

JUNIA MARIA CLEMENTE

NUTRIÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA AFETANDO CRESCIMENTO,
PRODUÇÃO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E QUALIDADE DA BEBIDA DE *Coffea*
arabica L.

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título
de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

JUNIA MARIA CLEMENTE

NUTRIÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA AFETANDO CRESCIMENTO,
PRODUÇÃO, COMPOSIÇÃO QUÍMICA E QUALIDADE DA BEBIDA DE *Coffea*
arabica L.

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Fitotecnia, para obtenção do título
de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de fevereiro de 2010

Prof. Ney Sussumu Sakiyama

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Co-orientador)

Dr^a Yonara Poltronieri Neves

Prof. Ricardo H. S. Santos

Prof^a Hermínia E. Prieto Martinez
(Orientadora)

“Não, não pares! É graça divina começar bem. Graça maior persistir na caminhada certa, manter o ritmo... Mas a graça das graças é não desistir, podendo ou não, caindo, embora aos pedaços, chegar até o fim”

Dom Heldér Câmara

A Deus, por TUDO
à minha família,
à Profª Hermínia.
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir meu crescimento em sabedoria, coragem e força, por renovar minhas forças a cada amanhecer, fazendo-me acreditar na força da vida e dos sonhos que apesar de tudo prevalecem.

À Prof^a. Hermínia E. P. Martinez, pela orientação, pelos valiosos conselhos, ensinamentos transmitidos e, principalmente, pela amizade e confiança.

Aos meus pais, Maria Sebastiana e José Clemente, pelo esforço e dedicação, e principalmente pelo amor, carinho, paciência e pelo exemplo de honestidade e dignidade.

Ao meu grande amigo e irmão, Luciano Marcos, pela grande e tão valiosa amizade e pelo carinho que foi primordial nesta caminhada.

A minha cunhada Fábria pela amizade.

À Adriene Woods, pelos ensinamentos e amizade.

Aos professores, Fernando Finger e Paulo Cecon, pelas idéias, críticas e sugestões, na finalização deste trabalho.

Aos professores Ney e Ricardo e à Dr.^a Yonara pelas sugestões e críticas.

Ao Dr. Paulo Mazzafera pela colaboração.

Aos amigos do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Domingos Sávio e Itamar, pelo apoio e amizade.

A todos os funcionários da Horta Velha, pelo apoio e ajuda tão essencial na execução do experimento.

Aos companheiros de trabalho Ana Paula Neto, Leonardo Corrêa, Marcelo César, Janini Maia e Maiara Maximiano.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade e condições de realização deste curso.

À Capes por financiar meus estudos.

A todos...

Muito Obrigada.

BIOGRAFIA

JUNIA MARIA CLEMENTE, filha de Maria Sebastiana de Lima Clemente e José Clemente Coelho, nasceu no dia 25 de maio de 1985, no município de Abre Campo, Minas Gerais. Em março de 2003, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, vindo a concluí-lo em dezembro de 2007. Durante a graduação de abril de 2005 a dezembro de 2007 foi estagiária do Departamento de Fitotecnia- Nutrição Mineral de Plantas sob orientação de Hermínia E. Prieto Martinez. Nesse período foi bolsista de iniciação científica por um ano e meio do CNPQ.

Em março de 2008, ingressou no curso de Mestrado em Fitotecnia do Departamento de Fitotecnia, setor de Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em fevereiro de 2010.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO -----	vi
ABSTRACT -----	viii
1. INTRODUÇÃO GERAL-----	1
CAPÍTULO 1-----	
NUTRIÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA AFETANDO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA E QUALIDADE DA BEBIDA DO <i>Coffea arabica</i> L. -----	
1. INTRODUÇÃO -----	6
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	8
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	13
4. CONCLUSÕES -----	27
CAPÍTULO 2 -----	
CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E TAMANHO DE GRÃOS DE CAFÉ EM FUNÇÃO DE DOSES DE N E K EM SOLUÇÃO NUTRITIVA-----	
1. INTRODUÇÃO -----	28
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	35
4. CONCLUSÕES -----	43
2. CONCLUSÕES GERAIS-----	44
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	45
4. APÊNDICE A CAPÍTULO 1-----	50
5. APÊNDICE B CAPÍTULO 2-----	51

RESUMO

CLEMENTE, Junia Maria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Nutrição nitrogenada e potássica afetando crescimento, produção, composição química e qualidade da bebida do *Coffea arabica* L.** Orientadora: Hermínia Emília Prieto Martinez. Co-orientadores: Fernando Luiz Finger e Paulo Roberto Cecon.

O nitrogênio e potássio são os nutrientes de maior exigência pelo cafeeiro, sua deficiência pode causar distúrbios metabólicos e afetar o desenvolvimento das plantas de café e conseqüentemente a produção e características físicas e químicas dos grãos, uma vez que são nutrientes minerais envolvidos na biossíntese e metabolismo de compostos relacionados à qualidade química dos grãos crus do café. Este trabalho objetivou avaliar o efeito do nitrogênio (N), potássio (K) e da relação N:K no crescimento vegetativo, produção e características físicas dos grãos beneficiados de café, bem como o efeito sobre os principais atributos químicos relacionados à qualidade da bebida dos grãos crus do café. Os tratamentos consistiram de quatro relações N:K na solução nutritiva, obtidas mantendo-se constante a concentração de N e variando a concentração de K, mais um tratamento controle com menor concentração de N. Empregaram-se as concentrações 1,08, 2,15, 3,23 e 5,38 mmol/L de K combinados com a dose de 6 mmol/L de N, obtendo-se as relações N:K(p/p):1,0:0,5; 1,0:1,0; 1,0:1,5; 1,0:2,5. Empregou-se um tratamento controle com as doses de 3 e 1,61 mmol/L de N e K, respectivamente resultando a relação N:K(p/p) de 1,0:1,5. Empregaram-se mudas de café da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 germinadas em substrato convencional e com um par de folhas definitivas, as quais foram transferidas para o sistema hidropônico de cultivo por sub-irrigação tendo como substrato a argila expandida. Para o referido estudo foram realizadas análises dos seguintes atributos químicos relacionados à qualidade da bebida: atividade da polifenoloxidase, cafeína, fenóis totais, açúcares totais, redutores e não redutores, acidez total titulável, índice de coloração, lixiviação de potássio, condutividade elétrica e pH. Além disso, foram realizadas análises das seguintes variáveis do crescimento vegetativo: altura, número de nós do ramo ortotrópico, número de nós do oitavo ramo plagiotrópico contado a partir da base (Ramo índice), diâmetro do caule, número de frutos do ramo índice, a cada duas semanas após a queda das flores, análise química de folhas e grãos, clorofila total, produção por planta e classificação dos grãos quanto ao tamanho. A relação N:K influenciou a qualidade da bebida avaliada pela prova de xícara. O potássio influenciou todas as variáveis analisadas exceto a atividade da polifenoloxidase. O alto N não influenciou a produção de

café cereja e restringiu a qualidade da bebida. A qualidade da bebida foi proporcional a atividade da polifenoloxidase, cafeína, índice de coloração e açúcares redutores e inversamente proporcional a acidez total titulável, lixiviação de potássio, pH e condutividade elétrica. O efeito da relação N:K foi observado nas seguintes variáveis de crescimento vegetativo: altura, número de nós dos ramos plagiotrópicos e diâmetro do caule, no entanto, não foi importante na definição da produção de café cereja e na classificação dos grãos beneficiados quanto ao tamanho. O teor de N nos tecidos das plantas foi proporcional ao N da solução nutritiva, contudo, não foi acompanhado de maiores médias das variáveis analisadas. O K influenciou o crescimento vegetativo até um ponto de máximo obtido com 5,38 mmol/L de K na solução nutritiva, o qual resultou em teores de 3,25 dag/kg de K nas folhas índice do cafeeiro.

ABSTRACT

CLEMENTE, Júnia Maria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february; 2010. **Nitrogen and potassium nutrition affecting the growth, production, chemical composition and quality of the beverage of *Coffea arabica* L.** Adviser: Hermínia Emilia Prieto Martinez. Co-advisers: Fernando Luiz Finger e Paulo Roberto Cecon.

Nitrogen and potassium are the nutrients of greatest demand for coffee. Its deficiency can cause metabolic disturbances and affect the development of coffee plants and consequently the production and physical and chemical characteristics of grains, since nutrients are involved in biosynthesis and metabolism of compounds related to chemical quality of raw coffee beans. This study evaluated the effect of nitrogen (N), potassium (K) and N:K ratio on vegetative growth, yield and physical characteristics of coffee grains, besides the effect on the main attributes related to the quality of beverage of raw coffee beans. Treatments consisted of four N:K ratio in nutrition solution, obtained by keeping constant the concentration of N and varying concentrations of K, and a control treatment with lower concentrations of N. The concentration of K used were 1.08, 2.15, 3.23 and 5.38 mmol/L combined with a dose of 6 mmol/L of N, resulting in the N:K ratio: 1.0: 0.5; 1.0:1.0, 1.0:1.5, 1.0:2.5. The control treatment was compound of doses of 3 and 1.61 mmol/L of N and K respectively, resulting in the N:K ratio 1.0:1.5. The coffee cultivar used was Catuaí Vermelho IAC 99 germinated in conventional substrate and transferred to hydroponic cultivation at the onset of the first true leaves pair. There was used a sub-irrigation system with expanded clay as substrate. Besides the cup test, there were made grain analysis of polyphenoloxidase activity (PPO), caffeine, phenolic compounds (FT), total sugar (AT), reducing sugars (ARS) and non-reducing sugars (ANR), total acidity (ATT), coloration index (IC), leaching of potassium (LK) electrical conductivity (CE) and pH. In addition, for this study analysis were performed for the variables of vegetative growth: height, number of nodes in the orthotropic branch, number of nodes in the eighth plagiotrophical branch (Branch index), stem diameter, fruit number of the branch index, chemical analysis of leaves and grains, chlorophyll, plant production and grain classification according to size. The N:K ratio influenced the quality of the beverage evaluated by cup test. Potassium influenced all variables, except the PPO activity. The high N did not influence the production of cherry coffee and restricted quality of the beverage. The quality of the beverage was proportional to the PPO activity, caffeine, coloration index and reduced sugars and inversely proportional to the total acidity, leaching of potassium, pH and electrical conductivity. The effect of N:K ratio was observed in the

following vegetative growth variables: height, number of nodes of the plagiotrophical branches and stem diameter, however, was not important in determining the yield of individual plants and in the classification of benefit grain size. The N content in plant tissues was proportional to N in nutrition solution, however, was not accompanied by higher averages of all variables. The K affect vegetative growth until a maximum point around 5,38 mmo/L that corresponds to 3,25 dag/kg of K in the index leaves.

INTRODUÇÃO GERAL

O café pertence ao grupo das plantas fanerógamas, classe Angiosperma, subclasse Dicotiledônea, ordem Rubiales, à família Rubiaceae e gênero *Coffea*, acredita-se que existam mais de 100 espécies nesta família. Contudo *Coffea arabica* e *Coffea canephora* são as espécies mais cultivadas (Berthaud e Charrier, 1988).

A espécie *arabica* é característica de regiões montanhosas e frias. São plantas hermafroditas, uniaxinares de porte baixo ou médio. A bebida suave e delicada é o motivo da maior aceitação no mercado do *Coffea arabica* podendo ser consumida sem necessidade de mistura ou “blend” (Rosseti, 2007).

A cultura do café foi de extrema importância para o processo de formação e desenvolvimento da economia brasileira. Este produto tornou-se fator determinante no processo de formação do capitalismo brasileiro, sendo por isso, alvo de constantes intervenções e regulamentações. Nas regiões do país em que o café é cultivado gera em todas as suas etapas (produção, industrialização e comércio interno e externo) grandes receitas e milhões de empregos, direta e indiretamente, portanto continua sendo um dos produtos mais importantes para o País.

As recentes pesquisas realizadas pela comunidade científica mostram que o café possui compostos químicos capazes de evitar diversas patologias (Del Castillo, Ames e Gordon, 2002). Além do mais, os hábitos de consumo da população estão se tornando cada vez mais refinados, resultando na necessidade de oferecer cafés de boa qualidade, paralelamente possuem a vantagem de obter preços diferenciados no mercado consumidor.

Sabe-se que a nutrição mineral afeta de duas maneiras a qualidade da bebida. Uma forma direta derivada da atuação dos nutrientes em rotas bioquímicas de síntese de compostos essenciais ao sabor e aroma. Outra, indireta resultante do efeito da nutrição mineral na resistência ao desenvolvimento de fungos que podem comprometer a qualidade da bebida.

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pelas plantas, tendo função essencial no desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas, promovendo crescimento vegetativo das plantas, além de ser componente estrutural de ácidos nucléicos, aminoácidos, coenzimas (NAD, FAD), pigmentos e produtos do metabolismo secundário tais como cafeína e trigonelina (Malavolta et al., 1997).

Nas plantas deficientes em N observa-se que as folhas amarelecem, iniciando-se o sintoma pelas nervuras e caminhando para as folhas mais novas.

Os teores foliares de N considerados adequados se situam entre 2,7 e 3,2% (Martinez et al., 1999) Com excesso de N ou em desequilíbrio com o K (relação N:K de 2 a 3:1) a vegetação torna-se exuberante em detrimento da produção. Tal situação é comum em regiões montanhosas úmidas e de clima frio e com excesso de nebulosidade (Matielo et al., 2005).

Nas regiões produtoras de café a adubação nitrogenada é feita com objetivo de aumentar a produção, no entanto, pouca importância tem sido dada à relação do N com a formação de compostos essenciais ao sabor e aroma da bebida de café.

O potássio é essencial à ativação de mais de 60 enzimas. Como o elemento não é participante da estrutura das enzimas, provavelmente controla a atividade enzimática pela indução da mudança conformacional na molécula protéica, ao interferir no seu grau de hidratação. Dentre estas enzimas as de maior destaque são: cinase do piruvato, H^+ -ATPase e sintase do amido. Aliado a isto, o K está diretamente envolvido no processo de síntese protéica sendo provavelmente essencial para a ligação do t-RNA aos ribossomos (Cabraia, 2009)

O potássio interfere no processo fotossintético por ser o principal cátion a fazer o balanço de cargas elétricas durante o efluxo de prótons através da membrana do tilacóide, para a formação do gradiente de pH necessário à fosforilação do ATP; é o principal cátion envolvido com o sistema de controle do movimento estomático em células guarda, logo, está envolvido na entrada de CO_2 pelos estômatos; é ativador da enzima carboxilase e da ribulose bisfosfato (Rubisco) que catalisa a ligação da molécula de CO_2 à ribulose bifosfato e finalmente é fundamental para a manutenção estrutural dos cloroplastídeos (Cabraia, 2009)

O potássio há muito tempo tem sido considerado como elemento de qualidade em nutrição de plantas. No caso do café, este nutriente pode afetar a síntese de compostos como a cafeína, trigonelina e ácidos clorogênicos envolvidos na formação de seu sabor e aroma.

Em caso de deficiência de K o crescimento é retardado. Os sintomas mais facilmente visualizados em campo são as queimaduras nos bordos das folhas causadas pela maior degradação que síntese de proteínas e conseqüente acúmulo de aminas básicas e indução de enzimas que regulam a síntese de putrescina que se acumula nos bordos das folhas (Marschner, 1995).

Atributos químicos de qualidade

A produção de café com sabor e aroma desejáveis envolve vários processos químicos de extrema complexidade. Os atributos químicos mais utilizados para definição de qualidade

são: atividade da polifenoloxidase, ácidos clorogênicos, cafeína, açúcares totais, redutores e não-redutores.

Cafeína- (1,3,7 trimetilxantina)

Aproximadamente 60 espécies vegetais distribuídas no gênero *Coffea* (Rubiaceae), *Cola* e *Theobroma* (Sterculiaceae), *Paullinia* (Sapindaceae), *Ilex* (Aquifoliaceae) e *Camellia* (Theaceae) produzem metilxantinas.

A cafeína é uma metilxantina encontrada no café e várias outras bebidas alimentícias, ou estimulantes não alcoólicos (Figura 1). A cafeína é sintetizada a partir de aminoácidos tais como: triptofano e tirosinas os quais derivam do ácido chiquímico ou aminoácidos alifáticos (ornitina e lisina). A cafeína possui quatro átomos de nitrogênio em sua estrutura, daí a necessidade da nutrição nitrogenada adequada para síntese desse composto.



Figura1 – Estrutura química da cafeína. Fonte: Silvetz (1963).

A cafeína possui função importante, mas não preponderante no sabor amargo da bebida do café (Clifford, 1985). No processo de torra, há volatilização de 10% da cafeína, contudo como a massa do grão diminui pela evaporação de água a concentração de cafeína no grão aumenta.

Polifenoloxidase

A polifenoloxidase (PPO) é uma enzima cúprica ligada às membranas celulares, que de acordo com alguns autores está diretamente relacionada à qualidade da bebida (Amorim e Silva, 1968; Amorim, 1978; Leite, 1991; Carvalho et al., 1994; Pimenta, 1995; Chagas et al., 1996a; Chalfoun, 1996; Pereira, 1997). Estes autores relacionaram as diferentes atividades da PPO com as diferentes classificações da bebida, encontrando para cafés “rio” e “riado” atividades inferiores a 55,99 U.g⁻¹ de amostra; nos cafés de bebida “dura” atividades entre 55,99 a 62,99 U.g⁻¹ de amostra; nos cafés de bebida “mole” atividades entre 62,99 a 67,66 U.g⁻¹ de amostra e cafés de bebida “estritamente mole” atividades superiores a 67,99 U.g⁻¹ de amostra.

Em condições de estresse ocorrem danos às membranas celulares dos grãos, com isto, polifenóis intra e extracelulares são liberados e a polifenoloxidase atua sobre estes polifenóis promovendo a hidroxilação de monofenóis a o-difenóis, os quais sofrem remoção de um

próton e originam as o-quinonas, que por sua vez inibem a polifenoloxidase (Amorim, 1972 e Leite, 1991). Subentende-se que grãos de café muito danificados ou deficientes em cobre terão baixa atividade da polifenoloxidase e conseqüentemente baixa qualidade da bebida.

Açúcares

Os açúcares participam de importantes reações durante o processo de torra, como a reação de Maillard e/ou caramelização, que são responsáveis pela formação de cor (escurecimento não enzimático), sabor e aroma da bebida (Pereira, 1997).

A reação de Maillard é uma reação que ocorre entre o grupo carbonila da glicose com um grupo amino de uma proteína ou de um aminoácido. Ao fim desta reação ocorrerá formação de compostos denominados meloidinas, estes por sua vez conferem a cor escura do café torrado, além influenciar o sabor e aroma do produto final (Daglia et al., 2000).

A reação de caramelização é a degradação de açúcares maiores em açúcares menores, durante o processo de torra e apenas ocorre em situações em que não há proteínas no meio. A reação de caramelização também influencia a cor, sabor e aroma do produto final (Daglia et al., 2000)

De acordo com Amorim et al. (1976) e Chagas et al. (1996b) as melhores bebidas, estritamente mole, mole, apenas mole e duro apresentam maiores teores de sólidos solúveis totais, o que é interessante tanto do ponto de vista industrial como para assegurar corpo à bebida, característica importante para produção de café expresso. Os grãos de café crus apresentam teores de açúcares totais que variam de 5-10% (Prete et al. 1992). O que se sabe é que durante o processo de torra a sacarose é degradada produzindo açúcares menores precursores de ácidos e aldeídos responsáveis pelo sabor e aroma.

Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos são compostos aromáticos derivados dos ácidos mevalônico e chiquímico e influenciam o sabor, odor e coloração de vários vegetais. Os ácidos clorogênicos são os principais compostos fenólicos não-voláteis encontrados no café.

Os ácidos clorogênicos são divididos em 5 grupos principais e seus isômeros formados pela esterificação do ácido quínico, com o ácido caféico, ferúlico ou p-cumárico. Estes são: ácidos cafeoilquínico, com três isômeros (3, 4 e 5); ácidos dicafeoilquínicos, com três isômeros 3,4; 3,5 e 4,5; ácidos feruloilquínicos (3,4,5); ácidos p-cumároilquínico e os ácidos cafeoilferuloilquínico.

A sensação de adstringência se deve aos ácidos clorogênicos e deriva da precipitação de proteínas e glicoproteínas salivares que servem como lubrificantes.

Os ácidos clorogênicos são intensamente degradados durante o processo de torra e originam compostos voláteis como o fenol, guaiacol e 4-vinil-guaiacol. Durante o processo de torra pode ocorrer degradação de 90% desses ácidos. Cinquenta por cento do conteúdo degradado pode encontrar-se na forma de ácido quínico livre ou de compostos fenólicos de baixa massa molecular (Monteiro e Trugo, 2005).

Acidez e pH

A acidez do café é dada por ácidos não voláteis como os ácidos oxálico, málico, cítrico, tartárico e pirúvico e voláteis, como acético, propiônico, valérico e butírico, que são produzidos por rotas endógenas ou por fermentações indesejáveis (Chalfoun, 1996). A acidez promovida por alguns ácidos, como o málico e cítrico é desejável, já a oriunda do ataque de fungos aos grãos ou fermentação anaeróbica não. Os açúcares presentes na mucilagem, quando da presença de microorganismos ou sob condições anaeróbicas, são fermentados produzindo álcool, que é desdobrado em ácido acético, láctico, propiônico e butírico. Quando há formação do ácido propiônico e butírico ocorrem perdas acentuadas da qualidade da bebida, (Bitancourt, 1957; Chalfoun, 1996). Pinto et al. (2002), estudando os padrões de bebida para o preparo do café expresso, observaram que os cafés de bebida inferior, com paladar ríto e riado, apresentaram maior acidez que as bebidas de paladar estritamente mole e mole.

Potássio lixiviado e condutividade elétrica

De acordo com Amorim (1978) as membranas celulares dos grãos sofrem injúrias causadas por temperatura, umidade e injúrias mecânicas, ocasionando extravasamento de polifenoloxidase, proteases, lipases e outras enzimas que quando presentes no meio externo modificam a composição química do grão provocando alteração da qualidade do sabor e aroma da bebida.

A medida da condutividade elétrica e do potássio lixiviado são maneiras de medir a integridade destas membranas, com isto constituem-se em medidas indiretas da qualidade do grão (Malavolta, 2000; Prete, 1992).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do N, K e da relação N:K no crescimento vegetativo das plantas de café, influenciando o tamanho e o rendimento dos grãos cafeeiro bem como, nos principais atributos químicos do grão responsáveis pela qualidade da bebida do café.

CAPÍTULO 1

NUTRIÇÃO NITROGENADA E POTÁSSICA AFETANDO A COMPOSIÇÃO QUÍMICA E QUALIDADE DA BEBIDA DE *Coffea arabica*

1. INTRODUÇÃO

O nitrogênio e potássio influenciam diretamente em processos de síntese de compostos químicos importantes para a qualidade do café, seja pela participação na composição estrutural ou pela ativação enzimática. De acordo com Marschner (1995), doses elevadas de N podem aumentar a síntese de lignina, que é precursora da síntese de ácidos clorogênicos. Doses moderadas de N podem favorecer o acúmulo de fenóis, que podem exercer efeitos benéficos na qualidade ou mesmo apresentar ação antioxidante. Com isto, sua redução poderia causar maior oxidação de aldeídos, que interferiria no sabor e aroma do café.

Segundo Malta et al. (2003) observa-se efeito quadrático de doses de N na atividade da PPO. Concomitantemente há redução na concentração de fenóis. Ressalta-se que a máxima atividade da PPO é observada em concentrações mínimas de fenóis já que a polifenoloxidase atua sobre esses compostos (Malta et al., 2003).

Mazzafera (1999) aplicando a técnica do elemento faltante observou que doses baixas de K induziram a biossíntese de cafeína em folhas enquanto que a deficiência de N a reduziu. Pressupõe-se que altas doses de N e doses moderadas de K poderiam resultar em cafés de bebida superiores, além de aumentar também a síntese de compostos como a trigonelina e cafeína por fazer parte da estrutura de aminoácidos alifáticos que são seus precursores.

De acordo com Malavolta (1980) e Zehler et al. (1986) dos elementos que interferem no metabolismo dos açúcares o K é destaque; sendo a ativação enzimática sua principal função, seguido do transporte de fotoassimilados no floema.

Em plantas deficientes em potássio ocorre acúmulo de carboidratos solúveis e decréscimo no conteúdo de amido, como também aumento de compostos nitrogenados solúveis. Em plantas C3, como o café, a deficiência de potássio causa redução no conteúdo de ribulose 1-5 bisfosfato carboxilase oxigenase nos cloroplastos, interferindo na fixação de CO₂ e síntese de carboidratos.

Com base nas funções do K pode-se prever que doses supra-ótimas de K poderiam ativar a síntese de polissacarídeos em detrimento do acúmulo da sacarose e açúcares redutores responsáveis em parte pelo aroma e sabor delicado dos cafés especiais.

A adubação do cafeeiro deve ser suficiente para atender sua demanda nutricional, bem como é primordial o equilíbrio adequado dos nutrientes, visando seu melhor aproveitamento. O excesso de alguns pode causar toxidez, gerando desequilíbrios e antagonismos entre os nutrientes. Por outro lado a falta pode causar desequilíbrios e deficiências.

É possível que a relação N:K seja importante para obtenção de cafés especiais, uma vez que a aplicação de doses desequilibradas de N e K pode suprimir ou aumentar a concentração de determinados compostos químicos essenciais ao sabor e aroma dos cafés especiais. No entanto, os trabalhos relacionando doses de N, K e relações N:K com concentrações de cafeína, açúcares, ácidos clorogênicos e polifenoloxidase são raros.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do N, K e da relação N:K aplicados ao cafeeiro nos principais atributos químicos do grão responsáveis pela qualidade sensorial da bebida do café, relacionando-os às concentrações desses nutrientes em folhas e grãos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco repetições, em sistema hidropônico de sub-irrigação instalado em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no período entre setembro de 2006 e julho 2009. Os tratamentos consistiram de quatro relações N:K na solução nutritiva, obtidas mantendo-se constante a concentração de N e variando a concentração de K, mais um tratamento adicional com menor concentração de N.

Empregaram-se as concentrações 1,08, 2,15, 3,23 e 5,38 mmol/L de K combinados com a dose de 6 mmol/L de N, obtendo-se as relações N:K (p/p):1,0:0,5; 1,0:1,0; 1,0:1,5; 1,0:2,5. O tratamento controle continha as doses de 3 e 1,61 mmol/L de N e K respectivamente resultando na relação N:K (p/p) de 1,0:1,5. A solução utilizada continha: 0,5; 2,25; 1; 1,75 mmol/L de P, Ca, Mg e S e 23; 0,3; 12; 0,3; 1 e 40 μ mol/L de B, Cu, Mn, Mo, Zn e Fe.

Mudas de café da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 germinadas em substrato convencional e com um par de folhas definitivas foram transferidas para o sistema hidropônico de cultivo por sub-irrigação tendo como substrato a argila expandida. Nesse sistema, as plantas foram irrigadas com solução nutritiva sete vezes num período de 24hs, sendo esta, ministrada por 30 minutos a cada três horas durante o dia e a cada 6 horas durante a noite. Empregaram-se bombas hidráulicas de 0,5 CV acionadas por temporizadores para realizar as irrigações.

As plantas foram cultivadas em calhetões de cimento amianto, de 3,75 m de comprimento por 0,85 m de largura na parte superior, 0,60 m de largura na base e 0,20 m de altura, fechados nas extremidades, impermeabilizados e preenchidos com argila expandida de 8 a 13 mm de diâmetro até uma altura de 0,17 m da base. A parcela experimental constituiu-se de oito plantas num espaçamento de 0,4 m entre elas, foram consideradas como parcela útil as seis plantas centrais.

A solução nutritiva era contida em cinco reservatórios de 1000 L, segundo os tratamentos. Cada reservatório fornecia solução a seis calhetões. Durante o cultivo o volume dos reservatórios foi completado diariamente com água até seu volume inicial, o pH foi monitorado e mantido entre 5,5-6,5 utilizando-se HCl e NaOH (3mol/L). A condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas foi monitorada diariamente e ajustada sempre que os valores obtidos apresentaram depleções de 30% em relação aos valores iniciais. As soluções

nutritivas foram descartadas e completamente renovadas a cada quatro meses após início do experimento.

Análise química das folhas e grãos

Para realizar análise química foliar coletaram-se folhas do terceiro ou quarto nó, contado do ápice para a base, de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas. Estas coletas foram realizadas no período entre floração e expansão rápida. Além disso, tomaram-se amostras aleatórias de grãos beneficiados para realização de análises químicas em grãos.

O material amostrado foi lavado em água desionizada e seco em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C, por 72 horas. Em seguida o material foi moído em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 20 mesh.

O teor de N total foi determinado pelo método Kjeldahl (Bremner, 1965). Os teores dos elementos K, P, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu foram determinados após a mineralização pela digestão nítrico perclórica. O teor de P foi determinado pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C de acordo com Braga e Defelipo (1974). O teor de K foi determinado por fotometria de absorção de chama. Os teores de Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Cu foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o S foi determinado por turbidimetria do sulfato (Blanchar et al., 1965).

Avaliação da Produção

A colheita dos frutos de café foi realizada aos 780 dias após início do experimento sendo feita manualmente por derriça no pano quando as plantas apresentavam aproximadamente 90% de frutos cerejas. Foram avaliadas as produções das seis plantas da parcela útil, sendo esse valor convertido em produção por planta.

Posteriormente realizou-se seleção manual dos frutos cereja, que em seguida foram colocados para secar sobre leito de papel absorvente, sobre bancada, em casa de vegetação até atingirem 11% de umidade. Após a secagem os frutos, foram descascados obtendo-se assim os grãos beneficiados para análises químicas posteriores.

Análise sensorial

A prova de xícara foi realizada por provadores profissionais da “3 Irmãos Corretora de Café”. Para realização das análises estatísticas os resultados obtidos para classificação da bebida pela prova de xícara foram convertidos em valores numéricos. Estes valores constam na tabela 1.

Tabela1 – Notas estabelecidas para cada classificação obtida pela prova de xícara.

Classificação	Notas
Estritamente Mole (Cafês especiais)	88
Mole	80
Apenas Mole	70
Duro	60
Duro/Riado	59
Duro Fermentado	58
Duro/Riado/Rio	57
Riado	55
Riado/Rio	53
Rio	50
Rio Zona	45

Cafeína

Para realização das análises de cafeína em folhas foram realizadas coletas entre a fase de floração e expansão rápida e no período da colheita. As folhas coletadas foram as do terceiro nó, contado a partir do ápice do oitavo ramo plagiotrópico, a partir da base da planta. Foram também realizadas análises de cafeína nos grãos beneficiados.

A cafeína foi extraída e analisada segundo o método descrito por Mazzafera et al. (1994). O material foi moído em moinho de bolas e extraído (ao redor de 100 mg) com 5 mL de metanol 80%, por 1 h em banho-maria, usando-se tubos com tampa rosqueada. Ocasionalmente as amostras eram agitadas. Depois de resfriarem em temperatura ambiente, 1,5 mL de cada amostra foram transferidos para eppendorfs, que foram centrifugados em centrífuga de bancada por 10 minutos. Os 5 ml foram recuperados e transferidos para tubos de HPLC (Shimadzu). As análises foram feitas usando-se coluna de fase reversa C18 Supelco (5 µm, 250 x 4 mm), tendo como solvente 50% metanol aquoso contendo 0,5% de acetato de sódio e fluxo de 0,8 mL/min. A cafeína foi detectada em 270 nm. A quantificação foi feita por comparação com padrão de cafeína pura.

Polifenoloxidase (PPO)

A atividade da PPO foi determinada pela técnica de Amorim (1978), adaptada para café. Uma amostra de 0,25g de café cru moído foi colocada a 5°C com 5 mL do tampão de fosfato 0,05 mol/L, pH 7,0, e macerada em almofariz com areia lavada. O homogeneizado obtido foi centrifugado (0-5°C) por 10 minutos a 10000 rpm, sendo o sobrenadante novamente centrifugado nas mesmas condições anteriores. Tomou-se 0,2 mL do extrato o qual foi adicionado a 2,8 mL de solução tampão de fosfato 0,05 mol/L pH 7,0 contendo L-DOPA 0,125%. No controle foi omitido o L-DOPA na solução tampão. O espectrofotômetro

foi ajustado ao comprimento de onda de 420 nm e realizadas as leituras das densidades ópticas (DO), as quais foram feitas imediatamente após ter sido adicionado o extrato ao L-DOPA. Os resultados das DO foram obtidos, calculando-se a diferença entre a amostra e o controle.

Índice de coloração

O índice de coloração foi determinado pelo método descrito por Singleton (1966), adaptado para café. Uma amostra de 2 g de café cru moído foi colocado em erlenmeyer à qual foram adicionados 50 mL de água destilada. A amostra homogeneizada em agitador elétrico por 1 hora. Procedeu-se a filtração em papel de filtro quantitativo de 9 cm de diâmetro, sendo tomada uma alíquota de 5 mL do filtrado aos quais foram adicionados a 10 mL de água destilada. As amostras foram deixadas em repouso por 20 minutos e lidas em espectrofotômetro ajustado para 425 nm.

Fenóis Totais

Os fenóis totais foram extraídos pelo método Lane-Enyon citado pela AOAC (1990) e determinados pelo método de Folin Denis (AOAC, 1970). Em uma amostra de 5g de café cru moído adicionaram-se 5 mL de etanol (80%). Após armazenamento a 4^oC por 24 horas procedeu-se a filtração em papel filtro tomando-se uma alíquota de 200µL do filtrado ao qual foram adicionados 1000µL do reagente Folin Ciocalteaus e 800µL de carbonato de sódio (7,5%). Após agitação as amostras foram deixadas em repouso por um período de 30 minutos e lidas em espectrofotômetro a 765nm. O resultado final foi expresso em µg/mL de ácido tânico que foi utilizado para preparo da curva padrão.

Açúcares totais, redutores e não-redutores

Os açúcares foram extraídos pelo método Lane-Enyon citado pela AOAC (1990), e determinados pela técnica de Somogy, adaptada por Nelson (1994). Tomaram-se 5 g de café cru moído aos quais se adicionaram 5 mL de etanol (80%). Após armazenamento a 4^oC por um período de 24 horas procedeu-se a filtração em papel de filtro quantitativo de 9 cm de diâmetro, sendo tomada uma alíquota de 250 µL do extrato alcoólico na qual foram adicionados 250µL de fenol (5%) e 1,25 mL de H₂SO₄ concentrado. As amostras foram agitadas e colocadas em banho-maria (30^oC) por um período de 20 minutos e lidas em espectrofotômetro a 490 nm. Os açúcares redutores foram determinados com a coleta de 200µL do filtrado aos quais se adicionou 200µL do reagente de Nelson (8mL do reagente de Nelson 1 e 2 mL do reagente de Nelson 2). O material obtido foi colocado em água fervente durante 15 minutos ao qual foram adicionados 200µL do reagente de Nelson 5 (7mL do

reagente de Nelson 3 e 7 mL de H₂SO₄ 0,75M) procedendo-se a agitação e adição 600µL de água deionizada. Por fim as amostras foram agitadas e lidas em espectrofotômetro a 540 nm.

Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada pelo método descrito pela AOAC (1990). Amostras de 2g café cru moído receberam 50 mL de água destilada e foram colocadas em agitador elétrico por 1 hora a 150 rpm, em seguida procedeu-se a filtração em papel de filtro quantitativo de 9 cm de diâmetro. Uma alíquota de 5 mL da solução filtrada foi adicionada a um erlenmeyer junto a 50 mL de água destilada e 3 gotas de fenolftaleína(1%), procedendo-se a titulação com NaOH (0,1 mol/L). O resultado foi expresso em mL de NaOH 0,1 mol/L/100g de amostra.

pH

O pH foi determinado pelo método descrito pela AOAC (1990). Amostras de 2g de café cru moído receberam 50 mL de água destilada e foram colocadas em agitador elétrico por 1 hora a 150 rpm. Em seguida procedeu-se a filtração em papel de filtro quantitativo de 9 cm de diâmetro e fez-se a leitura utilizando-se peagâmetro marca DIGIMED-DMPH-2.

Potássio lixiviado e condutividade elétrica

O potássio lixiviado e condutividade elétrica foram determinados pelo método descrito por Prete (1992). Amostras de 50 grãos de café beneficiado foram colocadas em copos plásticos de 180 mL, aos quais foram adicionados 75 mL de água destilada; em seguida foram colocadas em estufa ventilada por 5 horas. Após esse tempo foram realizadas leituras das condutividades utilizando condutivímetro portátil. De cada amostra retirou-se uma alíquota para realizar a leitura do K lixiviado em fotômetro de chama.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). A comparação entre o tratamento controle (relação NK: 1:1,5) e os demais foi feita empregando-se o teste de Dunnet ao nível de 5% de probabilidade. Os tratamentos com doses de K foram submetidos a análise de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados no significado biológico e no coeficiente de determinação. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SAEG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas deficiências severas de potássio nas folhas durante o experimento, no tratamento de relação N:K 1:0,5, cujas doses de N e K foram 6 e 1.08 mmol/L, respectivamente. Também foram observadas diferenças significativas, em relação às doses de N e K aplicadas às plantas, evidenciadas pelas variáveis analisadas.

Composição química dos grãos e folhas

Comparando-se o tratamento com relação N:K 1:1,5 e o tratamento controle (N:K 1:1,5 e doses menores de N e K) quanto aos teores de N e K em folhas e N em grãos verificou-se diferença significativa, indicando que o efeito das doses de N e K prevaleceram sobre o efeito da relação N:K. De modo geral folhas de plantas que receberam maiores doses de N e K apresentaram maiores concentrações desses nutrientes. Quanto ao teor de K em grãos não foi verificada diferença significativa, evidenciando o efeito da relação N:K sobre essa característica (Tabela 2). Deve-se ressaltar entretanto que as plantas do tratamento controle apresentaram produção de grãos 39% menor que as de relação N:K 1:1,5.

O efeito do N foi evidenciado pela diferença significativa observada entre os tratamentos de relação N:K 1:0,5 e 1:1, e o tratamento controle para os teores de N em folhas e grãos (Tabela 2). O tratamento controle, que forneceu menos N às plantas resultou em folhas e frutos com menores teores do elemento, abaixo da faixa considerada adequada por Martinez et al. (2003).

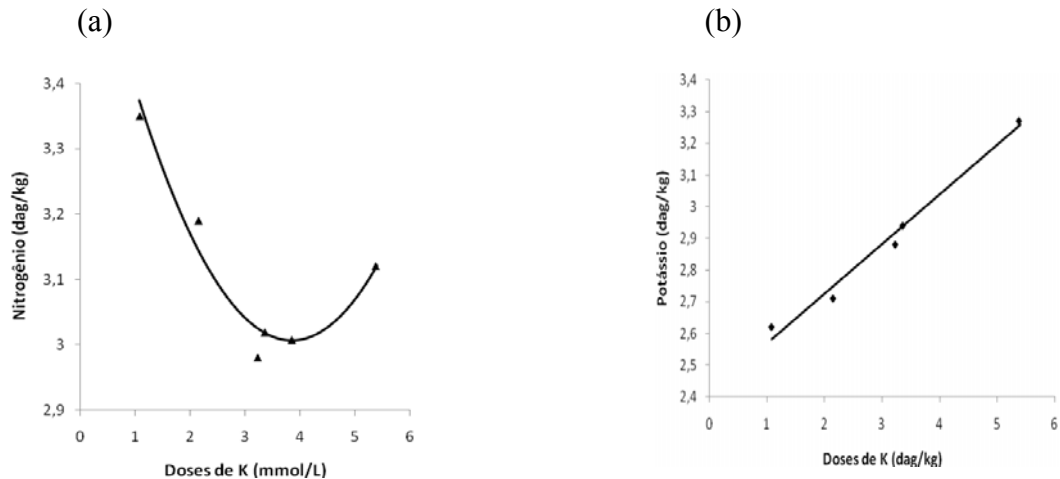
Tabela 2- Teores médios de N (NF) e K (KF) em folhas e teores de N (NG) e K (KG) em grãos de café em resposta a relações N:K obtidas com diferentes doses desses nutrientes em solução nutritiva

Relação N:K	NF(dag/kg)	KF(dag/kg)	NG(dag/kg)	KG(dag/kg)
1:0,5 (N6)	3,35 *	2,62 *	2,41 *	1,68 *
1:1 (N6)	3,19 *	2,71 *	2,32 *	1,81 ^{ns}
1:1,5 (N6)	2,98 *	2,88 *	2,27 *	1,77 ^{ns}
1:2,5 (N6)	3,12 *	3,27 *	1,96 ^{ns}	1,82 ^{ns}
1:1,5 (controle N3)	1,85	2,14	1,65	1,85
CV(%)	9,4	7,1	12,96	4,83

As médias seguidas de * diferem do tratamento controle, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnet.

Fixando-se a dose de N, na fase entre a floração e expansão rápida os teores de N e K em folhas foram afetados pelas doses de K apresentando resposta quadrática decrescente e linear crescente, respectivamente, tendo os teores de N diminuído com aumento das doses de

K, atingindo ponto de mínimo na dose de 3,85 mmol/L de K na solução nutritiva. (Figura 1a, 1b). Convém destacar que a concentração mínima de N nas folhas ocorreu com concentração de K próxima à que permitiu a maior produção de café por planta (3,72 mmol/L) e que tal concentração está na faixa de suficiência para a cultura. Já as concentrações de K foram superiores às consideradas suficientes para o cafeeiro por Martinez et al. (2003)

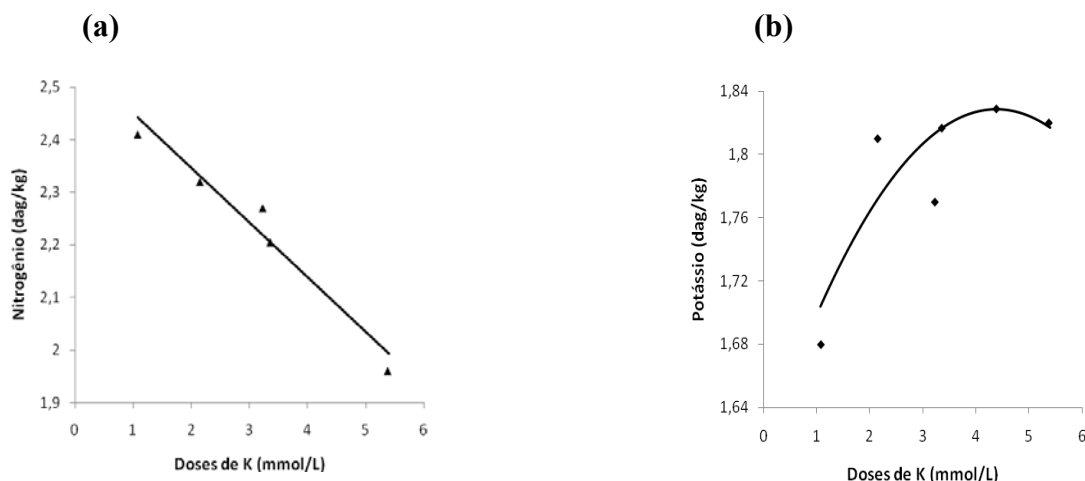


$$\blacktriangle \hat{y} = 3,7162 - 0,3682x + 0,0478x^2 \quad R^2 = 0,9401$$

$$\blacklozenge \hat{y} = 2,4133 + 0,1566x \quad r^2 = 0,9852$$

Figura 1 – Teores de N(▲) e K(◆) de folhas de café como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

De acordo com a figura 2a observa-se que o teor de N em grãos diminuiu linearmente com aumento das doses de K na solução nutritiva, já o teor de K em grãos aumentou segundo função quadrática crescente sendo seu ponto de máximo estimado na dose de 4,39 mmol/L (Figura 2b).



$$\blacktriangle \hat{y} = 2,5543 - 0,1040x \quad r^2 = 0,9521$$

$$\blacklozenge \hat{y} = 1,6089 + 0,1001x - 0,0114x^2 \quad R^2 = 0,6375$$

Figura 2 – Teores de N(▲) e K(◆) de frutos de café como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

Produção e qualidade

A produção de café cereja dos tratamentos de mesma relação N:K e diferentes doses desses nutrientes (6 e 3,23 mmol/L X 3 e 1,61 mmol/L) apresentou diferença significativa, indicando que a relação N:K não foi importante definidora da produção de café cereja. Tratamentos com doses de N mais elevadas que a do controle e doses de K próximas às deste (N:K 1:0,5 e N:K 1:1) não apresentaram diferença significativa em relação à ele, o que leva a crer que a dose de K, e não a de N, tenha tido afetado a produção de café cereja (Tabela 3).

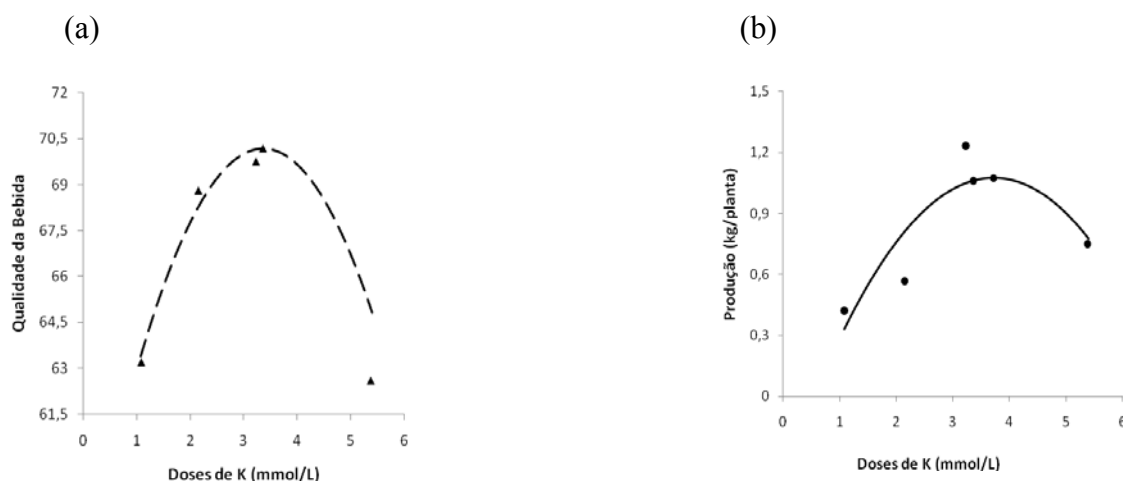
Comparando-se os dois tratamentos com relação N:K 1:1,5 verifica-se que não houve diferença entre eles para qualidade da bebida, evidenciando o efeito da relação N:K sobre essas variáveis. O efeito do N foi evidenciado pela diferença entre os tratamentos de relação N:K 1:0,5 e 1:1, e o tratamento controle, já que as doses de K desses tratamentos são próximas (Tabela 3).

Tabela 3 – Produção de café cereja (CC) e qualidade sensorial da bebida de café em resposta a relações N:K obtidas com diferentes doses desses nutrientes em solução nutritiva

Relação N:K	CC (kg/planta)	Qualidade da bebida
1:0,5 (N6)	0,422 ^{ns}	63,20 *
1:1 (N6)	0,567 ^{ns}	68,80 *
1:1,5 (N6)	1,232 *	69,75 ^{ns}
1:2,5 (N6)	0,751 ^{ns}	65,00 *
1:1,5 (controle N3)	0,556	85,25
CV(%)	57,18	14,1

As médias seguidas de * não diferem estatisticamente do tratamento controle, ao nível de 10% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Fixando-se a dose de N verificou-se resposta quadrática às doses de K, sendo inicialmente observados incrementos na qualidade com aumento das doses de K com ponto de máximo na dose de 3,36 mmol/L de K. (Figura 3a). Destaca-se que a qualidade máxima ocorreu com dose de K um pouco inferior à que promoveu a maior produção de café por planta (3,72 mmol/L de K, figura 3b). Destaca-se ainda, que os teores foliares de N e K correspondentes ao ponto de melhor qualidade da bebida avaliada pela prova de xícara foram de 3,01 e 2,94 dag/kg, ou seja, no limite superior das faixas de suficiência propostas por Martinez et al. (2003). O teor de K nos grãos no ponto de máxima qualidade sensorial da bebida foi 1,82 dag/kg. As concentrações de K em folhas e grãos associadas à máxima qualidade sensorial da bebida correspondem 98,70 % da produção máxima de café cereja.



$$\blacktriangle \hat{y} = 55,4959 + 8,7207x - 1,2949x^2 \quad R^2 = 0,9826$$

$$\bullet \hat{y} = -0,4031 + 0,7941x - 0,1066x^2 \quad R^2 = 0,7249$$

Figura 3- Produção de café cereja (●) e qualidade da bebida (▲) de café como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

Cafeína em folhas e grãos

Os teores de cafeína nas folhas entre a fase de floração e expansão rápida nas plantas cultivadas com relações N:K 1:0,5, 1:1, 1:1,5 e 1:2,5 foram estatisticamente diferentes daquelas cultivadas na relação N:K 1:1,5 do tratamento controle, indicando o maior efeito das doses de N em detrimento da relação N:K nessa característica (Tabela 4).

Os resultados encontrados estão de acordo com Mazzafera (1999) que verificou o efeito da omissão de nutrientes nos teores de cafeína nas folhas de *Coffea arabica*. Nesse trabalho baixo N e baixo fósforo resultaram em baixos teores de cafeína.

Quanto às doses de K dentro da dose elevada de N, nessa mesma fase, verificou-se resposta linear decrescente, ou seja, o teor de cafeína nas folhas diminuiu com o aumento da concentração de K na solução nutritiva (Figura 4a), o mesmo resultado foi encontrado por Mazzafera (1999).

O teor de cafeína de 4,97 mg/g em folhas na fase entre a floração e expansão rápida esteve associado ao ponto de máxima qualidade sensorial avaliada pela prova de xicara.

Na fase de colheita não foram verificadas diferenças significativas entre o teor de cafeína em folhas de plantas cultivadas na relação N:K 1:1,5 estabelecida com 6 mmol/L de N e o tratamento controle, nem para as demais relações comparativamente ao tratamento controle, indicando que a relação N:K e as doses de N não foram importantes no teor de cafeína em folhas nessa fase (Tabela 4).

O teor de cafeína em grãos dos tratamentos de relações N:K 1:0,5 e 1:1 foram estatisticamente diferentes do tratamento controle, resultando em menores médias. Ressalta-se que a comparação feita entre os tratamentos de igual relação N:K não foi observada diferença significativa indicando que talvez o efeito da relação sobrepuje o efeito de doses dos nutrientes. Apesar da evidente relação direta entre N e cafeína nas folhas antes do enchimento dos frutos, o efeito desse nutriente não é evidenciado nos teores de cafeína das folhas no final do ciclo de cultivo e dos grãos (Tabela 4), o que talvez se deva à efeitos de diluição promovidos por diferenças nas produções de café.

Tabela 4- Teores de cafeína em folhas nas fases entre a floração e expansão rápida (CafL1), no período da colheita (CafL2) e nos grãos de café beneficiado (CafG) em resposta a relações N:K obtidas com diferentes doses desses nutrientes em solução nutritiva

Relação N:K	CafL1(mg/g)	CafL2(mg/g)	CafG(mg/g)
1:0,5 (N6)	5,31 *	6,82 ^{ns}	11,20 *
1:1 (N6)	5,36 *	5,96 ^{ns}	11,10 *
1:1,5 (N6)	5,01 *	6,88 ^{ns}	11,84 ^{ns}
1:2,5 (N6)	4,51 *	6,42 ^{ns}	11,64 ^{ns}
1:1,5(controle N3)	2,73	6,34	13,18
CV(%)	12,11	13,51	9,60

As médias seguidas de * não diferem estatisticamente do tratamento controle, ao nível de 10% de probabilidade, pelo teste Dunnet.

Quanto às doses de K, dentro da dose elevada de N, observou-se resposta quadrática crescente para o teor de cafeína em grãos, sendo que a dose de 4,61 mmol/L de K, proporcionou a maior produção de cafeína (Figura 4b).

Na dose de K que proporcionou melhor qualidade sensorial avaliada pela prova de xícara, o teor de cafeína em grãos foi de 11,63 mg/g associados a 2,94 e 1,82 dag/kg de K em folhas e grãos, respectivamente e 3,01 e 2,20 dag/kg de N em folhas e grãos respectivamente.

Os teores de cafeína observados apresentaram-se dentro da faixa de 6 e 15 mg/g, verificados para cafés arábica por Tango (1971); Clifford (1975) e Njoroge (1987).

Os resultados encontrados em grãos não corroboram com os resultados encontrados por Malta et al. (2003), nos quais se observou aumento linear do teor de cafeína em grãos com incremento nas doses de N. Os resultados encontrados também diferem dos de Mazzafera (1999) haja visto, que no presente trabalho os teores de cafeína aumentaram segundo função quadrática com aumento das doses de K em solução nutritiva. Esse resultado conflitante pode, entretanto estar indicando que dose de 6 mmol/L de N foi elevada e que a dose de 3 mmol/L foi suficiente para a adequada acúmulo de cafeína em grãos.

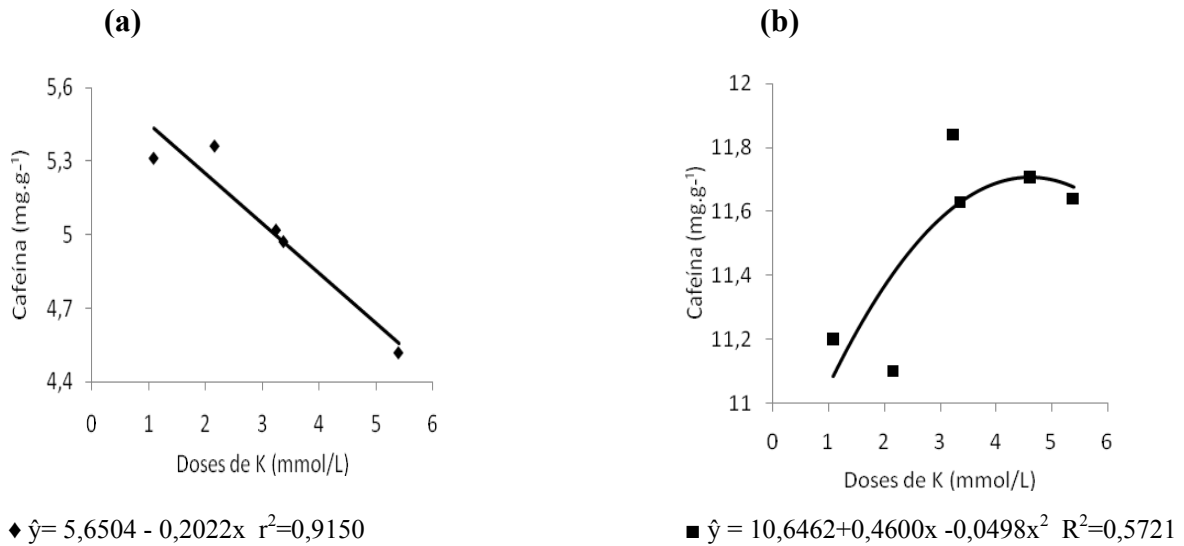


Figura 4- Teores de cafeína (◆) em folhas no período entre floração e expansão rápida dos frutos e cafeína (■) em grãos de café beneficiado como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

Polifenoloxidase

A atividade da polifenoloxidase nos tratamentos de relação NK 1:0,5, 1:1, 1:1,5 e 1:2,5 foram estatisticamente diferentes das do tratamento controle, evidenciando o efeito das doses de N preferencialmente ao das diferentes relações N:K (Tabela 5).

Quanto às doses de K, dentro da dose elevada de N, não foi observada resposta significativa, sendo os valores da atividade PPO iguais à média de 64,22 U. g⁻¹ de amostra (Figura 5).

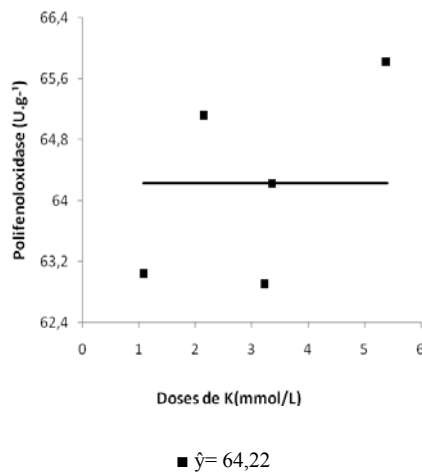


Figura 5- Efeito de doses de K na atividade da polifenoloxidase (PPO) (■) de grãos de café como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

Os resultados do presente trabalho sugerem que a maior atividade da PPO do tratamento adicional está associada à melhor qualidade da bebida avaliada pela prova de xícara. Os resultados encontrados corroboram com os trabalhos realizados por Carvalho et al. (1994) em que a atividade da polifenoloxidase de cafés estritamente mole foi superior a 67,66 U/g de amostra.

Índice de Coloração

O índice de coloração dos tratamentos de mesma relação N:K e diferentes doses desses nutrientes (6 e 3,23 mmol/L X 3 e 1,61 mmol/L) apresentaram diferença significativa. As relações foram iguais, no entanto, os resultados foram estatisticamente diferentes. Pode-se dizer com isto que houve efeito preponderante das doses de N no índice de coloração dos grãos avaliados (Tabela 5).

O índice de coloração para o tratamento controle teve relação direta com a atividade da polifenoloxidase, ou seja, os grãos com maior atividade da PPO apresentaram maior IC, e foram os cafés com melhor qualidade da bebida.

No entanto, o mesmo resultado não foi observado com os demais tratamentos com dose de 6 mmol/L de N combinada com diferentes doses de K, nos quais o maior índice de coloração não foi acompanhado de maiores médias na atividade da PPO (Tabela 5).

Fixando-se a dose de N, houve resposta linear decrescente para o efeito das doses de K no índice de coloração (Figura 6).

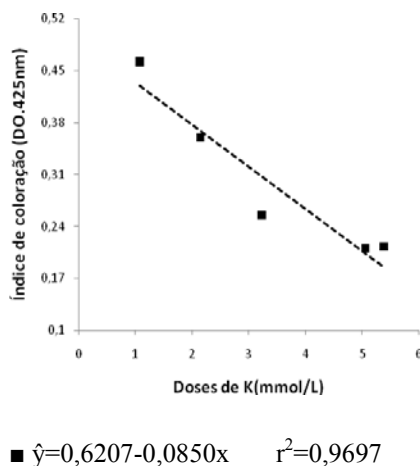


Figura 6- Efeito de doses de K no IC (■) de grãos de café como variável das doses de K na solução nutritiva.

Os resultados encontrados para o tratamento controle estão de acordo com os encontrados por Silva et al. (2002) em que a atividade da PPO de 66,20 U.g⁻¹ de amostra

esteve associada ao índice de coloração de 1.015 DO.425nm, associados a ótima qualidade da bebida.

Os resultados encontrados não corroboram com os encontrados Silva et al.(1999) em que foi verificado aumento da atividade da PPO e IC com incrementos da adubação potássica.

O valor do índice de coloração no ponto de máxima qualidade sensorial foi de 0,300 DO.425nm associado a teores de 2,94 e 1,82 dag/kg de K em folhas e grãos, respectivamente.

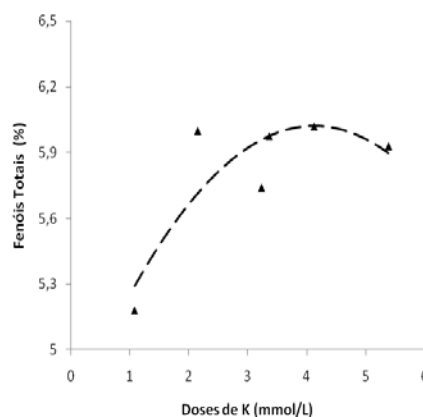
De uma forma geral, os valores observados no presente trabalho apresentam-se inferiores aos observados por Carvalho et al. (1994), que foram de 0,533 DO.425nm para cafés de bebida riada e rio, a 0,880 DO.425nm para cafés de bebida estritamente mole.

Fenóis totais

Não foram verificadas diferenças significativas para a relação N:K 1:1,5 estabelecida com 6 mmol/L de N e o tratamento controle, nem para as demais relações comparativamente ao tratamento controle, indicando que a relação N:K e as doses de N não influenciaram os teores de fenóis totais nos grãos (Tabela 5).

Quanto às doses de K na presença de 6 mmol/L de N, verificou-se resposta quadrática crescente, sendo inicialmente observado um aumento dos fenóis totais com aumento da dose de K atingindo o ponto de máximo na dose de 4,12 mmol/L de K (Figura 7).

No ponto de melhor qualidade sensorial a porcentagem de fenóis totais correspondente foi de 5,97 %. Os resultados encontrados no presente trabalho estão abaixo da média citada por Carvalho et al. (1989) que foi de 8,73% em frutos colhidos no estágio cereja, os quais resultaram em cafés com boa qualidade da bebida e de 9,66% para cafés colhidos em todos os estádios e que, portanto, comprometeram a boa qualidade da bebida.



$$\blacktriangle \hat{y} = 4,6817 + 0,6500x + 0,0788x^2 \quad R^2 = 0,6566$$

Figura 7- Efeito de doses de K no teor de fenóis totais (▲) em grãos de café como variável das doses de K na solução nutritiva.

Os resultados do presente trabalho não concordam com os resultados encontrados por Silva (1999) quanto às doses de K. Silva (1999) estudando o efeito de doses de K encontrou uma tendência de diminuição dos compostos fenólicos e aumento da atividade da PPO influenciada pelas doses de K, este efeito pode ter sido porque em cafés de melhor qualidade há menos injúria (mecânica, microbiana ou fisiológica), uma vez que compostos fenólicos aumentam com aumento de injúrias nas membranas celulares dos grãos (Amorim e Silva, 1968). Neste caso o K foi essencial para a manutenção da integridade estrutural da membrana e sua permeabilidade seletiva, impedindo a deterioração do grão.

Açúcares totais, não redutores e redutores

Os teores de açúcares totais e não redutores dos tratamentos de relação N:K 1:0,5, 1:1, 1:1,5 e 1:2,5 não diferiram do tratamento de relação N:K 1:1,5 do tratamento controle, com isto, pode-se afirmar que não houve efeito da relação N:K e das doses de N nos teores de açúcares totais e não redutores dos grãos (Tabela 5).

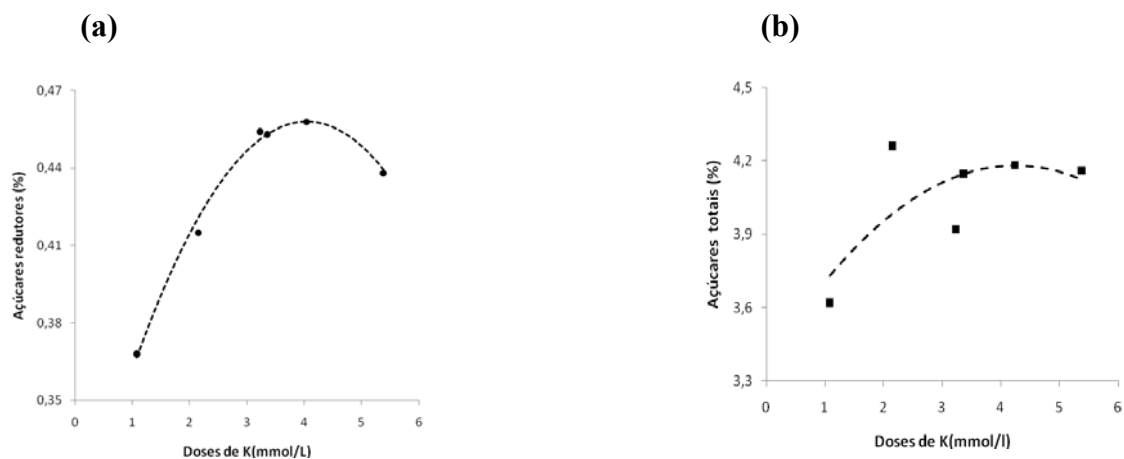
Com base na comparação entre os tratamentos de igual relação N:K não se observa diferença significativa para os açúcares redutores, no entanto verificou-se que as relações N:K 1:0,5 e 1:1 foram estatisticamente diferentes do tratamento controle, resultando em menores médias evidenciando o efeito da relação N:K (Tabela 5).

Tabela 5- Índice de coloração (IC), teor de fenóis totais, atividade da polifenoxidase (PPO), teor de açúcares totais (AST), redutores (ASR) e não- redutores (ANR), em frutos de *Coffea arabica* em resposta a relações N:K obtidas com diferentes doses desses nutrientes em solução nutritiva

Relação N:K	IC	FT(%)	PPO(U/g)	AT(%)	ASR(%)	ANR(%)
1:0,5 (N6)	0,462 *	5,18 ^{ns}	63,04 *	3,62 ^{ns}	0,368 *	3,25 ^{ns}
1:1 (N6)	0,360 *	6,00 ^{ns}	65,12 *	4,26 ^{ns}	0,415 *	3,85 ^{ns}
1:1,5 (N6)	0,255 *	5,74 ^{ns}	62,90 *	3,92 ^{ns}	0,454 ^{ns}	3,47 ^{ns}
1:2,5 (N6)	0,213 *	5,93 ^{ns}	65,82 *	4,16 ^{ns}	0,438 ^{ns}	3,72 ^{ns}
1:1,5 (controle N3)	0,857	5,60	73,00	4,12	0,504	3,62
CV(%)	27,3	5,4	6,1	9,2	11,6	9,8

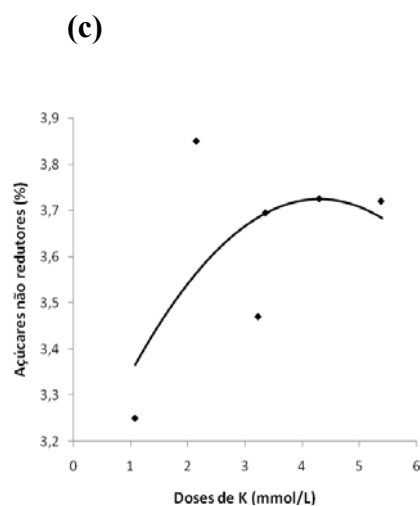
As médias seguidas * diferem do tratamento controle, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnet.

Quanto às doses de K, dentro da dose 6 mmol/L de N, observou-se resposta quadrática crescente, sendo verificado aumento no teor de açúcares totais, não-redutores e redutores com aumento das doses de K, atingindo pontos de máximo nas doses de 4,24, 4,30 e 4,04 mmol/L de K, respectivamente (Figura 8a, 8b e 8c).



$$\blacklozenge \hat{y} = 0,2881 + 0,0839x - 0,0103x^2 \quad R^2 = 0,9903$$

$$\blacksquare \hat{y} = 3,3728 + 0,3817x - 0,0449x^2 \quad R^2 = 0,435$$



$$\blacklozenge \hat{y} = 3,0846 + 0,2977x - 0,0346x^2 \quad R^2 = 0,3242$$

Figura 8- Efeito de doses de K nos teores de açúcares redutores (AR - ●), açúcares totais (AT - ■) e açúcares não-redutores (ANR - ◆) de grãos de café como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

No ponto em que foi observada melhor qualidade da bebida avaliada pela prova de xicara observou-se que os teores de açúcares redutores, não redutores e totais foram de 0,45%, 3,69% e 4,15%. Segundo Amorim et al. (1976) e Chagas et al. (1996 b), cafés de melhor qualidade de bebida possuem teores elevados de açúcares; situando-se em torno de 8%, para Navellier (1970), e numa faixa de 5 a 10%, conforme proposto por Prete (1992). De uma forma geral os resultados encontrados no presente trabalho estão abaixo das médias da literatura citada.

Acidez Total Titulável e pH

Comparando-se os dois tratamentos com relação N:K 1:1,5 verifica-se que não houve diferença entre eles para acidez total titulável e pH, no entanto a relação N:K 1:0,5 foi estatisticamente diferente do tratamento controle e as relações 1:0,5 e 1:2,5 foram estatisticamente diferentes do tratamento controle, evidenciando o efeito da relação N:K sobre essas variáveis (Tabela 6).

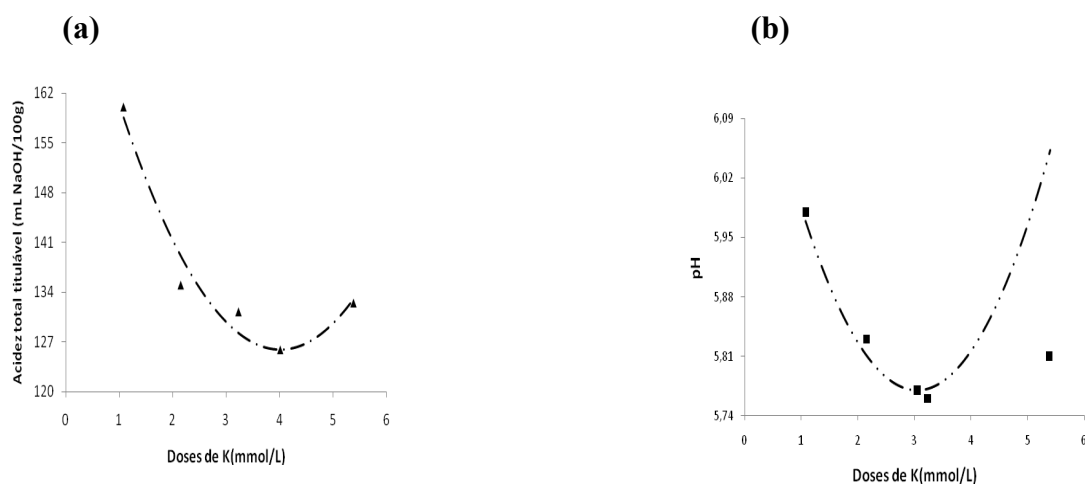
É provável que alta acidez total titulável associada ao alto pH seja por causa da baixa precisão do peagâmetro utilizado, além disso, para que ocorra variação de um ponto no valor do pH é necessário ocorrer variação de mil unidades de prótons na solução, o que não ocorreu no experimento. Ressalta-se com isto que acidez total titulável é a medida mais confiável para avaliação da acidez da bebida do café.

Para as doses de K com dose de N igual a 6 mmol/L, observou-se resposta decrescente quadrática, sendo os pontos de mínimo estimados em 4,01 mmol/L de K para ATT e 3,05 para pH (Figura 9a e 9b).

Os valores da acidez total titulável e pH correspondentes ao ponto de melhor qualidade da bebida foram de 127,52 ml de NaOH/g e 5,77, respectivamente. Ressalta-se que os teores de K em folhas e grãos nesse ponto foram de 2,75 e 1,82 dag/kg, respectivamente.

Observa-se que a acidez total titulável permaneceu abaixo do índice de 211, 2 mL NaOH/100 g de amostra, considerados por Carvalho et al. (1994) como parâmetro para café de boa qualidade. Quanto ao pH observa-se que o valor obtido de 5,77, na dose de melhor qualidade da bebida está de acordo com os valores obtidos por Barrios (2001) citados por Siqueira et al. (2006), que foram entre 5,73 – 5,88.

De acordo com Carvalho et al.(1994) a acidez total titulável possui relação inversa com a atividade da polifenoloxidase e índice de coloração. Em concordância, observou-se, neste trabalho, que a baixa acidez total titulável do tratamento controle, está combinada com alta atividade da polifenoloxidase, alto índice de coloração e café de bebida superior.



$$\blacktriangle \hat{y} = 186,88 - 30,3973x + 3,7886x^2 \quad R^2 = 0,9496$$

$$\blacksquare \hat{y} = 6,1981 - 0,2326x + 0,0301x^2 \quad R^2 = 0,9982$$

Figura 9- Efeito de doses de K na acidez total titulável (▲) e pH(■) de grãos de café beneficiado como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

Condutividade elétrica e K lixiviado

A condutividade elétrica e o K lixiviado do tratamento com relação N:K 1:0,5 diferenciou-se dos do tratamento controle, porém não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos de relação N:K 1:1,5, indicando que a relação N:K desempenha papel importante na determinação dessas características (Tabela 6). Maiores valores para essas características no tratamento N:K 1:0,5 devem-se provavelmente à relação N:K inadequada.

Quando comparados os tratamentos de relação N:K 1:1, 1:1,5 e 1:2,5 ao tratamento controle, não se verificou diferença significativa. Com isto pode-se afirmar que o K lixiviado e a CE se mantêm estáveis com amplas variações na relação N:K (Tabela 6).

Tabela 6 – Teores médios de acidez total titulável (ATT), pH, condutividade elétrica(CE) e potássio lixiviado (Lix. K) em frutos de *Coffea arabica* em resposta a relações N:K obtidas com diferentes doses desses nutrientes em solução nutritiva

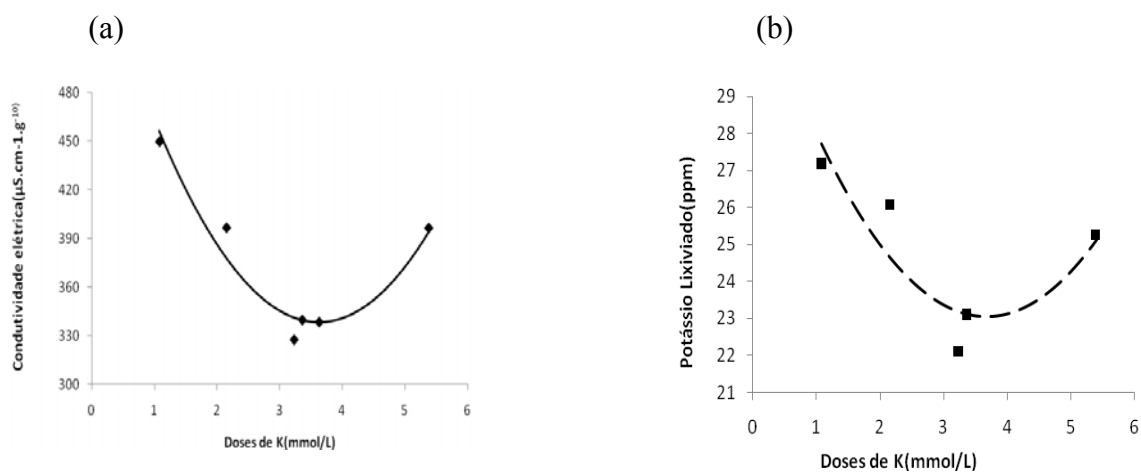
Relação N:K	ATT(mL de NaOH/100g)	pH	CE($\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-10}$)	Lix.K(ppm)
1:0,5 (N6)	160,0 *	5,98 *	449,4 *	27,19 *
1:1 (N6)	135,0 ns	5,83 ns	396,4 ns	26,07 ns
1:1,5 (N6)	131,2 ns	5,76 ns	327,5 ns	22,11 ns
1:2,5 (N6)	132,5 ns	5,81 *	396,2 ns	25,26 ns
1:1,5(controle N3)	90,00	5,71	267,8	20,09
CV(%)	24,04	1,18	27,44	18,01

As médias seguidas de * diferem do tratamento controle, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnet.

Ressalta-se que os resultados estão de acordo com Malavolta (1980) e Zehler et al. (1986) pois, o potássio está envolvido na tradução da síntese de proteínas e na manutenção e estabilidade da membrana, além de ser importante ativador enzimático, com isto em situação

de relação N:K inadequada observa-se formação de membranas celulares não muito estruturadas, conseqüentemente, pode ocorrer extravasamento do conteúdo presente no interior da célula tal como, polifenoloxidase, proteases, lipases, outras enzimas e íons de potássio (Amorim, 1978).

Quanto aos tratamentos de diferentes doses de potássio e igual dose de nitrogênio (6mmol/L), foram observadas respostas decrescente quadrática sendo os pontos de mínimo observados nas doses de 3,63 e 3,67 mmol/L de K para CE e K lixiviado, respectivamente (Figura 10a e 10b). Este resultado pode ser explicado, pelo fato de que doses excessivas de K promovem competição entre cátions, podendo inibir a absorção de cálcio, que é essencial para a manutenção da integridade estrutural da membrana plasmática.



$$\diamond \hat{y} = 577,459 - 131,768x + 18,1506x^2 \quad R^2 = 0,9229$$

$$\blacksquare \hat{y} = 32,4440 - 5,1224x + 0,6979x^2 \quad R^2 = 0,7570$$

Figura 10 – Efeito do K na condutividade elétrica (♦) e K lixiviado (■) de grãos de café como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

Na dose de K em que foi observada melhor qualidade da bebida a condutividade elétrica e o K lixiviado foram de 339,63 µS.cm⁻¹.g⁻¹⁰ e 23,11 ppm. Os pontos de mínimo da condutividade elétrica e K lixiviado nas doses de 3,63 e 3,67 mmol/L de K estão muito próximos do ponto de máximo da qualidade da bebida avaliada pela prova de xícara.

Os resultados encontrados no presente trabalho estão acima dos que foram encontrados por Prete (1992) em que os cafés de boa qualidade tiveram valores de condutividade elétrica entre 84 e 114 µS.cm⁻¹.g⁻¹⁰ e os classificados como bebida de média qualidade tiveram valores de condutividade elétrica entre 119 e 129 µS.cm⁻¹.g⁻¹⁰.

Quanto aos valores de K lixiviado observa-se que os resultados estão de acordo com os valores estipulados por Pimenta (1995) que foram de 24,37 µg/g de amostra para grãos de frutos colhidos cereja e que posteriormente resultou em qualidade de bebida superior.

De acordo Prete (1992) há relação inversa entre a qualidade da bebida e a condutividade elétrica e a K lixiviado de exsudatos de grãos crus, os resultados encontrados no presente trabalho corroboram com a afirmação acima. Com isto, pode-se dizer que alta atividade da polifenoloxidase, baixa acidez total titulável, alto índice de coloração, baixos pH e condutividade elétrica têm relação direta com a qualidade da bebida de *Coffea arabica*.

Para Amorim (1978) qualquer fator que afete a estrutura da membrana, como ataque de insetos e microorganismos, alterações fisiológicas e danos mecânicos, provocam rápida deterioração do café. Sabe-se que plantas em situação de deficiência nutricional tornam-se susceptíveis aos danos mecânicos, uma vez que a membrana é rompida, ocorrendo maior contato entre as enzimas e os compostos químicos presentes no meio intra e extracelular no grão, provocando reações químicas que modificam a composição química original do café verde e em consequência alterações na qualidade da bebida.

4. CONCLUSÕES

A relação N:K influencia a qualidade da bebida sendo a melhor qualidade observada na relação 1:1,56.

Os grãos que apresentam melhor qualidade da bebida tem maiores atividade da PPO, cafeína, índice de coloração, açúcares redutores e menores acidez total titulável, pH, condutividade elétrica e lixiviação de potássio.

O alto N não influencia a produção de café cereja e restringe a qualidade da bebida, com isto, pode-se dizer que não são necessárias altas doses de N para produção de café com qualidade.

O potássio influencia todas as variáveis analisadas, exceto atividade da PPO.

A melhor qualidade da bebida é obtida em plantas com concentrações foliares de 3,01 dag/kg de N e 2,94 dag/kg de K.

As concentrações de N e K em grãos que se associam à melhor qualidade sensorial são 2,20 dag/kg e 1,82 dag/kg, respectivamente.

CAPÍTULO 2

CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E TAMANHO DE GRÃOS DE CAFÉ EM FUNÇÃO DE DOSES DE N E K EM SOLUÇÃO NUTRITIVA.

1. INTRODUÇÃO

A planta de café é um arbusto de crescimento contínuo, de porte arbustivo ou arbóreo, de caule lenhoso, lignificado, reto e quase cilíndrico, apresenta dimorfismo dos ramos, com ramos ortotrópicos, que crescem verticalmente e formam as hastes ou troncos e os ramos plagiotrópicos, que crescem horizontalmente, numa inclinação de 45 a 90° em relação ao eixo principal. Os ramos ortotrópicos e plagiotrópicos originam-se de gemas diferenciadas.

O café é uma cultura altamente exigente em nutrientes, dentre os nutrientes mais exigidos destacam-se o N e K, a omissão ou suprimento excessivo de algum deles pode gerar distúrbios metabólicos, daí a necessidade do seu fornecimento em quantidades e proporções adequadas.

O nitrogênio tem função essencial na expansão foliar, crescimento da vegetação, e na formação de flores, além de ser constituinte de várias moléculas no metabolismo das plantas, e é o elemento mais acumulado pelo cafeeiro de acordo com Corrêa (1984). Em situação de deficiência severa observa-se desfolha, seca de ponteiros (“die back”) e depauperamento da planta, além das plantas deficientes serem mais susceptíveis ao ataque de doenças como ferrugem e cercosporiose. Em caso de excesso de N observa-se vegetação exuberante em detrimento da frutificação. O teor foliar adequado de N, para a região de Viçosa, está entre de 2,47 e 3,15 dag/kg (Martinez et al., 2003).

Dentre as moléculas mais importantes de grande dependência de N destaca-se a clorofila que tem papel fundamental na fotossíntese. É possível correlacionar clorofila com o nível de N na planta utilizando medidor de clorofila chamado SPAD. Ressalta-se que os teores de clorofila variam com o genótipo, estágio de desenvolvimento, condições ambientais, bem como deficiência de nutrientes como: N, Mg, Fe, Zn e Mn (Fontes, 2001).

Haag e Malavolta (1960) trabalhando com solução nutritiva verificaram que as massas de matéria seca de folhas e caule e número de pares de folhas de mudas de cafeeiros foram afetados pelo N mais intensamente que por outros nutrientes.

Malavolta (1986) verificou que quando a adubação nitrogenada é fornecida adequadamente formam-se folhas verdes e brilhantes além de se observar crescimento rápido das plantas. O mesmo autor comenta sobre o efeito positivo da interação entre a adubação nitrogenada e potássica, quando estes nutrientes são aplicados juntos.

O K é o cátion mais abundante do citoplasma podendo chegar a concentrações de 100 a 200 mmol/L. Em face desta concentração possui a importante função de fazer balanço de cargas elétricas dos ânions orgânicos e inorgânicos acumulados nas células, é ativador de mais de 60 enzimas, controla turgidez das células, está envolvido na formação de proteínas, confere maior resistência a pragas e doenças, melhora a eficiência do uso da água, está envolvido no processo fotossintético e no transporte de açúcares.

Semelhantemente ao N, o K move-se rapidamente de tecidos mais velhos para tecidos jovens e com isto, em caso de deficiência os sintomas são observados primeiramente em folhas mais velhas.

No cafeeiro em caso de deficiência é observada clorose seguida da necrose marginal progressiva das folhas mais velhas para as folhas mais jovens. A necrose é explicada pela maior degradação do que síntese de proteínas, havendo acúmulo de amins básicas e indução das enzimas que regulam a síntese de amidas como a putrescina, que se acumulam nos bordos foliares (Marschner, 1995; Malavolta, 1993). O teor foliar adequado de K, para a região de Viçosa, está entre de 2,13 e 2,89 dag/kg (Martinez et al., 2003).

Em se tratando de condições de manejo, as adubações nitrogenada e potássica podem influenciar a composição mineral do grão cru, quantidade de compostos orgânicos como celulose, hemicelulose, óleos, trigonelina, ácidos clorogênicos e compostos nitrogenados, com isto, adubação desequilibrada pode causar prejuízos mesmo que o café seja colhido no estágio cereja (Amorim et al., 1967).

Classificação do café

A classificação do café pode ser feita com base no sabor, aroma, cor, defeitos e aspecto. Todos estes são influenciados por fatores ambientais, genéticos, manejo, condições de armazenamento e torração (Amorim, 1978). A classificação de café pela prova de xícara é muito subjetiva, pois depende da percepção sensorial do provador. Assim o uso outros métodos químicos ou físicos pode ser de grande importância para a classificação do café.

A classificação quanto ao tamanho é feita por um jogo de peneiras que separa o grão pelo tamanho e forma, os crivos das peneiras podem ser oblongos para separar os cafés mocas ou circulares para separar os chatos. De acordo com a classificação em peneiras os cafés

podem ser classificados em: chato grosso de peneiras 17, 18, 19 e 20; chato médio de peneiras 15 e 16; chato miúdo de peneiras 13 e 14; moca graúdo de peneiras 12 e 13 e moca médio de peneiras 10 e 11.

O rendimento de beneficiamento é o peso dos grãos beneficiados obtidos a partir de certo volume de café cereja, é uma importante medida de característica do café. A peneira média é uma importante medida de qualidade de café, uma vez que expressa a largura do grão, porém não mede a altura e o comprimento. Valores altos de peneira podem ser indicativos de boa característica varietal ou boas condições de nutrição e sanidade. A uniformidade dos grãos é primordial para uniformização durante o processo de torra evitando a formação de grãos torrados ou carbonizados (Severino et al., 2001).

Pelo exposto acima espera-se que doses de N e de K, bem como a relação N:K sejam importantes para o bom desenvolvimento vegetativo das plantas de café, o tamanho e rendimento dos grãos, bem como para sua classificação por tipo.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do N, K e da relação N:K no crescimento vegetativo, produção e características físicas dos grãos beneficiados de café.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, com cinco repetições, em sistema hidropônico de sub-irrigação instalado em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no período entre setembro de 2006 e julho 2009. Os tratamentos consistiram de quatro relações N:K na solução nutritiva, obtidas mantendo-se constante a concentração de N e variando a concentração de K, mais um tratamento controle com menor concentração de N.

Empregaram-se as concentrações 1,08, 2,15, 3,23 e 5,38 mmol/L de K combinados com a dose de 6 mmol/L de N, obtendo-se as relações N:K (p/p):1,0:0,5; 1,0:1,0; 1,0:1,5; 1,0:2,5. O tratamento controle continha as doses de 3 e 1,61 mmol/L de N e K respectivamente resultando na relação N:K (p/p) de 1,0:1,5. A solução utilizada continha: 0,5; 2,25; 1; 1,75 mmol/L de P, Ca, Mg e S e 23; 0,3; 12; 0,3; 1 e 40 $\mu\text{mol/L}$ de B, Cu, Mn, Mo, Zn e Fe.

Mudas de café da variedade Catuaí Vermelho IAC 99 germinadas em substrato convencional e com um par de folhas definitivas foram transferidas para o sistema hidropônico de cultivo por sub-irrigação tendo como substrato a argila expandida. Nesse sistema, as plantas foram irrigadas com solução nutritiva sete vezes num período de 24hs, sendo esta, ministrada por 30 minutos a cada três horas durante o dia e a cada 6 horas durante a noite. Empregaram-se bombas hidráulicas de 0,5 CV acionadas por temporizadores para realizar as irrigações.

As plantas foram cultivadas em calhetões de cimento amianto, de 3,75 m de comprimento por 0,85 m de largura na parte superior, 0,60 m de largura na base e 0,20 m de altura, fechados nas extremidades, impermeabilizados e preenchidos com argila expandida de 8 a 13 mm de diâmetro até uma altura de 0,17 m da base. A parcela experimental constituiu-se de oito plantas num espaçamento de 0,4 m entre elas, foram consideradas como parcela útil as seis plantas centrais.

A solução nutritiva era contida em cinco reservatórios de 1000 L, segundo os tratamentos. Cada reservatório fornecia solução a seis calhetões. Durante o cultivo o volume dos reservatórios foi completado diariamente com água até seu volume inicial, o pH foi monitorado e mantido entre 5,5-6,5 utilizando-se HCl e NaOH (3mol/L). A condutividade elétrica (CE) das soluções nutritivas foi monitorada diariamente e ajustada sempre que os valores obtidos apresentaram depleções de 30% em relação aos valores iniciais. As soluções

nutritivas foram descartadas e completamente renovadas a cada quatro meses após início do experimento.

Foram realizadas avaliações do diâmetro do caule, altura, número de nós do ramo plagiotrópico índice (RI), número de pares de ramos plagiotrópicos e número de nós do ramo ortotrópico a cada três semanas após o início do experimento. O número de frutos do ramo índice foi avaliado a cada duas semanas após a queda das flores. Realizaram-se também análises de clorofila total, composição química das folhas e grãos, produção por planta e classificação dos grãos quanto ao tamanho.

Diâmetro do Caule (DC)

O diâmetro do caule foi medido a dois centímetros da base do ramo ortotrópico com o auxílio de um paquímetro.

Altura (A)

A altura medida da base do ramo ortotrópico até o ápice da planta com auxílio de uma régua milimetrada.

Número de nós do ramo plagiotrópico (NRI)

Foi avaliado o número de nós do oitavo ramo plagiotrópico (ramo plagiotrópico índice) contados a partir do ponto de inserção ao ramo ortotrópico até a parte terminal do meristema quando o último par de folhas já estava formado.

Número de nós do ramo ortotrópico (NRO)

O número de nós do ramo ortotrópico foi contado até o meristema apical quando o último par de folhas já estava formado.

Número de pares de ramos plagiotrópicos (PRP)

O número de pares de ramos plagiotrópicos foi contado até o meristema apical quando o último par de folhas já estava formado.

Para construção dos gráficos das superfícies de resposta das variáveis analisadas foram escolhidos os respectivos valores das variáveis de crescimento no período entre a floração e a expansão rápida aos 540 dias após início do experimento (setembro 2008).

Composição química de folhas e grãos

Para realizar análise química foliar coletaram-se folhas do terceiro ou quarto nó, contado do ápice para a base, de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas, no período entre floração e expansão rápida. Além disso, tomaram-se amostras aleatórias de grãos beneficiados para realização de análises químicas em grãos.

O material amostrado foi lavado em água desionizada e seco em estufa de ventilação forçada de ar a 70°C, por 72 horas. Em seguida o material foi moído em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 20 mesh.

O teor de N total foi determinado pelo método Kjeldahl (Bremner, 1965). Os elementos K, P, Ca, Mg e S, foram analisadas após a mineralização pela digestão nítrico perclórica. O teor de P foi determinado pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C de acordo com Braga e Defelipo (1974). O teor de K foi determinado por fotometria de absorção de chama. O Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o S foi determinado por turbidimetria do sulfato (Blanchar et al., 1965).

Número de frutos do ramo plagiotrópico índice

O número de frutos do oitavo ramo plagiotrópico (FRI) foi avaliado a cada duas semanas após o estabelecimento dos frutos, tendo se iniciado aos 630 dias. Para construção da curva de superfície de resposta do número de frutos em função do tempo e das doses de K, foram escolhidos os respectivos valores aos 630, 705 e 720 dias após início do experimento (DAI) por representar a fase de chumbinho, granação e maturação dos frutos.

A colheita dos frutos de café foi realizada aos 780 dias após início do experimento sendo realizada manualmente por derriça no pano quando as plantas apresentavam aproximadamente 90% de frutos cerejas.

Avaliação da produção

Foram avaliadas as produções das seis plantas da parcela útil, sendo esse valor convertido em produção por planta.

Posteriormente realizou-se seleção manual dos frutos cereja, que em seguida foram colocados para secar sobre leito de papel absorvente, sobre bancada, em casa de vegetação até atingirem 11% de umidade. Após a secagem os frutos, foram descascados obtendo-se assim os grãos beneficiados para análises químicas posteriores.

Classificação quanto ao tamanho

A separação dos grãos de café por tamanho foi feita tomando-se uma amostra de 300 g de café beneficiado que foi passada por um conjunto de peneiras de crivo circular arranjadas na seguinte seqüência decrescente: peneira 20, 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13 e 12. Após a separação dos grãos em diferentes tamanhos, os grãos retidos em cada peneira foram pesados e foi calculada a porcentagem de grãos retidos em cada uma delas. Para as análises estatísticas foi considerada a porcentagem de grãos de peneira maior ou igual a 18, porcentagem de grãos retidos nas peneiras 16 e 17 e porcentagem retida em peneiras menores ou iguais a 15.

Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). A comparação entre o tratamento adicional (testemunha) e os demais foi feita empregando-se o teste Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. Dentro da dose 6,0 mmol/L de N os tratamentos com doses de K foram submetidos à análise de regressão. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados no significado biológico e no coeficiente de determinação. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SAEG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento e Produção

As variáveis de crescimento avaliadas não foram estatisticamente diferentes quando se empregou a mesma relação N:K, ainda que as doses desses nutrientes fossem diferentes (comparação entre o tratamento de relação N:K 1:1,5 e o controle), no entanto, quando houve aumento da dose de N, sem que a de potássio fosse aumentada, houve redução no crescimento das plantas evidenciado pela diferença de A e DC entre os tratamentos com relações N:K 1:0,5 e 1:1,0 e o controle, e de PRP e NRI entre os tratamentos 1:1,0 e o controle. Tal resposta ressalta a importância da relação N:K para o crescimento das plantas (Tabela 1).

As variáveis NRO e FRI não se alteraram com os tratamentos, no entanto, primeira é dependente mais da ontogenia da planta do que do estado nutricional da planta (Tabela 1).

A produção de café cereja dos tratamentos de mesma relação N:K e diferentes doses desses nutrientes (6 e 3,23 mmol/L X 3 e 1,61 mmol/L) apresentou diferença significativa, indicando que a relação N:K não foi importante definidora da produção de café cereja. As doses de N estabelecidas com doses semelhantes de K não apresentaram diferença significativa, o que leva a crer que a dose de N não tenha tido efeito sobre a produção de café cereja (Tabela 1).

Tabela 1- Altura (A), diâmetro do caule (DC), número de nós do ramo plagiotrópico índice (NRI), número de nós do ramo ortotrópico (NRO), número de pares de ramos plagiotrópicos (PRP), número de frutos do ramo índice (FRI) e produção de café cereja em resposta a relações N:K obtidas com diferentes doses desses nutrientes em solução nutritiva

Relação N:K	A	NRO	PRP	NRI	DC	FRI	CC
1:0,5 (N6)	81,23 *	15,21 ^{ns}	11,16	10,80	15,19 *	17,61 ^{ns}	0,422 ^{ns}
1:1 (N6)	75,85 *	14,17 ^{ns}	10,75 *	8,80 *	14,90 *	27,04 ^{ns}	0,567 ^{ns}
1:1,5 (N6)	88,65	13,73 ^{ns}	12,25	10,38	16,49	38,81 ^{ns}	1,232 *
1:2,5 (N6)	86,66	15,35 ^{ns}	12,05	10,70	16,42	33,63 ^{ns}	0,751 ^{ns}
1:1,5(controle N3)	91,51	15,09	12,06	10,86	17,81	29,22	0,556
CV (%)	34,75	29,29	52,94	35,88	37,20	39,01	57,18

As médias seguidas de * não diferem estatisticamente do tratamento controle, ao nível de 10% de probabilidade pelo teste Dunnett.

Dentro da dose 6 mmol/L de N houve resposta às doses de K ao longo do tempo. As equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6 estão relacionadas à superfície de resposta para a estimativa da A, NRO, PRP, DC, NRI e FRI, respectivamente, em função do tempo (t) e doses de K (k), com seus respectivos coeficientes de determinação.

$$\hat{y} = 22,7099 + 0,1614*t + 1,8468*k \quad R^2 = 0,9539 \quad (1)$$

$$\hat{y} = 7,2557 + 0,0199*t + 0,2678*k \quad R^2 = 0,8045 \quad (2)$$

$$\hat{y} = -0,8171 + 0,0341*t + 0,2497*k \quad R^2 = 0,9761 \quad (3)$$

$$\hat{y} = 3,6397 + 0,0325*t + 0,3456*k \quad R^2 = 0,9630 \quad (4)$$

$$\hat{y} = 4,6359 + 0,0151*t + 0,0842*k \quad R^2 = 0,8707 \quad (5)$$

$$\hat{y} = 214,116 - 0,2671*t + 4,2460*k \quad R^2 = 0,5279 \quad (6)$$

O corte na superfície de resposta aos 540 dias após início do experimento (entre florescimento e primeira expansão rápida dos frutos) indica resposta linear crescente das variáveis altura, número de nós do ramo ortotrópico, número de pares de ramos plagiotrópicos, número de nós do ramo plagiotrópico índice e diâmetro do caule às doses de K. O número de frutos do ramo plagiotrópico índice aos 645, 705 e 780 dias apresentou o mesmo padrão de resposta (Figura 1).

Clemente (2005) trabalhou com diferentes níveis de adubação, sendo seus tratamentos constituídos de diferentes porcentagens das adubações NPK recomendadas. Nesse trabalho observou-se resposta quadrática para a variável altura sendo os pontos de máximo observados no ponto que correspondia a 75% da dose NPK recomendada aos 360 dias após o início do experimento.

Nazareno et al. (2003) estudando o efeito de três doses NPK (N: 12,5; 62,5 e 200 kg/ha) e (K: 12,5; 62,5 e 200 kg/ha) em cafeeiro da variedade Rubi sob dois regimes hídricos diferentes, observou que houve efeito de diferentes doses de N e K no crescimento do número de nós do ramo plagiotrópico, sendo a melhor resposta observada nas doses de 200 e 62,5 kg/ha de N e K respectivamente, enquanto que o número de ramos plagiotrópicos com gemas respondeu apenas ao N.

Oliveira (2005) trabalhando com porcentagens crescentes de adubações N, P e K, em relação às recomendadas para experimento com cafeeiros em vasos, observou que o aumento dessas doses não corresponderam ao aumento das variáveis altura, diâmetro do caule e pares de folhas uma vez que, em doses baixas de N e K o teor desses nutrientes nos tecidos já eram suficientes para bom desenvolvimento das plantas.

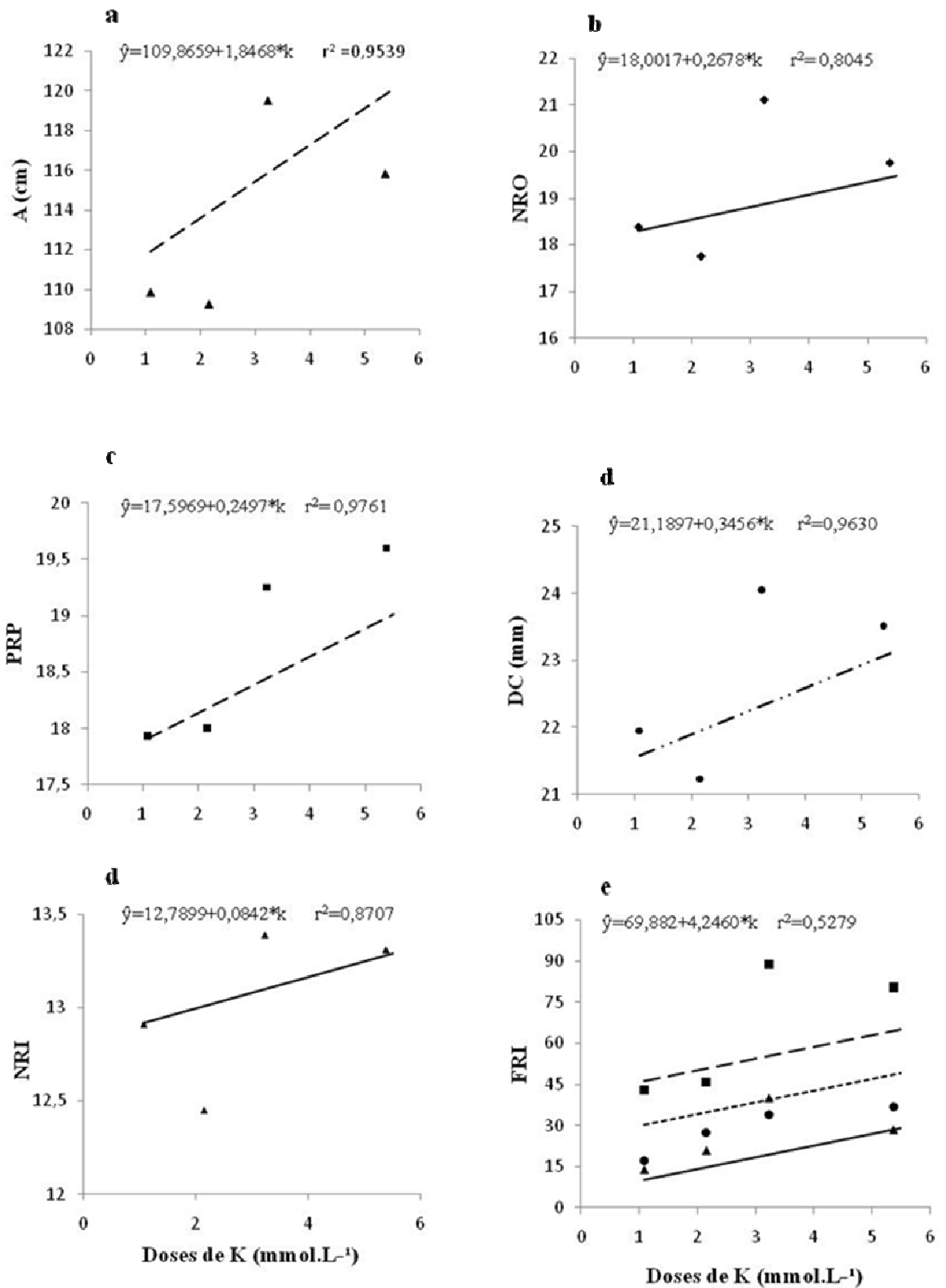
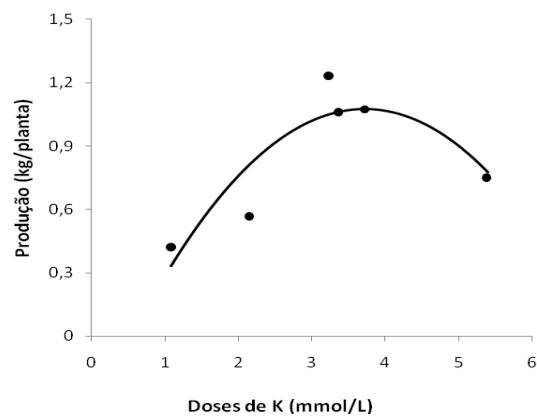


Figura 1 – Altura (a), número de nós do ramo ortotrópico (b), número de pares de ramos plagiotrópicos (c), diâmetro do caule (d), número de nós do ramo índice (e) e número de frutos do ramo índice (f) das plantas crescidas em solução nutritiva, aos 540 dias após início do experimento, em função das doses de K.

Dentro da dose 6 mmol/L de N, as produções de café cereja responderam às doses de K segundo função quadrática crescente, sendo observado aumento inicial da produção com aumento das doses de K, atingindo os pontos de máximo nas doses de 3,72 mmol/L de K em solução nutritiva (Figura 2).



$$\bullet \hat{y} = -0,4031 + 0,7941x - 0,1066x^2 \quad R^2 = 0,7249$$

Figura 2- Produção de café cereja (●) como variável das doses de K na solução nutritiva

Os teores de K em folhas e grãos de 2,94 e 1,82 dag/kg, respectivamente, estiveram associados ao ponto de máxima qualidade da bebida avaliada pela prova de xícara. Nesse ponto a produção foi de 98,70 % da produção máxima de café cereja.

Composição química de folhas e grãos

Os teores foliares de N dos tratamentos que receberam 6 mmol/L do elemento foram superiores aos do tratamento controle independentemente da dose de K ou relação N:K. Para esses tratamentos os teores foliares estiveram dentro ou acima da faixa de suficiência proposta por Martinez et al. (2003) para a região de Viçosa. Por outro lado, o teor foliar de N do tratamento controle esteve abaixo da faixa de suficiência indicada por esses autores (Tabela 2). Convém salientar que ao final do experimento as plantas desse último tratamento mostravam sintomas claros de deficiência de N, muito embora os grãos produzidos por elas tenham fornecido a melhor qualidade sensorial avaliada pela prova de xícara (capítulo 1).

As concentrações foliares de P estiveram abaixo da faixa crítica e foram significativamente inferiores às do tratamento controle em todos os tratamentos com dose de 6 mmol/L de N independentemente da dose de K e da relação N:K. Chama a atenção que para o tratamento controle a concentração foliar de P foi adequada (Tabela 2). Tal fato indica a necessidade de se considerar a relação N:P quando se estabelecem doses de N em solução nutritiva.

Para o S não houve variações significativas consistentes entre os tratamentos com diferentes relações N:K e o controle. Em todos os tratamentos as concentrações foliares estiveram dentro das faixas críticas (Tabela 2).

O teor foliar de potássio foi superior em todos os tratamentos comparativamente ao controle (Tabela 2). No tratamento N:K 1:0,5, cuja concentração de K é inferior à do controle, tal comportamento se justifica pelo menor crescimento (Tabela 1) e efeito de concentração.

As concentrações foliares de Ca e Mg dos tratamentos com diferentes relações N:K só não foram diferentes das do controle quando se usou a relação N:K 1: 1,25, cuja concentração de K foi 5,38 mmol/L, enquanto que a do controle era de 1,61 mmol/L. Maiores concentrações de Ca e Mg nos tratamentos N:K 1:1,5 e N:K 1:1, em que as concentrações de K eram superiores às do tratamento controle e, portanto, passíveis de promover antagonismo com esses cátions, sugerem um efeito sinérgico da maior dose de N desses tratamentos na absorção de Ca e Mg.

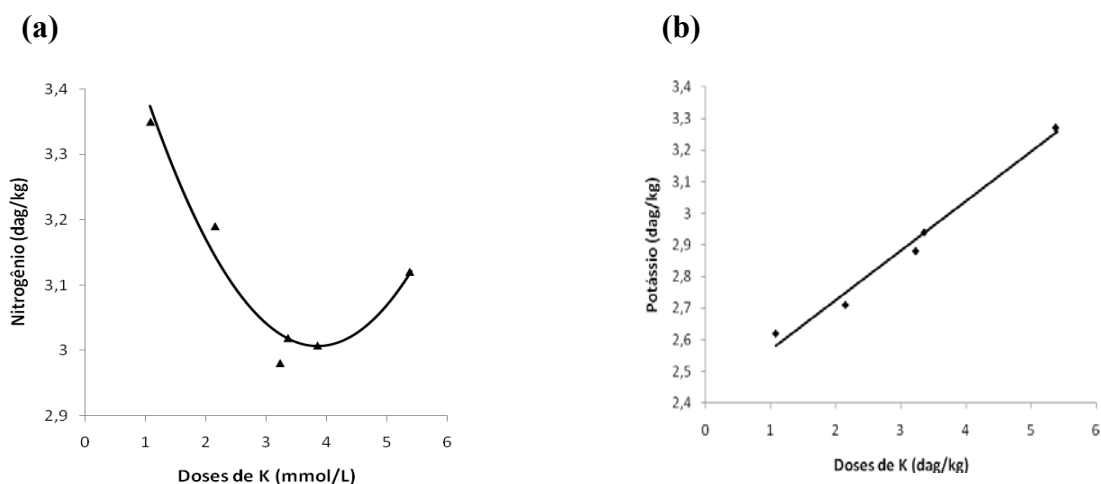
Tabela 2- Teores de macronutrientes (dag/kg) em folhas de *Coffea arabica* submetidos a diferentes relações N:K na solução nutritiva na fase compreendida entre floração e expansão rápida dos frutos.

Relação N:K	N	P	S	K	Ca	Mg
1:0,5 (N6)	3,35 *	0,14 *	0,20 ^{ns}	2,62 *	4,67 *	0,89 *
1:1 (N6)	3,19 *	0,14 *	0,18 ^{ns}	2,71 *	4,41 *	0,87 *
1:1,5 (N6)	2,98 *	0,11 *	0,15 *	2,88 *	3,73 *	0,77 *
1:2,5 (N6)	3,12 *	0,12 *	0,17 ^{ns}	3,27 *	3,14 ^{ns}	0,75 ^{ns}
1:1,5 (controle N3)	1,85	0,19	0,18	2,14	2,38	0,67
CV(%)	9,4	17,6	9,5	7,1	17,7	7,8

As médias seguidas de * não diferem do tratamento controle, ao nível de 5% de probabilidade.

Fixando-se a dose de N, na fase entre a floração e expansão rápida os teores de N e K em folhas foram afetados pelas doses de K apresentando resposta quadrática decrescente e linear crescente, respectivamente, tendo os teores de N diminuído com aumento das doses de K, atingindo ponto de mínimo na dose de 3,85 mmol/L de K na solução nutritiva. (Figura 3a e 3b).

Comparando-se o tratamento com relação N:K 1:1,5 e o tratamento controle verifica-se que não houve diferença entre eles para os teores de K em grãos, no entanto a relação N:K 1:0,5 foi estatisticamente diferente do tratamento controle, indicando o efeito do K no teor desse nutriente (Tabela 3).



$$\blacktriangle \hat{y} = 3,7162 - 0,3682x + 0,0478x^2 \quad R^2 = 0,9401$$

$$\blacklozenge \hat{y} = 2,4133 + 0,1566x \quad r^2 = 0,9852$$

Figura 3 – Efeito de diferentes doses de K na solução nutritiva nos teores de N(▲) e K(◆) em folhas na fase entre a floração e expansão rápida de frutos de café.

Quanto ao S e Ca não foram verificadas diferenças significativas das diferentes relações N:K e o tratamento controle. Para os teores de N, P e Mg houve diferença significativa do tratamento relação N:K 1:1,5 e o tratamento controle, indicando que o efeito das doses de N e K foi superior ao efeito da relação N:K (Tabela 4). O efeito do N foi evidenciado pela diferença significativa observada entre os tratamentos de relação N:K 1:0,5 e 1:1 e o tratamento controle para os teores de N, P e Mg (Tabela 3).

Tabela 3- Teores de macronutrientes (dag/kg) em grãos de *Coffea arabica* em resposta a relações N:K obtidas com diferentes doses desses nutrientes em solução nutritiva

Relações N:K	N	P	S	K	Ca	Mg
1:0,5 (N6)	2,41 *	0,132 *	0,147 ^{ns}	1,68 *	0,135 ^{ns}	0,195 *
1:1 (N6)	2,32 *	0,134 *	0,126 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,115 ^{ns}	0,195 *
1:1,5 (N6)	2,27 *	0,121 *	0,123 ^{ns}	1,77 ^{ns}	0,113 ^{ns}	0,196 *
1:2,5 (N6)	1,96 ^{ns}	0,127 *	0,125 ^{ns}	1,82 ^{ns}	0,099 ^{ns}	0,195 *
1:1,5(controle N3)	1,65	0,150	0,137	1,85	0,114	0,178
CV(%)	12,96	4,44	21,96	4,83	11,16	3,19

As médias seguidas de * não diferem do tratamento controle, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnet.

De acordo com a figura 4a observa-se que o teor de N em grãos diminuiu linearmente com aumento das doses de K na solução nutritiva, já o teor de K em grãos aumentou segundo função quadrática crescente sendo seu ponto de máximo estimado na dose de 4,39 mmol/L (Figura 4b).

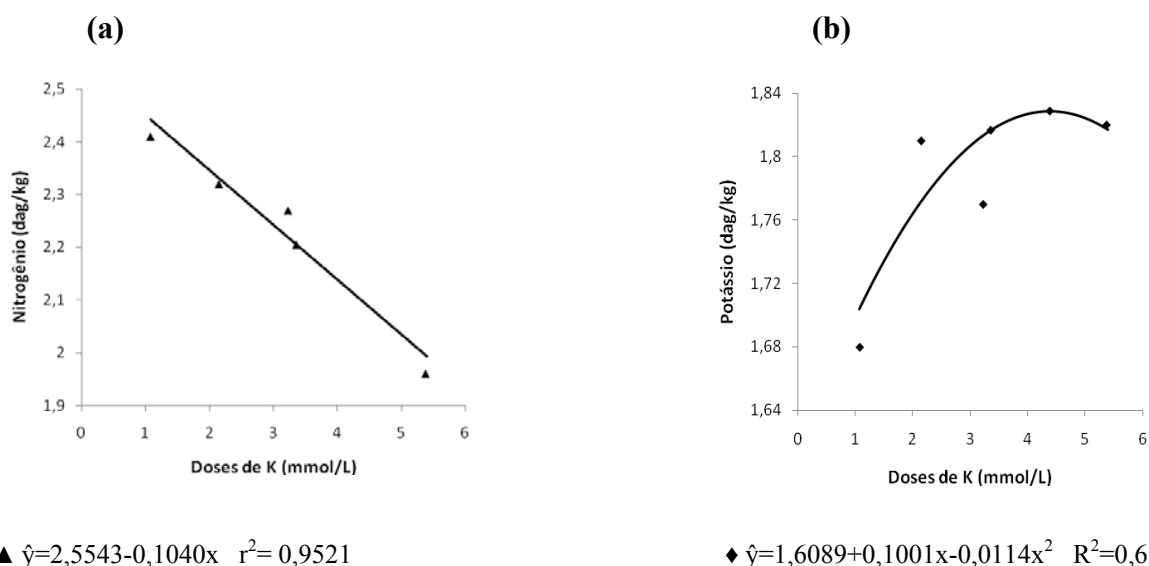


Figura 4 – Efeito de doses de K nos teores de N em grãos (▲) e K em grãos (◆) de café.

Classificação quanto ao tamanho

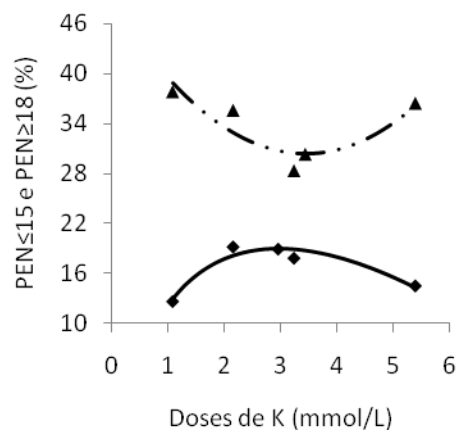
Os tratamentos com diferentes relações N:K não afetaram a porcentagem de grãos miúdos (retidos em peneira menor/igual a 15) comparativamente ao tratamento controle, indicando que a relação N:K e as doses de N não foram importantes na definição dessa característica. No entanto, a porcentagem de grãos de tamanho médio (retidos em peneira 16 e 17) foi maior nos tratamentos com diferentes relações N:K que no tratamento controle, enquanto que a porcentagem de grãos graúdos (retidos em peneira maior/igual a 18) foi maior neste último (Tabela 4). Cabe salientar que a soma das porcentagens de grãos médios e graúdos é bastante próxima entre os tratamentos e que para os tratamentos com mesma relação N:K e diferentes doses desses nutrientes a maior porcentagem de grãos graúdos esteve associada à menor produção.

Tabela 4- Porcentagem de grãos de café retidos em peneiras com diferentes diâmetros em resposta a relações N:K obtidas com diferentes doses desses nutrientes em solução nutritiva

Relação N:K	PENEIRA(%)		
	PEN \leq 15	16 \geq PEN \geq 17	PEN \geq 18
1:0,5 (N6)	13,76 ^{ns}	35,67 *	50,57 *
1:1 (N6)	12,71 ^{ns}	49,42 ^{ns}	37,87 ^{ns}
1:1,5 (N6)	19,23 ^{ns}	45,14 ^{ns}	35,63 ^{ns}
1:2,5 (N6)	17,88 ^{ns}	53,76 ^{ns}	28,36 ^{ns}
1:1,5 (controle N3)	14,58	48,92	36,50
CV(%)	15,01	12,9	19,39

As médias seguidas de * não diferem do tratamento controle, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Dunnet.

Dentro da dose de 6 mmol/L de N a porcentagem de grãos retidos em peneira maior/igual a 18 foi afetada pelas doses de K. Observou-se resposta quadrática decrescente, diminuindo inicialmente com aumento da dose de K, atingindo ponto de mínimo na dose de 3,43 mmol/L de K. A dose estimada para a máxima produção frutos é 3,72 mmol/L de K, ficando evidente a relação inversa entre porcentagem de grãos graúdos e produção por planta. A porcentagem de grãos retidos em peneira menor/igual a 15 (miúdos) mostrou resposta quadrática, sendo observada resposta crescente até o ponto de máximo na dose de 2,95 mmol/L de K (Figura 5). A resposta foi complementar à obtida para porcentagem de grãos graúdos, como esperado.



$$\blacklozenge \hat{y} = -18,99 + 44,1301x^{1/2} - 12,8312x \quad R^2 = 0,9121$$

$$\blacktriangle \hat{y} = 48,5516 - 10,5927x + 1,54083x^2 \quad R^2 = 0,7631$$

Figura 5 - Porcentagem de grãos peneira menor/igual a 15 (PEN≤15 - ◆) e peneira maior/igual a 18 (PEN≥18 - ▲) como variáveis das doses de K na solução nutritiva.

3. CONCLUSÕES

O efeito da relação N:K foi observado em todas as variáveis de crescimento avaliadas, no entanto não foi importante na definição da produção de café cereja e na classificação quanto ao tamanho dos grãos beneficiados.

O N influenciou todas as variáveis de crescimento vegetativo avaliadas, ressalta-se que o aumento das doses de N na solução nutritiva foi proporcional ao N nos tecidos das plantas, contudo, não foi acompanhado de maiores médias das variáveis analisadas, denotando que a dose de 6 mmol/L de N forneceu N acima do ótimo.

Dose elevada de N não influenciou a produção de café cereja.

Houve resposta ao K no crescimento do cafeeiro, que foi máximo entre as doses de 2,75 e 4,49 mmol/L de K. Nessa condição as folhas apresentaram 2,66 e 3,07 dag/kg de K.

CONCLUSÕES GERAIS

A relação N:K influencia a qualidade da bebida sendo a melhor observada na relação N:K 1:1,56.

Os grãos que apresentam melhor qualidade da bebida tem maiores atividade da PPO, cafeína, índice de coloração, açúcares redutores e menores acidez total titulável, pH, condutividade elétrica e lixiviação de potássio.

O alto N não influencia a produção de café cereja e restringe a qualidade da bebida, com isto, pode-se dizer que não são necessárias altas doses de N para produção de café com qualidade.

O potássio influencia todas as variáveis analisadas, exceto atividade da PPO.

A melhor qualidade da bebida é obtida em plantas com concentrações foliares de 3,01 dag/kg de N e 2,94 dag/kg de K.

As concentrações de N e K em grãos que se associam à melhor qualidade da bebida são 2,20 dag/kg e 1,82 dag/kg, respectivamente.

O efeito da relação N:K foi observado em todas as variáveis de crescimento avaliadas, no entanto não foi importante na definição da produção de café cereja e na classificação quanto ao tamanho dos grãos beneficiados.

O N influenciou as seguintes variáveis de crescimento vegetativo: altura, número de nós do ramo plagiotrópico índice e diâmetro do caule.

O aumento das doses de N na solução nutritiva foi proporcional ao N nos tecidos das plantas, contudo, não foi acompanhado de maiores médias das variáveis analisadas, denotando que a dose de 6 mmol/L de N forneceu N acima do ótimo.

Houve resposta ao K no crescimento do cafeeiro, que foi máximo entre as doses de 2,75 e 4,49 mmol/L de K. Nessa condição as folhas apresentaram 2,66 e 3,07 dag/kg de K.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amorim, H.V.; Scoton, L.C.; Castilho, A.; Gomes, F.P.; Malavolta, E. Estudo sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XXI. Efeito da adubação N, P e K e orgânica na composição mineral do grão e na qualidade da bebida. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.24, p.215-227, 1967.

Amorim, H.V.; Silva, D.M. Relationship between the polyphenol oxidase activity of coffee beans and quality of the beverage. **Nature**, New York, v.219, n.27, p.381-382, July 1968.

Amorim, H. V. **Relação entre alguns componentes orgânicos do grão do café verde com a qualidade da bebida**. Piracicaba: ESALQ, 1972. 132p. Tese de Doutorado.

Amorim, H.V.; Legendre, M.G.; Amorim, V.L.; Angelo, A.J.S.; Ory, R.L. Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. VII. Total carbonyls, activity of polyphenol oxidase, and hydroperoxides. **Turrialba**, San José, v.26, n.2, p.193-195, 1976.

Amorim, H.V.; **Aspectos bioquímicos do grão de café verde relacionados com a deterioração da qualidade**. Tese de livre docência. Piracicaba: ESALQ-USP. 1978. 85p.

Association of official analytical chemistry. **Official methods of analysis of the AOAC**. 11.ed. Washington: AOAC, 1970. 1015p.

Association of official analytical chemists. **Official methods of analyses of the Association of Official Analytical Chemists**. 15. ed. Washington, 1990. 684 p.

Barrios, B. B. E. **Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de cafés (*Coffea arabica* L.) da região Alto Rio Grande - Sul de Minas Gerais**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

Berthaud, J.; Charrier, A. Genetic resources of *Coffea*. In: Clarke, R. J.; Macrae, R. Coffee: Agronomy. London: Elsevier Applied Science, 1988. v.4, p. 1-42.

Bitancourt, A. A. As fermentações e podridões da cereja de café. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v. 32, p.7 – 14, 1956.

Blanchar, R. W.; Rehm, G.; Caldwell, A. C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Proceedings – Soil Science Society of America**, v. 29, p. 71 – 72, 1965.

Braga, J. M.; Defelipo, B. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. **Revista Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73 – 85, 1974.

Bremner, J. M. Total nitrogen In: Black, C. A., (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1965. part 2, p. 1149 – 1178.

Cambráia, J.; **Metabolismo Mineral de Plantas**. Apostila de aulas teóricas, 2009. Universidade Federal de Viçosa.

Carvalho, V.D. *et al.* Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 15., 1989, Maringá. **Anais...** Rio de Janeiro: Mec-Ibc, 1989. p.25-26.

Carvalho, V. D. de; Calfoun, S. M.; Chagas, S. J. de R.; Botrel, N.; Juste Júnior, E. S. G. Relações entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e da qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 449-454, mar. 1994.

Chagas, S. J. R. et al. Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 8, p. 555-561, 1996a.

Chagas, S. J. R. et al. Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. II – Valores de acidez titulável e teores de açúcares (redutores, não redutores e totais). **Ciência. Agrotecnologia**. Lavras, v. 20, n. 2, p. 224 – 231, 1996 b.

Chalfoun, S. M. S. **O café (*Coffea arabica* L.) na região Sul de Minas Gerais – relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos**. Lavras, 1996. 171 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras.

Clemente, F. M. V. T. **Faixas críticas de teores foliares de macro e micronutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no primeiro ano de formação da lavoura**. Lavras: UFLA, 2005. 63 p. Tese de Mestrado.

Clifford, M. N. The composition of green and roasted coffee beans. **Process Biochemistry**, New York, p. 20 – 23, 1975.

Clifford, M. N.; Wilson, K. C. **Coffee: Botany, biochemistry and production of beans beverage**. Croom Helm. New York. 1985. 457 p.

Corrêa, M. P. **Dicionário de plantas úteis do Brasil e exóticas cultivadas**. Brasília: Ministério da Agricultura/ Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1984. 6 v.

Daglia, M.; Papetti, A.; Gregotti, C.; Bertè, F.; Gazzani, G.; **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2000, 48, 1449

Del Castillo, M. D., Ames, J. M., Gordon, M. H. Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 3698 – 3703, 2002.

Fontes, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa, UFV, 1122p, 2001.

Haag, H. P.; Malavolta, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. III. Efeito das deficiências dos macronutrientes no crescimento e na composição química do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Bourbon (B. rodr.) Choussy) cultivados em solução nutritiva. **Revista da Agricultura**, Piracicaba, v. 35, n. 4 p. 273 – 289, dez. 1960.

Leite, I.P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica*, L.)**. Lavras: ESAL, 1991. 131p. Dissertação de Mestrado.

Malavolta, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.

Malavolta, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: Simpósio sobre fatores que afetam a produtividade do cafeeiro, 1986, Piracicaba. **Simpósio...** Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 165 – 274.

Malavolta, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210p.

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. **Avaliação dos estado nutricional das plantas**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.

Malavolta, E. História do café no Brasil. **Ceres**, São Paulo, 2000. 454 p.

Malta, M. R.; Nogueira, F. D.; Guimarães, P. T. G. G., Silva, F. A. M. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia** 27: 1246-1252. 2003.

Martinez, et al. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG - 5ª. aproximação- Viçosa, MG, 1999.

Martinez, H.E.P.; Menezes, J.F.S.; Souza, R.B. de; Venegas, V.H.A; Guimarães, P.T.G. Faixas críticas de concentração de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, n. 6, p. 703,713, jun. 2003.

Matiello, J. B.; Santinato, R.; Garcia, A. W. R.; Almeida, S. R.; Fernández, D. R. **Cultura de café no Brasil – Novo Manual de Recomendações**. MAPA – SARC/PROCAFÉ – SPAE/DECAF. Rio de Janeiro – RJ e Varginha – MG, setembro de 2005. 438 p.

Mazzafera, P.; Crozier, A. & Sandberg, G. Studies on the metabolic control of caffeine turnover in developing endosperms and leaves of *Coffea arabica* and *Coffea dewevrei*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Washington, 42: 1423, 1994.

Mazzafera, P. Mineral nutrition and caffeine content in coffee leaves. **Bragantia**, 58: 387 – 391. 1999.

Monteiro, M. C.; Trugo, L. C. Determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Química Nova**, Vol. 28, Nº 4, 637-641, 2005.

Marschner, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, 2nd. Ed, New York, 1995. 889p.

Navellier, P. Coffe. In: **Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1970. v.19, p.373-447.

Nazareno, R. B. et. al. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol. 38. no. 8, Brasília. Aug. 2003.

Nelson, N. A photometric adaptation of somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemists**, Baltimore, v.153, n.1, p.370- 380, 1944.

Njoroge, S. M. Notes on the chemical basis of coffee quality. **Kenya Coffee**, Nairobi, p. 152 – 154, 1987.

Oliveira, S. **Adubação com nitrogênio, fósforo e potássio para experimentos com cafeeiros em vaso**. Lavras: UFLA, 2005. 52p. Tese de Mestrado.

Pereira, R. G. F. A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (Coffea arábica L.) “estritamente mole”**. 1997. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 1997.

Pimenta, C, J. **Qualidade do café (Coffea arábica L.) originado de diferentes frutos colhidos em quatro estádios de maturação**. 1995. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

Pinto, N. A. V. D. Caracterização química e sensorial de bebidas e Blens de cafés torrados tipo expresso. In: 2º Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil, 2001, **Anais...** v. 3, Embrapa Café, Brasília, p. 1131-1135, 2002.

Prete, C. E. C. **Condutividade elétrica do exudato de grãos de café (Coffea arábica L.) e sua relação com a qualidade da bebida.** Tese de DS. Piracicaba: ESALQ-USP. 1992. 99 p.

Rosseti, R. P.; **Determinação de fenóis totais em frutos do café: avaliações em diferentes fases de maturação.** Tese de MS. São Carlos: USP. 2007. 72p.

Severino, L. S., Sakiyama, N. S., Pereira, A. A., Miranda, G. V., Zambolim, L., Barroso, U. V., Caracterização de progênies de café Catimor em Martins Soares (Minas Gerais). **Revista Ceres**, 48 (280): 629 – 648, 2001.

Silva, E. B. **Fontes e doses de potássio na qualidade do café proveniente de plantas cultivadas em duas condições edafoclimáticas.** Tese DS. Lavras: UFLA, 1999. 105 p.

Silva, E. B., Nogueira, F. D., Guimarães, P. T. G., Qualidade dos grãos de café em função de doses de potássio, **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1291-1297, 2002.

Silvetz, M. Coffee processing technology. Vo. II – Aromatization, Properties, Brewing, Decaffeination, Plant design. **The AVI Publishing Co.**, Westport, 1963. 379 p.

Singleton, V. L. The total phenolic content of grape berries during the maturation of several varieties. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 17, p. 126-134, 1966.

Siqueira, H. H., Abreu, C. M. P., Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 112-117, jan./fev., 2006.

Tango, J. S. Utilização industrial do café e dos seus subprodutos. **Boletim ITAL**, Campinas, v. 28, p. 48- 73, 1971.

Zehler, E. et al. **Sulfato de potássio e cloreto de potássio: sua influência na produção e na qualidade das plantas cultivadas.** Campinas: Fundação Cargil, 1986.

APÊNDICE A

CAPÍTULO 1

Quadro 1a - Resumo da análise de variância da acidez total titulável (ATT), índice de coloração (IC), lixiviação de potássio (Lix. K), condutividade elétrica (CE), açúcares totais (AT), açúcares redutores (AR) e açúcares não-redutores (ANR).

Quadrados Médios								
FV	GL	ATT	IC	Lix. K	CE	AST	ASR	ANR
Relação	4	3165,62 *	0,3319*	43,48*	24883,24*	0,3218 ^{ns}	0,0124*	0,2652 ^{ns}
Resíduo	20	973,43	0,0136	18,92	9751,25	0,1362	0,0025	0,1253
Total	24							
Média		129,75	0,43	24,14	367,46	4,02	0,43	3,58
CV(%)		24,04	27,16	18,01	26,87	9,18	11,64	9,80

* Significativo, pelo teste F a 10%; ^{ns} não significativo.

Quadro 1b – Resumo da análise de variância da cafeína (CafL1) em folhas na fase entre a floração e expansão rápida, cafeína em folhas na colheita (CafL2), cafeína em grãos (CafG), atividade da polifenoloxidase (PPO), pH, qualidade da bebida avaliada pela prova de xícara (QS) e fenóis totais (FT).

Quadrados Médios								
FV	GL	CafL1	CafL2	CafG	PPO	pH	FT	QS
Relação N:K	4	5,93*	3,4766 ^{ns}	0,6919*	85,21*	0,0526*	0,5283*	239,62*
Resíduo	20	0,3089	1,2836	0,7751	12,94	0,0047	0,1233	118,41
Total	24							
Média		4,58	11,79	6,48	65,97	5,82	5,69	68,83
CV(%)		12,11	9,60	13,57	5,45	1,18	6,17	15,81

*Significativo, pelo teste F a 5%; ^{ns} não significativo.

APÊNDICE B

CAPÍTULO 2

Quadro 2a – Resumo da análise de variância do peso de 100 grãos (P100), porcentagens de grãos retidos em peneira inferior a 15 (PEN \leq 15), porcentagem de grãos retidos em peneira 16 e 17 (16 \geq PEN \geq 17), porcentagem de grãos retidos em peneira superior a 18 (PEN \geq 18), produção por planta de café cereja (CC), clorofila total (CT) e índice SPAD.

Quadrados Médios

FV	GL	P100	PEN \leq 15	16 \geq PEN \geq 17	PEN \geq 18	CC	CT	SPAD
Relação N:K	4	0,544 ^{ns}	38,971 ^{ns}	232,810 *	323,199 *	0,500*	377,48*	37,94 ^{ns}
Resíduo	20	0,534	28,411	36,176	53,7113	0,162	58,6368	47,092
Total	24							
Média		15,60	15,62	46,58	37,79	0,70	47,98	59,28
CV(%)		4,70	34,12	12,9	19,39	57,18	15,95	11,5

*Significativo, pelo teste F a 5%; ^{ns} não significativo.

Quadro 2b - Resumo da análise de variância da altura (A), número de nós do ramo ortotrópico (NRO), diâmetro do caule (DC), número de nós do ramo plagiotrópico índice (NRI), pares de ramos plagiotrópicos (PRP) e número de frutos do ramo índice (FRI).

Quadrados Médios

FV	GL	A	NRO	DC	NRI	PRP	FRI
Relação N:K	4	2442,12*	32,68*	89,19*	43,56*	27,39*	313,90*
Resíduo	20	875,7980	18,6790	36,4258	13,8571	38,3592	130,38
Total	24						
Média		85,15	14,75	16,22	10,37	11,69	29,26
CV(%)		34,75	29,29	37,20	35,88	52,94	39,01

*Significativo, pelo teste F a 10%.

Quadro 2c – Resumo da análise de variância dos teores de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na fase entre a floração e expansão rápida dos frutos.

Quadrados Médios							
FV	GL	N	K	P	Ca	Mg	S
Relação N:K	4	1,8125*	0,8555*	0,0047*	4,3852*	0,0393*	0,0014*
Resíduo	20	0,0752	0,0377	0,0006	0,4205	0,0038	0,0003
Total	24						
Média		2,90	2,73	0,14	3,66	0,79	0,18
CV(%)		9,40	7,10	17,60	17,70	7,80	9,50

*Significativo, pelo teste F a 5%.

Quadro 2d – Resumo da análise de variância dos teores de nitrogênio (NG), potássio (KG), fósforo (PG), enxofre (SG), cálcio (CaG), e magnésio (MgG) em grãos de café.

Quadrados Médios							
FV	GL	NG	KG	PG	SG	CaG	MgG
Relação N:K	4	0,4979*	0,0224*	0,0005*	0,0005 ^{ns}	0,0008*	0,0003*
Resíduo	20	0,0760	0,0075	0,00003	0,0008	0,0001	0,00004
Total	24						
Média		2,12	1,79	0,13	0,13	0,11	0,19
CV(%)		12,96	4,83	4,44	21,96	11,16	3,19

*Significativo, pelo teste F a 5%; ^{ns} não significativo.

Quadro 2e - Resumo da análise de variância dos teores de manganês (MnG), zinco (ZnG), ferro (FeG) e cobre (CuG) em grãos de café.

Quadrados Médios					
FV	GL	MnG	ZnG	FeG	CuG
Relação N:K	4	634,9513*	19,8068*	53,2185*	4,4313 ^{ns}
Resíduo	20	10,4615	3,0094	14,4441	4,9943
Total	24				
Média		17,06	7,05	25,30	4,37
CV(%)		18,95	24,57	15,01	51,13

*Significativo, pelo teste F a 5%; ^{ns} não significativo.