoto et al. (2009), trabalhando em Latossolo Vermelho Amarelo, na região de Chapadão do Céu-GO, observaram que a cultura do milho respondeu significativamente às fontes de N (ureia, ureia revestida, super N e sulfato de amônio), no que diz respeito aos teores foliares de N, apontando que a aplicação de ureia revestida proporcionou maiores teores de N foliar, independente da dose utilizada, seguida da ureia convencional. De acordo com os autores, enquanto com a ureia revestida os teores foliares de N estiveram dentro da faixa ideal, a partir da dose de 50 kg ha⁻¹ de N, a ureia convencional atingiu o nível crítico a partir da dose estimada de 78 kg ha⁻¹ de N, evidenciando a maior eficiência da ureia revestida. Já Maestrello (2011) observou que a aplicação de ureia convencional diferiu significativamente da ureia revestida para o teor foliar de N.

Para todas as avaliações realizadas, independente da dose aplicada, os teores foliares de N estavam abaixo ou no limite dos valores considerados como adequados para a cultura do café (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013), com exceção da avaliação de março de 2016, em que os teores foliares de N estavam dentro dos valores considerados como adequados na dose aplicada de 600 kg ha⁻¹ de N.

Em março de 2015, foi observado que as doses de N em cobertura não influenciaram o teor foliar de P (Tabela 8). Já em outubro de 2015, a aplicação de N em cobertura proporcionou menores teores do elemento nas folhas dos cafeeiros promovendo efeito linear decrescente, até a dose de 600 kg ha⁻¹ de N, evidenciando menor absorção de P pelas plantas (Tabela 8). Nas avaliações de março de 2016 até março de 2017, a aplicação de N em cobertura proporcionou efeito quadrático negativo até as doses de 556, 359, 346 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 9). Na avaliação de março de 2015, a aplicação de N em cobertura, na forma de ureia revestida, proporcionou maior teor foliar de P (Tabela 8). No desdobramento da interação dose x fonte, foi observado efeito linear crescente no teor de P nas folhas,

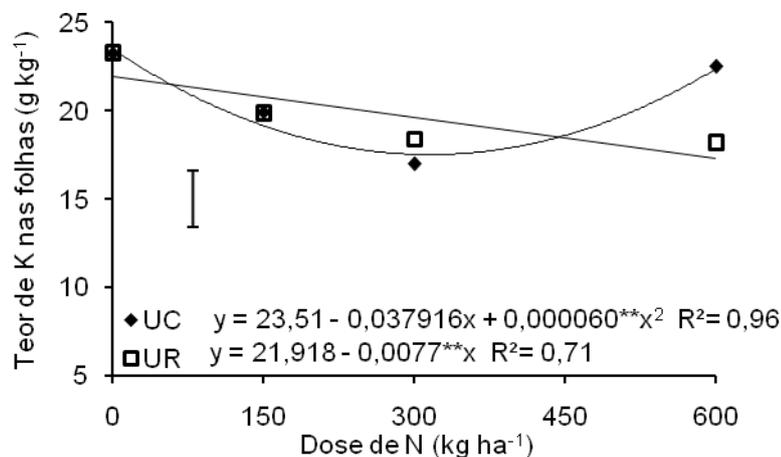
quando se utilizou ureia revestida, em detrimento da aplicação da ureia convencional, cujo efeito não foi significativo (Figura 3). Na avaliação de março de 2016, a aplicação de N através da fonte ureia revestida promoveu menor teor foliar de P (Tabela 9). Já em outubro de 2016 ocorreu o inverso, a aplicação de N em cobertura, na forma de ureia revestida proporcionou um maior teor foliar de P (Tabela 9).

Figura 3 - Teores de P nas folhas do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS ($P=0,05$). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.



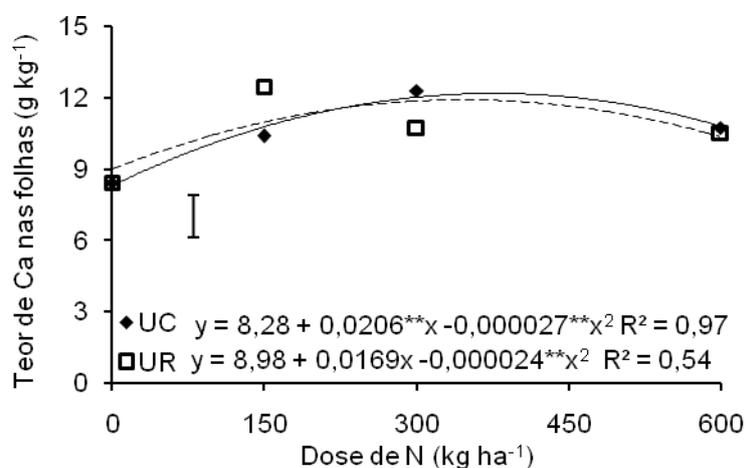
Para os teores foliares de K, o efeito da aplicação das doses de N promoveu efeito quadrático no período de março de 2015, com redução até as doses estimadas de 354 kg ha⁻¹ de N (Tabela 8). A aplicação de N em cobertura não influenciou os teores de K nas folhas do cafeeiro em outubro de 2015, observando que nesse período de avaliação os teores foliares estavam dentro dos referenciados como adequados (RAIJ et al., 1997). Nas avaliações de outubro de 2016 e março de 2017, a aplicação das doses de N promoveu efeito linear decrescente no teor foliar de K (Tabela 9). Em nenhum dos períodos avaliados ocorreram diferenças significativas entre as fontes de N aplicadas. Apenas no primeiro período de avaliação (março de 2015) houve interação entre o fator dose versus fonte (Tabela 8). No desdobramento da interação, que ocorreu nesse período, observou-se que o teor foliar de K foi influenciado negativamente pelas doses de N, de forma linear pela ureia revestida e de forma quadrática pela ureia convencional, com ponto de mínima na dose de 316 kg ha⁻¹ de N (Figura 4). Isso pode ter ocorrido devido, principalmente, ao efeito da diluição desse nutriente.

Figura 4 - Teores de K nas folhas do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.



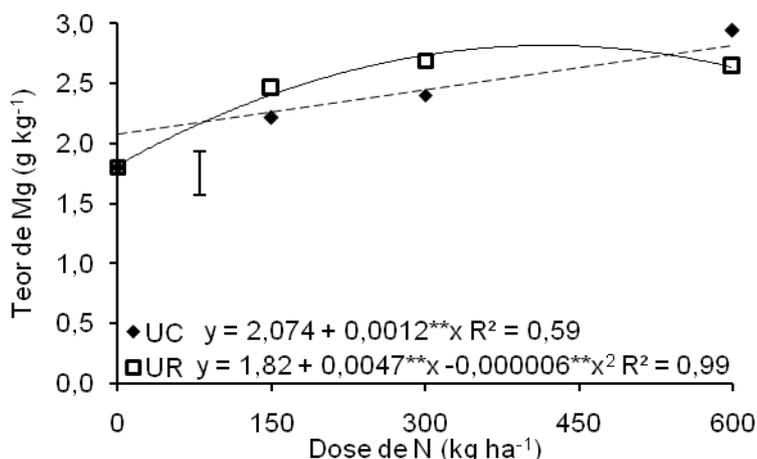
A aplicação das doses de N, em todas as avaliações, com exceção de março de 2015 (primeira avaliação), influenciou de forma negativa os teores foliares de Ca, promovendo efeitos quadráticos até as doses estimadas 415, 351, 582 e 415 kg ha⁻¹ de N, respectivamente (Tabela 8 e 9). Em nenhuma das avaliações ocorreram diferenças significativas entre as fontes de N aplicadas. Apenas em março de 2015 houve interação entre as fontes e as doses de N aplicadas. No desdobramento da interação observou-se que o teor de Ca nas folhas de café teve seu ponto de máximo na dose de 352 kg ha⁻¹ de N, quando se aplicou ureia revestida, enquanto que a aplicação de N na forma de ureia convencional o ponto de máxima foi na dose de 382 kg ha⁻¹ de N (Figura 5), sendo que através da aplicação de menores doses de N, através da ureia revestida, atingiu-se o mesmo teor foliar de Ca.

Figura 5 - Teores de Ca nas folhas do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.



Na primeira avaliação, a aplicação de N em cobertura promoveu efeito quadrático nos teores foliares de Mg, com incrementos até a dose de 585 kg ha⁻¹ de N (Tabela 8). Já na segunda avaliação (outubro de 2015) a aplicação de N, promoveu efeito quadrático negativo com incrementos até a dose de 421 kg ha⁻¹ de N. Em março de 2016, a aplicação de N em cobertura promoveu efeito linear positivo, e nas duas últimas avaliações não houve efeitos das doses de N sobre os teores foliares de Mg (Tabela 9). Em nenhuma das avaliações ocorreram diferenças significativas entre as fontes de N aplicadas. Apenas em março de 2015 houve interação entre as fontes e as doses de N aplicadas (Tabela 8). No desdobramento da interação observou-se que para o teor de Mg nas folhas, a resposta as doses de N fornecidas através da ureia revestida seguiram um modelo quadrático, com incrementos até a dose de 392 kg ha⁻¹ de N, enquanto as doses de N fornecidas pela ureia convencional proporcionaram efeito linear crescente (Figura 6).

Figura 6 - Teores de Mg nas folhas do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.



A aplicação de N em cobertura não influenciou o teor de S nas folhas do cafeeiro, nas avaliações de março de 2015 (Tabela 8) e março de 2016 (Tabela 9). Em outubro de 2015 e 2016, e em março de 2017, a aplicação de N em cobertura promoveu efeitos quadráticos negativos com reduções até as doses de 476, 463 e 363 kg ha⁻¹ de N (Tabela 8 e 9). Para todos os períodos avaliados não ocorreram diferenças significativas entre as fontes de N aplicadas, não havendo também interações entre os fatores estudados.

Segundo Lima (2009), no estudo da nutrição mineral de plantas é fundamental considerar os nutrientes como um todo, pois um elemento é capaz de exercer influência sobre o outro, resultando nas possíveis interações que podem ocorrer na composição mineral das folhas. De forma geral, observa-se no presente estudo que, com o aumento das doses de N em cobertura ocorreu diminuição dos teores foliares de P, K e Ca nas épocas de maior demanda de nutrientes, que são as fases de crescimento da planta e enchimento de grãos, com exceção do primeiro ano de avaliação para os teores de Ca (Tabela 8 e 9). Os teores da maioria dos elementos avaliados, estavam dentro das faixas consideradas adequadas para a cultura do café de acordo com Prezotti e Guarçoni (2013), com exceção do Ca no ano agrícola 2015/2016, e Mg em todas as épocas avaliadas, que estavam abaixo dos valores referenciados como adequados (Tabela 8 e 9).

Através de medidas do clorofilômetro, nas avaliações de março de 2015, 2016 e 2017 observou-se que a aplicação de N em cobertura proporcionou efeitos quadráticos positivos, com incrementos dos valores SPAD até as doses de 446, 569

e 434 kg ha⁻¹ de N e, nas avaliações de outubro de 2015 e 2016, a aplicação de N em cobertura proporcionou efeitos lineares positivos até a dose de 600 kg ha⁻¹ de N (Tabela 10).

Tabela 10 - Medidas de clorofilômetro SPAD aferidas no terço médio superior da planta de café arábica em função de fontes e doses de N via solo, em diferentes épocas de avaliação nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

Tratamento	Época de avaliação				
	Mar. 2015	Out. 2015	Mar. 2016	Out. 2016	Mar. 2017
	Valores SPAD				
Fonte de N					
Ureia comum	58,2b ⁽²⁾	58,5a	56,1a	49,1a	54,9a
Ureia revestida	59,6a	59,3a	57,3a	50,2a	56,0a
Dose de N (kg ha ⁻¹)					
0	45,3	50,9	41,5	40,9	38,0
150	55,9	55,8	50,3	45,1	53,8
300	60,2	58,8	57,8	49,2	55,5
600	60,6	62,1	62,0	54,6	57,0
Regressão	⁽³⁾	⁽⁴⁾	⁽⁵⁾	⁽⁶⁾	⁽⁷⁾
Interação DxF	0,542	0,875	0,757	0,519	0,445
CV(%)	4,1	6,3	7,3	5,4	7,7

⁽¹⁾Interação considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽²⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator fonte de N, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade, na análise considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽³⁾ $y = 45,620 + 0,075855^{**}x - 0,000085^{**}x^2$ R² = 0,99; ⁽⁴⁾ $y = 52,158 + 0,018008^{**}x$ R² = 0,93; ⁽⁵⁾ $y = 41,323 + 0,072862^{**}x - 0,000064^{**}x^2$ R² = 0,99; ⁽⁶⁾ $y = 41,510 + 0,022644^{**}x$ R² = 0,99; ⁽⁷⁾ $y = 39,141 + 0,094692^{**}x - 0,000109^{**}x^2$ R² = 0,94; ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Apenas na avaliação de março de 2015, a utilização da ureia revestida proporcionou resultados superiores à utilização da ureia convencional (Tabela 10). Nas outras quatro avaliações, não houve diferenças significativas entre as fontes utilizadas. Valderrama et al. (2014) não encontraram diferenças com relação aos valores revelados pelo clorofilômetro para as diferentes doses de ureia revestida, porém, as maiores doses de N também promoveram incremento linear no índice de clorofila foliar e no teor de N foliar, no cultivo do milho safrinha. Informações semelhantes são encontradas no presente estudo, pois as doses crescentes de N, aplicadas na cultura do café arábica, também afetaram o conteúdo de N nas folhas e, por este nutriente estar presente na molécula de clorofila, tal incremento pode ser explicado. Dessa forma, no presente estudo, o teor de N nas folhas de café relaciona-se positivamente com as medidas encontradas no clorofilômetro.

Alguns pesquisadores também evidenciaram relação positiva entre leitura do clorofilômetro e teor de clorofila na folha e entre teor de clorofila na folha e teor de N

na planta (ARGENTA et al., 2003). Malavolta (1993) relatou que a escassez ou o excesso de N nas plantas pode causar um estresse nutricional afetando o processo metabólico dos vegetais. O N é um elemento extremamente móvel no floema e quando ocorre sua deficiência, as folhas mais velhas começam a perder a coloração verde intensa passando a uma tonalidade verde claro que lentamente vai sendo substituída por uma clorose da parte vegetativa.

No presente trabalho observou-se nas parcelas que não receberam adubação nitrogenada (testemunha) que os valores SPAD foram menores e que as folhas do cafeeiro apresentaram coloração verde claro desde a primeira avaliação, mostrando claramente a deficiência de N. O valor SPAD 50,9 encontrado na avaliação de outubro de 2015 foi decaindo até a última avaliação, em março de 2017, quando foi de 38 (Tabela 10). Dessa forma, a deficiência de N, observado nas plantas do tratamento testemunha, foi ao longo do período estudado se agravando, evidenciado que pelo fato do elemento encontrar-se, principalmente, nos cloroplastos das folhas, bem como na molécula de clorofila; a sua deficiência na planta, pode ter levado aos cafeeiros que não receberam adubação nitrogenada à diminuírem suas reservas de N. De acordo com Malavolta (1993), o N é um nutriente muito móvel no floema, o que o possibilita de transitar de um local de residência para atender a demanda das regiões de maior necessidade, de modo que, a falta desse elemento, que causa clorose generalizada, se inicie pelas folhas mais velhas e, conseqüentemente, pode levar estas a sua queda, no caso de deficiências mais severas, fato esse observado nas plantas no tratamento testemunha a partir da terceira avaliação.

As avaliações realizadas em épocas de maior demanda de N pela planta, meses de março de 2015, 2016 e 2017, fase principal de enchimento de grãos, registrou-se menores valores SPAD, indicando intensa mobilização do N, da folha para o fruto. Em outubro de 2016, os valores SPAD também foram baixos, fato explicado pelo período agrícola 2015/16 ser um ano de alta produção e a planta de café arábica ter passado por um período de maior consumo de N (Tabela 10). Situação essa observada com as doses crescentes de N, no período acima descrito, independente da fonte utilizada, os valores SPAD também foram menores no ano agrícola 2015/16.

Em experimento com objetivo de estabelecer valores para calibração do clorofilômetro Minolta SPAD-502, o mesmo utilizado para aferir os valores no presente experimento, França, Souza, Alves (2007), trabalhando com diferentes

tonalidades de folhas de cafeeiro da cultivar Topázio (MG-1190), fizeram a classificação da seguinte forma: verde amarelado (10-25 unidades SPAD), verde claro (25-40 unidades SPAD), verde (40-55 unidades SPAD) e verde escuro intenso (55-70 unidades SPAD), assim em todos os períodos avaliados nesse trabalho, onde aplicou-se a dose de 300 e 600 kg ha⁻¹ de N, independente da fonte, todas os valores SPAD se encaixam dentro desta faixa, apresentando um índice de clorofila elevado, com exceção do ano agrícola 2015/16, fato esse explicado anteriormente.

Em trabalho realizado por Morasi et al. (2015), na cultura do café arábica, foram encontrados valores com comportamentos similares pelo medidor portátil de clorofila e pela análise foliar. Segundo Prado, Romualdo, Rozane (2007), que estudaram a omissão de macronutrientes em plantas de sorgo, a carência de N está associada com a menor produção de clorofila, ocasionando também modificação nos cloroplastos que, quando comparado com os de uma planta bem suprida de N, esses são menores e achatados. Contudo, folhas bem nutridas com N, contribuirão para aumentar as taxas de fotossíntese e, possivelmente, para uma maior produtividade de grãos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A produtividade de grãos beneficiados teve influência do aumento das doses de N aplicada, nas três safras avaliadas (Tabela 11). A safra de 2015 foi influenciada pelas doses de N em cobertura de forma linear positiva. Entretanto, a produtividade obtida em 2015 foi limitada pela quantidade de ramos que cresceu no ano anterior ao início do experimento, ou seja, sob a influência da adubação realizada em 2013/2014. Assim, a adubação iniciada em outubro de 2014 não interferiu no número de gemas que se formaram no ano anterior, sob a influência da adubação executada antes do início do experimento, e que limitaram a produção de todas as parcelas na safra 2015. Franco et al. (1960), em experimento em Ribeirão Preto-SP, com doses de N na forma de sulfato de amônio (20,5% de N), em cafeeiro arábica, obtiveram incrementos lineares positivos na produtividade do café, com respostas lineares até a dose testada de 294 kg ha⁻¹ de N.

Tabela 11 - Produtividade de grãos beneficiados de café arábica em função de fontes e doses de N, nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

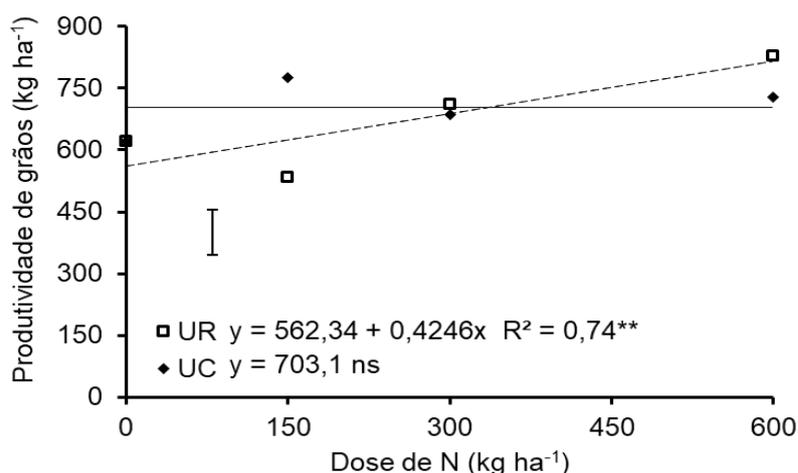
Tratamento	Anos da colheita			Média (3 anos)
	Junho. 2015	Junho. 2016	Junho. 2017	
	(kg ha ⁻¹)			
Fonte de N				
Ureia comum	691a ⁽²⁾	3276a	2467a	2147a
Ureia revestida	730a	3306a	2444a	2158a
Dose de N (kg ha ⁻¹)				
0	621	1308	1290	1073
150	654	2567	2007	1743
300	699	3414	2162	2092
600	779	3892	3197	2623
Regressão	(3)	(4)	(5)	(6)
Interação DxF ⁽¹⁾	<0,001	0,913	0,419	0,149
CV(%)	14,9	12,0	14,3	8,1

⁽¹⁾Interação considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽²⁾Médias seguidas por letras distintas, na coluna dentro do fator fonte de N, diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade, na análise considerando apenas o fatorial 2 fontes x 3 doses. ⁽³⁾ $y = 618,275 + 0,267336^{**}x$ $R^2 = 0,99$; ⁽⁴⁾ $y = 1308,296 + 9,741044^{**}x - 0,009060^{**}x^2$ $R^2 = 0,99$; ⁽⁵⁾ $y = 1369,486 + 3,026328^{**}x^2$ $R^2 = 0,97$; ⁽⁶⁾ $y = 1094,593 + 4,401412^{**}x - 0,003111^{**}x^2$ $R^2 = 0,99$. ns, * e ** são não-significativos e significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Em 2015, houve interação significativa entre as doses aplicadas de N e as fontes de ureia para a produtividade de grãos (Tabela 11). No desdobramento da interação dose x fonte observou-se que a aplicação de N na forma de ureia revestida proporcionou efeito linear positivo, enquanto a ureia convencional não afetou a produtividade de grãos (Figura 7). Tal fato pode ser explicado observando que em outubro de 2014 foi um período que choveu apenas 37,3 mm (Tabela 1). Em períodos de menor disponibilidade hídrica o N disponibilizado aos cafeeiros na forma de ureia convencional pode ter sofrido mais intensamente o processo de volatilização de N. Dados obtidos por Martins, Cazetta, Fukuda (2014), em Jaboticabal-SP, com a cultura do milho, demonstraram que a ureia revestida, quando aplicada em altas doses na superfície do solo, em período de veranico, propiciaram maior produtividade de grãos que a ureia comum, sendo que as maiores diferenças somente puderam ser claramente distinguidas a partir da dose de 217,5 kg ha⁻¹. Os autores acima justificaram que em períodos de adequada disponibilidade hídrica não houve diferenças entre a aplicação da ureia revestida e convencional. Contudo, nas doses inferiores a 300 kg ha⁻¹ de N, observou-se que a ureia revestida não proporcionou maior produtividade que a ureia convencional (Figura 7). O que pode ter ocorrido é que a ureia revestida possivelmente não disponibilizou as quantidades suficientes de N para a planta no momento necessário, que também

pode ter sido influenciado negativamente pelas condições edafoclimáticas. Já a partir de dezembro ocorreu maior número de precipitações e essas foram bem distribuídas até março de 2015, promovendo menor variabilidade entre as fontes aplicadas.

Figura 7 - Produtividade de grãos beneficiados do café arábica em função de doses de N via solo no ano 2014/2015. Barra vertical indica a DMS (P=0,05). * e ** são significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.



Na safra de 2016, a produtividade de grãos beneficiados foi influenciada pelas doses de N em cobertura de forma quadrática positiva até a dose de 538 kg ha⁻¹ de N (Tabela 11). Na safra de 2017, a produtividade de grãos beneficiados foi influenciada pelas doses de N em cobertura de forma linear positiva até a dose de 600 kg ha⁻¹ de N.

Em relação à média das produtividades, a aplicação de N em cobertura incrementou de forma quadrática positiva a produtividade de grãos beneficiados, até a dose estimada de 707 kg ha⁻¹ de N (Tabela 11). O valor estimado é duas vezes maior que a dose recomendada para a cultura do café para uma produtividade de 2.400 a 3.600 kg ha⁻¹ de café beneficiado (RAIJ et al., 1997). Em estudo realizado por Quintela et al. (2011), em Garanhuns-PE, na cultura do café arábica irrigado, com a cultivar Catuaí Vermelho IAC H2077-2-5-24, de cinco anos de idade, trabalhando com doses de 0, 100, 200, 300, 400 e 500 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, observaram que a produtividade de grãos beneficiados foi influenciada significativamente pelas doses de N, mostrando um ajuste quadrático com incrementos até a dose estimada de 338 kg ha⁻¹. Possivelmente esta resposta esteja relacionada, entre outros fatores, à textura arenosa do solo e baixa quantidade de

matéria orgânica no solo do presente estudo (Tabela 2). De acordo com Barros (2013), a matéria orgânica desempenha função primordial no solo, pois além da retenção da umidade, ela possibilita a incorporação de N, além do aumento do tamponamento do solo. Temperaturas elevadas e o efeito da bienalidade na primeira safra, a chuvas intensas no período de setembro de 2015 até março de 2016, e em janeiro de 2017 somado às elevadas temperaturas e grandes amplitudes térmicas, também podem ter levado a perdas significativas de N de ambas as fontes de N utilizadas.

A produtividade de grãos também não foi afetada pelas diferentes fontes de N testadas (Tabela 11). Embora não se tenha resultados publicados com a cultura do café, resultados semelhantes foram encontrados em pesquisas com outras culturas. Maestrello (2011), em experimento realizado sob sistema de plantio direto, para o cultivo de feijão de inverno, não encontrou diferenças significativas entre as fontes de ureia. Civardi et al. (2011), trabalhando em Jataí-GO com a cultura do milho em solo arenoso e com doses de N, também não encontraram vantagens no uso de ureia revestida por polímeros, quando aplicada em cobertura, em meio a período chuvoso. Frazão et al. (2014), conduzindo experimento com a cultura do milho, em período de elevadas precipitações, também não observaram diferenças significativas para a produtividade de grãos, quando se utilizou ureia revestida e ureia convencional.

Em trabalhos realizados por Valderrama et al. (2011) e Valderrama et al. (2014) com a cultura do milho, utilizando ureia revestida por polímeros, os autores também não encontraram diferenças significativas para produtividade dos grãos. De acordo com ambos, isso ocorreu pelo fato de que as condições edafoclimáticas de Selvíria-MS, não foram as mais favoráveis para a liberação de N às plantas e que quando ocorrem precipitações entre 20 a 30 mm ou há irrigação monitorada nos experimentos. Os autores afirmaram que a ureia revestida tende a apresentar respostas semelhantes à ureia convencional nessa condição. Pereira et al. (2009) relataram que em regiões de cerrado, com altitude mais elevada, onde a temperatura noturna é menor quando comparada com a do trabalho realizado em Selvíria-MS, que o revestimento da ureia e o inibidor da urease foram eficientes na redução da volatilização do N (em torno de 50%) da ureia aplicada em cobertura, o que refletiu em maiores produtividades de grãos. De acordo com Chitolina (1994), as condições de temperatura do solo ótima para a liberação de fertilizantes revestidos

são próximas a 21 °C. No presente trabalho, além de ocorrerem precipitações logo após as adubações, observou-se também que, ao longo do período estudado, houve enorme variabilidade térmica, sugerindo que a ureia revestida por polímeros tenha sofrido as mesmas perdas que a ureia convencional.

Em relação à produtividade relativa do primeiro ano de colheita, a aplicação da dose de 600 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia revestida proporcionou o maior incremento de produtividade de grãos de café, sendo da ordem de 209 kg ha⁻¹, o que correspondeu a um aumento de 33,6% em relação à testemunha, ou seja, a aplicação da ureia revestida proporcionou uma produtividade 1/3 maior em relação às parcelas sem aplicação de N (Tabela 12). Esse resultado poderia ser mais expressivo devido principalmente a aplicação das elevadas doses de N.

Tabela 12 - Aumento da produtividade (AP) e produtividade relativa (PR) de grãos de café beneficiados em função de doses N via solo, para as fontes, ureia convencional (UC) e ureia revestida (UR). Índice de eficiência agrônômica (IEA) de três doses N para a fonte ureia revestida, (UR) comparadas à testemunha, nos anos agrícolas 2014/15, 2015/16 e 2016/17.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	AP ⁽¹⁾		PR ⁽²⁾		IEA ⁽³⁾ (%)
	UC	UR	UC	UR	
	Ano de colheita (Junho 2015)				
0	-	-	100	100	-
150	155	87	125	86	57
300	66	91	111	115	138
600	109	209	118	134	191
Média	110	129	118	112	129
	Ano de colheita (Junho 2016)				
0	-	-	100	100	-
150	1275	1243	198	195	98
300	2095	2118	260	262	101
600	2535	2633	294	301	104
Média	1968	1998	251	253	101
	Ano de colheita (Junho 2017)				
0	-	-	100	100	-
150	838	596	165	146	71
300	814	930	163	172	114
600	1879	1936	246	250	103
Média	1177	1154	191	189	96
	Médias dos 3 anos				
0	-	-	100	100	-
150	756	642	163	142	75
300	991	1046	178	183	118
600	1508	1593	219	228	133
Média	1085	1094	187	184	109

⁽¹⁾Aumento de produtividade dos tratamentos em relação à média de produtividade da testemunha. ⁽²⁾Produtividade relativa obtida em relação à média da testemunha (testemunha = 100%). ⁽³⁾Índice de eficiência agrônômica da ureia revestida.

Em 2016, o efeito da adubação nitrogenada via solo na cultura do café foi mais expressivo que em 2015 (Tabela 12). A aplicação da dose de 600 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia revestida proporcionou incremento de produtividade de grãos de 2.633 kg ha⁻¹, o que correspondeu a um aumento de 201% em relação à testemunha, ou seja, a ureia revestida proporcionou produtividade aproximadamente duas vezes maior em relação às parcelas sem aplicação de N. Dados obtidos por Lima et al. (2016), indicaram que a produtividade do cafeeiro em todos os tratamentos diferiu da obtida no controle. Nessa safra, o uso das três fontes de N (ureia, ureia revestida e nitrato de amônio), independente da forma com que foram aplicadas, promoveu incrementos de 195% a 352% na produtividade, quando comparadas às obtidas na testemunha. Já na safra seguinte os mesmos autores observaram que todos os tratamentos, independentes de fontes, doses e modo de aplicação, proporcionaram aumentos na produção variando de 58% a 98%.

No presente estudo, apesar do fato do aumento da produtividade e da produtividade relativa serem normalmente maiores na medida em que se aplica uma maior dose de N (Tabelas 11 e 12), é importante salientar que, em experimentos de campo, nem sempre quando se busca a produção máxima, consegue-se viabilidade econômica, devido a “Lei dos Incrementos Decrescentes”, que dita que o aumento da produtividade com a aplicação de fertilizantes não é linear, isto é, os incrementos crescentes dos fertilizantes correlacionam-se também a “aumentos” decrescentes da produção, e também ao custo dos fertilizantes (RAIJ, 1991; HOFFMANN et al., 1995).

Em relação ao Índice de Eficiência Agronômica (IEA), nos dois primeiros anos agrícolas, a ureia revestida apresentou o maior índice para a dose de 600 kg ha⁻¹ N, seguido da dose de 300 kg ha⁻¹ N (Tabela 12). Já no último ano agrícola, a ureia revestida apresentou maior eficiência na dose 300 kg ha⁻¹ de N, seguido da dose de 600 kg ha⁻¹ de N. Observou-se, nos resultados do presente estudo, que o uso da ureia revestida não induziu a maiores respostas, em relação ao uso de ureia convencional, não revelando vantagens para o uso deste tipo de fertilizante, quando se dispõe de irrigação ou quando a aplicação coincide com períodos chuvosos. No trabalho realizado por Martins, Cazetta, Fukuda (2014), onde acompanhou-se o comportamento dos grânulos de ureia convencional e ureia revestida através de fotomicrografias em microscópio estereoscópico, os autores observaram que o interior das camadas de polímeros da ureia revestida se dissolveu simultaneamente

à ureia convencional, de modo que, após 4,5 minutos restava apenas a estrutura vazia das camadas de polímeros que recobria a ureia revestida, sugerindo que este tipo de revestimento protegeria o fertilizante, enquanto o mesmo estava depositado sobre a superfície seca do solo, mas que, ocorrendo chuva ou irrigação que mantivesse a superfície do solo bem encharcada, em menos de cinco minutos, todo o conteúdo interno do fertilizante revestido estaria solubilizado, semelhante à ureia comum. Sendo assim, estas duas fontes de N, nestas condições, estariam sujeitas aos mesmos fenômenos físicos, químicos e biológicos e, portanto, às mesmas perdas, com conseqüente similaridade na resposta da cultura. Essas explicações encaixam-se perfeitamente aos resultados obtidos pelo presente experimento.

5. CONCLUSÕES

A adubação nitrogenada influenciou positivamente as características biométricas das plantas de café arábica (diâmetro, altura, número de nós e comprimento do ramo), teor de N foliar, índice relativo de clorofila e a produtividade das plantas.

O fornecimento de N em cobertura para a cultura do café arábica, através da aplicação de ureia revestida, não apresentou maior eficiência que a aplicação da ureia convencional, nas condições edafoclimáticas do presente estudo.

6. REFERÊNCIAS

ABIC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/>>. Acesso em: 02. maio. 2017, 8:30:30.

ABRANCHES, J. L.; FERREIRA, R. L.; PERDONÁ, M. J. Mitigação da contaminação ambiental pelo uso de ureia revestida por polímeros na agricultura. In: XII FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 7., 2016, Tupã. **Anais...** v. 12, 2016. p. 1139-1156.

ABRANCHES, J. L.; PERDONÁ, M. J.; NAKAYAMA, F. T. Ureia revestida por polímeros e a adubação nitrogenada do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: X FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 7., 2014, Tupã. **Anais...** v. 10, 2014. p. 100-112.

ALVES, S. N. R.; REIS, A. R.; FAVARIN, J. L.; CAMARGO, F. T.; SALGADO, P. R. Demanda de nutrientes pelas folhas e frutos em café (*Coffea arabica*) durante a fase reprodutiva. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DO CAFÉ DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos expandidos...** Águas de Lindóia, 2007. p. 391.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FOSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 109-119, 2003.

BARNES, J. S.; KAMPRATH, E. J. **Availability of North Carolina rock phosphate applied to soils**. Raleigh: North Carolina State University, 1975. 23 p. (Technical Bulletin, 229).

BARROS, J. S. Contribuições da matéria orgânica no solo para mitigar as emissões agrícolas de gases de efeito estufa. **Revista Polêmica**, 12 jun. 2013. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.teste.uerj.br/index.php/polemica/article/view/6436/4862>>. Acesso em: 10. out. 2017, 12:40:21.

BAYER, C.; FONTOURA S. M. V. Dinâmica do nitrogênio no solo, pré-culturas e o manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho em plantio direto. In: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C, (Eds.). **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária; 2006. p. 59-85.

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

BOUWMEESTER, R. J. B.; VLEK, P. L. G.; STUMPE, J. M. Effect of environmental factors on ammonia volatilization from an urea-fertilized soil. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 49, p. 376-381, 1985.

CAHILL, S.; OSMOND, D.; WEISZ, R.; HEINIGER, R. Evaluation of alternative nitrogen fertilizers for corn and winter wheat production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 102, n. 4, p. 1226-1236, 2010.

- CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V., eds. **Tecnologia de produção de milho**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 139-182, 2004.
- CANTARELLA, H.; MARCELINO, R. Fontes alternativas de nitrogênio para a cultura do milho. **Informações Agrônomicas**. Piracicaba, n.122, p. 12-14, 2008.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo p. 375-470, 2007.
- CASTOLDI, G. **Nitrogênio no sistema solo planta após a dessecação de brachiarias**. 2011. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2011.
- CATANI, R. A.; MORAES, F. R. P. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 33, n. 1, p. 45-52, 1958.
- CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas Aplicadas a Agricultura. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_068.html>. Acesso em: 13. dez. 2015, 12:02:29.
- CHIEN, S. H.; PROCHNOW, L. I.; CANTARELLA, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. **Advances in Agronomy**, Dordrecht, v. 102, n. 1, p. 267-322, 2009.
- CHITOLINA, J. C. **Fertilizantes de lenta liberação de N: conceitos. Ureia coberta com enxofre**. Piracicaba: ESALQ/USP, 16 p. 1994.
- CIVARDI, E. A.; SILVEIRA NETO, A. N.; RAGAGNIN, V. A.; GODOY, E. R.; BROD, E. Ureia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 52-59, 2011.
- CLEMENTE, J. M. MARTINEZ, H. E. P.; ALVES, L. C., LARA, M. C. R. Effect of N and K doses in nutritive solution on growth, production and coffee bean size. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 2, p. 279-285, 2013.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI/Embrapa-CNPS, 1999. 412 p. Bibliografia: ISBN: 8573830565.
- ERNANI, P. R.; DIAS, J. Soil nitrogen application in the spring did not increased apple yield. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 645-649, 1999.
- ERNANI, P. R. **Nitrogênio e Adubação nitrogenada para a macieira**. 1.ed. Lages: Graphel, v. 1. 2003. 76 p.

ERNANI, P. R.; SANGOI, L.; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 993-1000, 2002. ISSN 1806-9657.

FENILLI, T. A. B. **Destino do Nitrogênio (15N) do fertilizante em uma cultura de café**. 2006. 100f. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP, 2006.

FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F. Doses de fontes nitrogenadas convencionais e nitrogênio polimerizado na produtividade e maturação do cafeeiro irrigado. **FAZU em Revista**, Uberaba, n.7, p. 37- 41, 2010.

FERRÃO, A. M. A. **Arquitetura do café**. Campinas. Editora da UNICAMP. São Paulo, SP. Imprensa oficial do Estado de São Paulo, 2004. 296 p.

FERREIRA, E. V. Vamos economizar fertilizantes mantendo a nutrição das plantas? 2010. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Newsletter.asp?data=29/05/2010&id=21626&secao=Colunas%20e%20Artigos>. Acesso em: 02. maio. 2017, 12:27:20.

FERREIRA JÚNIOR, L. G.; SILVA, F. M.; FERREIRA, D. D.; SALES, R. S. Recomendação para colheita mecânica do café baseado no comportamento de vibração das hastes derrçadoras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 2, p. 273-278, 2016.

FRANÇA, A. C.; SOUZA, I. F.; ALVES, L. W. R. Calibração do medidor de clorofila minolta spad-502 para avaliação do conteúdo de clorofila em cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos expandidos...** Águas de Lindóia: EMBRAPA Café, 2007. 1 CD-ROM.

FRANCO, C. M.; LAZZARINI, W.; CONAGIN, A.; REIS, A. J.; MORAES, F. R. P. Manutenção de cafezal com adubação exclusivamente mineral. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n. 33, p. 523-546, 1960.

FRAZÃO, J. J. SILVA, A. R., SILVA, V. L., OLIVEIRA, V. A., CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1262–1267, 2014.

GAGNON, B.; ZIADI, N.; GRANT, C. Urea fertilizer forms affect grain corn yield and nitrogen use efficiency. Canadian. **Journal of Soil Science**, San Diego, v. 92, n. 2, p. 341-351, 2012.

GALLO, P. B.; RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A., PEREIRA, L. C. E. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. VI. Fertilidade do solo e nutrição de plantas. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GIRARDI, E. A.; MOURÃO FILHO, F. A. A. Emprego de fertilizantes de liberação lenta na formação de pomares de citros. **Revista Laranja**, Cordeirópolis, v. 24, n. 2, p. 507-518, 2003.

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.

GUARESCHI, R. F.; GAZOLLA, P. R.; PERIN, A.; SANTINI, J. M. K. Adubação antecipada na cultura da soja com superfosfato triplo e cloreto de potássio revestidos por polímeros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 643-648, 2011.

GUELFY, D. Fertilizantes nitrogenados estabilizados, de liberação lenta ou controlada. **Informações Agronômicas**, n. 157, p. 01-14, 2017.

HANAFI, M. M.; ELTAIB, S. M.; AHMAD, M. B. Physical and chemical characteristics of controlled release compound fertilizer. **European Polymer Journal**, Oxford, v. 36, n. 10, p. 2081-2088, 2000.

HARPER, L. A. SHARPE, R. R. Nitrogen dynamics em irrigated corn: Soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n. 4, p. 669-675, 1995.

HAVLIN, J. L. TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 7th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2005. 515 p.

HOFFMANN, C. R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G. A. A.; EVANGELISTA, A. R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 79-86, 1995.

ICO – INTERNACIONAL COFFEE ORGANIZATION. Disponível em: <<http://www.ico.org/>>. Acesso em: 05. fev. 2018, 12:30:20.

IPMet, Instituto de Pesquisas Meteorológicas de Bauru-SP. Disponível em: <https://www.ipmet.unesp.br/index2.php?menu_esq1=&abre=ipmet_html/estacao/historico.php>. Acesso em: 11. jun. 2017, 12:28:20.

JONES, C. A.; KOENIG, R. T., ELLSWORTH, J. W., BROWN, B. D., JACKSON G. D. **Management of urea fertilizer to minimize volatilization**. Montana State University Extension Service. Bozeman, Montana. 12 p. 2007.

KEENEY, D. R.; NELSON, D. W. Nitrogen: inorganic forms. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. (Orgs.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1982. part 2, p. 625-642.

KUPPER, A. Consumo mensal de nitrogênio pelo cafeeiro: quantidade época e modo de adubação nitrogenada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS

CAFEEIRAS, 4., 1976, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: IBC/GERCA, p. 215-217, 1976.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O.; KONDÖRFER, G. H.; PEREIRA, S. Balanço da adubação nitrogenada sólida e fluida de cobertura na cultura do milho em sistema plantio direto no Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 363-376, 2000.

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481-487, 1997.

LAZZARINI, V.; MORAES, F. R. P. Ensaio qualitativo, quantitativo e de fracionamento de nitrogênio. In: **Experimentação cafeeira: 1929 a 1963**. Campinas: IAC, p. 191-194, 1967.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. N. N uptake and distribution in plant canopies. In: LEMAIER, G. (Ed.). **Diagnosis of the nitrogen status in crops**. Berlin: Springer, p. 3-43. 1997.

LIMA, E.; SANTOS, R.F.; WERNCKE, I.; SOUZA, S.N. M.; BASSEGIO, D.; SILVA, M. F. Nitrogênio na cultura do café *Coffea arabica* L. **Cultivando o saber**, Cascavel, v. 5, n. 2, p. 9-17, 2012.

LIMA, L. C.; GONÇALVES A. C.; FERNANDES, A. L. T.; SILVA, R. O.; LANA, R. M. Q. Crescimento e produtividade do Cafeeiro irrigado, em função de diferentes fontes de nitrogênio. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 97 - 107, 2016.

LIMA, S. S. **Crescimento, Composição Mineral e Sintomas Visuais de Deficiências de Macronutrientes em Plantas de *Zingiber Spectabilis* Griff.** 2009. 84f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém-PA, 2009.

MAESTRELO, P. R. **Ureia e ureia revestida por polímeros em milho e feijoeiro de inverno sob sistema de semeadura direta.** 2011. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2011.

MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In: **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. Piracicaba: ESALQ/USP. 1974. p. 203-255.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, E. (Ed.) **Cultura do café: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1986. p.165-274.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: Colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MANCUSO, M. A. C. **Fontes e doses de potássio na cultura do café (*Coffea arabica* L.)**. 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2012.

MARTHA JÚNIOR, G. B. **Balço de N¹⁵ e perdas de amônia por volatilização em pastagens de Capim-Elefante**. 1999. 75f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

MARTINS, I. S.; CAZETTA, J. O.; FUKUDA, A. J. F. Condições, modos de aplicação e doses de ureia revestida por polímeros na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 3, p. 271-279, 2014.

MARTINS, M. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica na formação do cafeeiro em solos de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS. 9., 1981, São Lourenço. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC, GERCA, p. 378-381, 1981.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S.; GARCIA, A. W. R.; SANTINATO, R. **Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2010. 542 p.

MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. **Adubação racional na lavoura cafeeira**. Varginha: Bom Pastor/MAPA/Fundação Procafé., 2008, 106 p.

MAURI, R. **Adubação do café conilon irrigado por gotejamento: fertirrigação x fertilizantes de eficiência aprimorada**. 2016. 93 f. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2016.

MELGAR, R. J.; CAMOZZI, M. E.; FIGUEROA, M. M. **Guia de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales**. Buenos Aires: Instituto Nacional de tecnologia agropecuária, cap.1, p. 13-25: Nitrogenados. 1999.

MELLO, T. F.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GALINDO, F. S.; NOGUEIRA, L. M. Residual effects of nitrogen fertilizer with polymer-coated urea in a corn crop. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 586 – 594, 2017.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Princípios de nutrición vegetal**. Basel: International Potash Institute, 2001. 692 p.

MIYAZAWA, M.; COSTA, A.; REIS JR, R. dos A.; TISKI, I.; PEREIRA, L. R. Eficiência da Adubação Nitrogenada Com Ureia Revestida Por Polímero na Cultura do Milho. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 4., 2012, Águas de Lindóia. **Resumos...** ABMRA, p. 1601-1607, 2012.

MORAES, F. R. P.; REIS, A. J.; CERVELLINI, G. S. Doses e fracionamento do cafeeiro - I: latossolo roxo de Ribeirão Preto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 6., 1978, Ribeirão Preto. **Resumos...** Rio de Janeiro: MIC/IBC/GERCA, p. 76-77, 1978.

MORASI, I. M.; AMARO, A. R. F. V. B. de L.; DUARTE, R. C. R. M.; VILELA, V. A. A.; PACKER, A. P. C. Avaliação do manejo de nitrogênio no cafeeiro utilizando clorofilômetro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, Poços de Caldas MG. 41., 2015. p. 301-302. Com mais tecnologia, mas café se aprecia: **Resumos...** Lavras, Fundação Procafé, 2015.

MOTAVALLI, P. P.; GOYNE, K. W.; UDAWATTA, R. Environmental impacts of enhanced-efficiency nitrogen fertilizers. **Crop Management**, Saint Paul, v. 7, n. 1, 2008.

NAZARENO, R. B. OLIVEIRA, C. A. da S.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J. B. R., Silva, J. C. P.; GUERRA, A. F. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 903-910, 2003.

OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C. Efeitos de fontes e doses de nitrogênio aplicado em cobertura nas culturas de trigo, milho e algodão. In: OLIVEIRA, E.F. de; BALBINO, L.C. **Resultados de pesquisa**, v. 1/95. Cascavel: Ocepar, 1995. 33 p.

OLIVEIRA, P. P. A.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA W. S. Balanço de nitrogênio (15N) da ureia nos componentes de uma pastagem de capim-marandu sob recuperação em diferentes épocas de calagem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n. 6, p.1982-1989, 2007.

PARECIDO, R. J. **Doses de nitrogênio via solo e aplicação de silício via foliar na cultura do café arábica**. 2016. 63 f. Dissertação (Mestre em Agricultura). Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2016.

PEIXOTO, L. T.; BONO, J. A. M.; SETTI, J. C. de A.; SILVEIRA, D. S. da; FELTRIN, D. F.; CERVI, M. K.; SILVEIRA JÚNIOR, S. da. Eficiência de doses e fontes de fertilizantes nitrogenados em cobertura na cultura do milho na região de Chapadão do Céu-GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. CD-ROM.

PEREIRA, H. S.; LEÃO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1685-1694, 2009.

PRADO, R. M.; ROMUALDO, L.M; ROZANE, D. E. Omissão de macronutrientes no desenvolvimento e no estado nutricional de plantas de sorgo (cv. BRS 3010) cultivadas em solução nutritiva. **Científica**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p.122-128, 2007.

PRADO, R. M.; NASCIMENTO, V. M. **Manejo da adubação do cafeeiro no Brasil**. Ilha Solteira, UNESP/FEIS, 274 p. 2003.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória-ES. Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), 2013. 104 p.

PRIMAVESI, O.; CORREA, L. A.; PRIMAVESI, A. C.; CANTARELLA, H.; ARMELIN, M.J.A. Adubação com ureia em pastagem de *Cynodon dactylon* cv. Coastcross sob manejo rotacionado: Eficiência e perdas. São Carlos: Embrapa. Pecuária Sudeste, **Circular Técnica**, nº 30, 42 p. 2001.

QUINTELA, M. P.; SILVA, T. J. A.; SILVA, E. M. B.; SILVA, E. F. F.; BEBÉ, F. V. Parâmetros produtivos e nutricionais do cafeeiro submetido adubação nitrogenada na região de Garanhuns. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, p. 74-79, 2011.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. G. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico; Campinas: Boletim 100, p. 97, 1997.

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

REIS, A. R.; FAVARIN, J. L.; GALLO, L. A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, M. F.; LAVRES JUNIOR, J. Nitrate reductase and glutamine synthetase activity in coffee leaves during fruit development. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 315-324, 2009.

REIS, A. N. **Resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada com ureia convencional e revestida com polímero**. 2013, 33 f. Monografia. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. Brasília-DF, 2013.

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

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C.; ARMBRUSTER, J. A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 49, n. 2, p. 104-108, 1987.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte, EPAMIG, Documentos, n. 37, 2000. 80p.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. eds. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba, Potafós, 1987. p.13-85.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. (Eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1986. p.13-85.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

RODRIGUES, M. A. C.; BUZETTI, S.; MAESTRELO, P. R.; LINO, A. C. M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M.; GARCIA, C. M. P. Cloreto de potássio revestido em efeito residual no feijoeiro de inverno irrigado na região de cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 1011-1022, 2013.

RODRIGUES, M. A. C.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M. Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n. 2, p. 127-133, 2014.

RODRÍGUEZ, D.; CURE, J. R.; GUTIERREZ, A. P.; COTES, J. M.; CANTOR, F. A coffee agroecosystem model: II. Dynamics of coffee berry borer. **Ecological Modelling**, Severna Park, v. 248, n. 19, p. 203-214, 2013.

ROSSETTI, R. P. **Determinação de fenóis totais em frutos do café: avaliações em diferentes fases de maturação**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2007.

SAES, M. S. M.; JAYO, M. Competitividade do sistema agroindustrial do café. In: FARINA, E.M.M.Q.; ZYLBERSZTAJN, D. **Competitividade no agribusiness brasileiro**. São Paulo: USP, p. 3, n. 9, 136 p. 1998.

SAKIYAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. **Café Arábica: do plantio à colheita**. 22.ed. Viçosa: UFV, 316 p. 2015.

SANTINI, J. M. K.; PERIN, A.; GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; REIS JR, R. A. Adubação Nitrogenada com Ureia Revestida por Polímeros na Cultura do Milho. In: XXXII CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Agosto, 2009, **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 323.

SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, F. B. R.; NAZARENO, R. B.; TOLEDO, P. M. R.; SILVA, D. T. M. Fonte, doses e modos de aplicação de nitrogênio na produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa, p. 2523-2527, 2001.

SAVANT, N. K.; JAMES, A. F.; McCLEAN, G. H. Effect of amounts and sequence of additions of urea and water on hydrolysis of surface-applied granular urea in unsaturated soils. **Fertilizer Research**, Dordrecht, v. 11, n. 3, p. 231-234, 1987.

SECRETI, M. L.; ODY, G. A.; OLIVEIRA, R. V. B., PILETTI, L. M. M. da S.; SOUZA, L. C. F., SOARES, N. B. **Produtividade de milho produzido sob diferentes adubos nitrogenados e doses incorporado em cobertura**. XII Seminário Nacional

de Milho Safrinha. Dourados-MS, 2013. Disponível em: <<http://www.cpa0.embrapa.br/cds/milhosafrrinha2013/PDF/15.pdf>>. Acesso em 07. Fevereiro 2018, 12:21:20.

SENGIK, E.; KIEHL, J. C.; SILVA, M. A. G.; PALANGANA, D. C.; LAWDER, M. R. Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com uréia. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1099-1105, 2001.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. **Proceedings...** Paris, International Fertilizers Industry Association, 13 p. 2005.

SHAVIV, A. Preparation methods and release mechanisms of controlled release fertilizers: agronomic efficiency and environmental significance. **Proceedings of the Fertiliser Society**, York, v. 41, n. 3, p. 1-35, 1999.

SILVEIRA, J. M. de C.; LIMA JÚNIOR, S.; CORREIA, E. A.; CORREA, R. L. de M. F.; NASSER, M. D. Crescimento do cafeeiro submetido a diferentes doses de nitrogênio via fertirrigação. In: XLV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – CONBEA 2016. **Resumos...** Florianópolis-SC, 2016.

SILVA, A. A.; SILVA, T. S.; VASCONCELOS, A. C. P.; LANA; R. M. K. Aplicação de diferentes fontes de ureia de liberação gradual na cultura do milho. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, n. 1, p. 104-111, 2012.

SILVA, A. J.; LIMA JÚNIOR, M.A.; FERREIRA, N.C.M.; FRAGA, V.S. Perdas de amônia por volatilização proveniente da ureia aplicada a solos dos trópicos úmidos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, p. 141-144, 1995.

SILVA, A. M.; SORICE, L. S. D.; COELHO, G.; FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. Evaluation of split fertilizer applications and irrigation starting time over coffee bean yield. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1354-1362, 2003.

SOBRAL, A. C. **Análise dos parâmetros físicos e isotópicos do carbono e nitrogênio no solo como indicadores ambientais para uma microbacia rural em Bauru-SP**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP, 2013.

SOUZA, A. P.; GASPAR, M.; SILVA, E. A.; ULIAN, E. C.; WACLAWOVSKY A. J., NISHIYAMA, M. Y.; SANTOS, R. V.; TEIXEIRA, M. M.; SOUZA G. M.; BUCKERIDGE, M. S. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass and productivity, and modifies gene expression in sugarcane. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 31, n. 8, p. 1116-1127, 2008.

SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição Mineral de Plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, p. 216-252, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 449-484.

TOMASZEWSKA, M.; JARPSOEWICZ, A.; KARAKKULSKI, K. Physical and chemical characteristics of polymer coatings in CRF formulation. **Desalination**, Nottingham, v.146, n. 3, p. 319-323, 2002.

TYNER, E. H. The relation of corn yields to Leaf nitrogen, phosphorus and potassium content. **Soil Science Society American Proc.** Vol. 11, n. 1, p. 317-323, 1946.

VALADARES, S. V.; NEVES, J. C. L.; ROSA, G. N. G. P.; MARTINEZ, H. E. P.; VENEGAS, V. H. A; LIMA, P. C. Produtividade e bionalidade da produção de cafezais adensados, sob diferentes doses de N e K. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 296-303, 2013.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M; BENETT, C.G. S.; ANDREOTTI, M. Adubação nitrogenada na cultura do milho com ureia revestida por diferentes fontes de polímeros. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 659-670, 2014.

VALDERRAMA, M. **Fontes e doses de nitrogênio revestidas ou não por polímeros na cultura do milho**. 2011. 49 f. Dissertação (Mestre em Sistemas de Produção). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP, 2011.

VARGAS, V. P. **Manejo da adubação nitrogenada na recuperação de estresses em milho**. 2010. 146f. Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo) Universidade do Estado de Santa Catarina; Lages, SC, 2010.

VASCONCELOS, A. C. P.; JUNIOR, A. C. S.; SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Conteúdo de fósforo e nitrogênio na massa seca do milho após aplicação de diferentes fontes de MAP revestidos com polímeros de liberação gradual. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18, 2010, Teresina. **Trabalhos**. Teresina: Embrapa meio-norte, CD-ROM, 2010.

VIANA, A. S. Estudo de doses e parcelamentos de N e K na formação do cafeeiro em Led e Ter. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS. 8., 1980, Campos do Jordão. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC, GERCA, p. 205-211, 1980.

VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; LACERDA, M. P. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solos do cerrado II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 14.; CONGRESSO LATINOAMERICANO DE TECNOLOGIA CAFEIEIRA, 1., 1987, Campinas. **Resumos...** Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio; IBC, p. 249-252, 1987.

VIANA, A. S.; MIGUEL, A. E.; CORRÊA, J. B.; LACERDA, M. P.; FIORAVANTE, N. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solos do cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

PESQUISAS CAFEIEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Resumos....** Rio de Janeiro: Ministério da Indústria e Comércio; IBC, p. 146-148, 1985.

VILELA, D. J. M. **Crescimento inicial de cultivares de cafeeiro com diferentes doses de nitrogênio, fósforo e potássio.** 2014. 65f. Dissertação. (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal de Lavras; Lavras, MG, 2014.

VILLALBA, H. A. G.; LEITE J. M.; OTTO, R; TRIVELIN, P. C. O. **Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias.** Informações Agronômicas nº 148, p. 12-20, dezembro/2014.

VITTI, G. C.; REIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: uma visão Holística. In: YAMADA, T.; STIPP, S. R.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e Enxofre: na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI, p.109-157, 2007.

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

VOLK, M. G. Volatile loss of ammonia following surface application of urea to turf of bare soils, **Agronomy Journal**, Madison, v. 51, n. 12, p. 746-749, 1959.

ZAHRANI, S. Utilization of polyethylene and paraffin waxes as controlled delivery systems for different fertilizers. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 39, n. 3, p. 367-371, 2000.

ZAVASCHI, E. **Volatilização da amônia e produtividade do milho em função da aplicação de ureia revestida com polímeros.** 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2010.

APÊNDICE

**A****B**

Apêndice 1. Fotos ilustrando a escolha do local do experimento em agosto de 2014, (A) uniformidade das ruas do cafeeiro arábica, cultivar Mundo Novo IAC 388-17-1, (B) montagem inicial do experimento. Bauru-SP.



Apêndice 2. Início do experimento e avaliações realizadas em outubro de 2014, (A) marcação das plantas com fitilho de polietileno, (B) diâmetro do caule, (C) altura da planta, (D) marcação no terço superior da planta, (E) clorofilômetro e (F) adubação dos tratamentos. Bauru-SP.



Apêndice 3. Desenvolvimento das plantas no ano agrícola 2015/16, (A) Sintomas de deficiência de N na testemunha ao lado direito da foto, comparado com a dose UR 600 kg ha⁻¹ de N ao lado esquerdo da foto em abril de 2015, (B) UC 150 kg ha⁻¹ de N em abril de 2015, (C) UR 150 kg ha⁻¹ de N em abril de 2015, (D) ramos plagiotrópicos UC 300 kg ha⁻¹ de N em novembro de 2015, (E) ramos plagiotrópicos UR 300 kg ha⁻¹ de N em novembro de 2015. Bauru-SP.



Apêndice 4. Comparação dos tratamentos em março de 2016, ano agrícola 2015/16, (A) UC 600 kg ha⁻¹ de N (B) UR 600 kg ha⁻¹ de N. Bauru-SP.

**A****B**

Apêndice 5. Comparação dos tratamentos em abril de 2016, ano agrícola 2015/16, (A) UC 300 kg ha⁻¹ de N à esquerda e UR 300 kg ha⁻¹ de N ao lado direito da foto, (B) UR 150 kg ha⁻¹ de N à esquerda e UC 300 kg ha⁻¹ de N ao lado direito da foto. Bauru-SP.



Apêndice 6. Comparação dos tratamentos antes da colheita, em abril de 2016, ano agrícola 2015/16, (A) UR 150 kg ha⁻¹ de N à esquerda e UC 300 kg ha⁻¹ de N ao lado direito da foto, (B) UC 300 kg ha⁻¹ de N à esquerda e UC 600 kg ha⁻¹ de N ao lado direito da foto. Bauru-SP.



Apêndice 7. Imagens ilustrando a safra 2015/16, (A) colheita realizada no pano, (B) uniformidade grãos na colheita, (C) medição de volume dos tramentos colhidos, (D) secagem de grãos de café em terreiro de alvenaria, (E) obtenção dos valores de renda de cada tratamento. Bauru-SP.