



**ANDERSON WILLIAM DOMINGHETTI**

**DISPONIBILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM  
LAVOURAS CAFEEIRAS SOB DIFERENTES  
MANEJOS DA IRRIGAÇÃO**

**LAVRAS – MG**

**2013**

**ANDERSON WILLIAM DOMINGHETTI**

**DISPONIBILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM LAVOURAS CAFEIEIRAS  
SOB DIFERENTES MANEJOS DA IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Rubens José Guimarães

Coorientadora

Dra. Myriane Stella Scalco

**LAVRAS - MG**

**2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Dominghetti, Anderson William.

Disponibilização de fósforo em lavouras cafeeiras sob  
diferentes manejos de irrigação / Anderson William Dominghetti. –  
Lavras : UFLA, 2013.

61p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Rubens José Guimarães.

Bibliografia.

1. *Coffea arabica* L. 2. Adubação fosfatada. 3. Irrigação do  
cafeeiro. 4. Fertirrigação. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

CDD – 633.7387

**ANDERSON WILLIAM DOMINGHETTI**

**DISPONIBILIZAÇÃO DE FÓSFORO EM LAVOURAS CAFEIEIRAS  
SOB DIFERENTES MANEJOS DA IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de julho de 2013.

Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho	EPAMIG
Dra. Fátima Conceição Rezende	UFLA
Dra. Myriane Stella Scalco	UFLA

Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2013**

Aos meus pais,

José Carlos Dominghetti e Rosa Helena Fávaro Dominghetti;

Aos meus irmãos,

Alisson Magno Dominghetti e José Carlos Dominghetti Júnior;

À minha noiva e minha querida filha,

Marília Villas Boas Sandi e Ana Luiza Dominghetti

### **DEDICO**

Aos produtores de café do Brasil, incansáveis batalhadores,

e razão desse trabalho

### **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas forças e perseverança para mais essa conquista;

A toda minha família, pais, irmãos, noiva e filha, pelo apoio durante todo esse tempo;

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Agricultura e ao Setor de Cafeicultura, pela oportunidade de realizar mais esse trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo;

À Fapemig, pelo financiamento do projeto para a concretização desse trabalho;

Aos meus orientadores, Myriane e Rubens, não só pelas orientações e ensinamentos a mim passados, mas também pela grande amizade que fica;

Ao Dr. Alberto Colombo, por toda assistência no manejo da irrigação do experimento;

Aos membros da banca, Dr. Douglas Ramos Guelfi Silva, Dr. Augusto Ramalho Moraes, Dr. Gladyston Rodrigues Carvalho e Dra. Fátima Conceição Rezende, pelo engrandecimento do trabalho e disposição em participar do mesmo;

Aos amigos da cafeicultura irrigada, Vinícius, Thales, Plínio, Mário, Gabriel, José Carlos, Clayton, Jéssica, Nagla, Giselle, Dalysse, Carlos Henrique, Gleice, Renato, Zinho, João Paulo, Mariana, pois sem o trabalho e esforço deles esse trabalho nunca seria concretizado;

Aos amigos do Núcleo de Estudos em Cafeicultura – NECAF – pelo apoio durante os estudos;

Aos amigos da República Vakatulada; Diego, André Luiz, Leonardo, Alysson, Felipe, Danilo, Elvis, pela grande amizade;

Aos demais amigos do setor de cafeicultura, Alexandre, José Maurício, Agrimar, Sérgio, pela atenção e ajuda na manutenção do experimento e à Renata Kelly pelas constantes ajudas;

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Marli dos Santos Túlio, pela atenção e auxílio indispensável durante todo o curso;

A todos demais amigos que de alguma forma contribuíram para essa empreitada...

Minha sincera gratidão!

## RESUMO

O objetivo foi avaliar a influência da aplicação de lâminas de irrigação e doses de fósforo no crescimento, nutrição, rendimento de grãos e eficiência no uso da água do cafeeiro em início de produção. O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. O plantio da cultivar Topázio MG - 1190 foi realizado em janeiro de 2010 e os tratamentos foram diferenciados a partir de novembro de 2011. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos no esquema fatorial 5x4, compostos por cinco lâminas de irrigação, correspondentes as frações do coeficiente de cultura (Kc) de 0,4; 0,7; 1,0; 1,3 e 1,6 do Kc e quatro doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0, 80, 240 e 720 kg ha<sup>-1</sup>. Foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento para aplicação das lâminas e das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (MAP purificado), via fertirrigação em 12 parcelamentos iguais durante o ano. Foram avaliadas as seguintes características: área foliar das plantas com base nas medidas de altura (m) e diâmetro de copa (m) após 12 meses de tratamentos; teor foliar de P aos dois, quatro, seis, oito, dez e doze meses do início dos tratamentos; rendimento de “café da roça” /beneficiado e a eficiência do uso da água da primeira safra ocorrida nove meses após diferenciação dos tratamentos. Não houve efeito significativo dos tratamentos somente na área foliar das plantas. Para teores foliares de fósforo (P) houve influência das lâminas de irrigação nas diferentes doses utilizadas, observando, na maioria dos meses avaliados, aumento nos teores com o aumento da lâmina de irrigação. Nos meses de julho, nas doses de 240 e 720 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e no mês de maio na doses de 720 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> foi verificado efeito quadrático das lâminas nos teores foliares de P. No rendimento de “café da roça” / beneficiado, foi constatado que aumentos nas lâminas de irrigação proporcionam aumentos nos rendimentos até a lâmina proporcional a 1,6 do kC. Para a eficiência na utilização da água, verificou-se que as menores lâminas de irrigação proporcionam uso mais eficiente da água, ou seja, necessitam de menor reposição de água para produção de café beneficiado.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Adubação fosfatada. Irrigação do cafeeiro. Fertirrigação.



## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of the applying irrigation blades and phosphorus levels on the growth, nutrition, grain yield and use efficiency of water in the early production of coffee. The experiment was conducted at the Coffee Sector of the Department of Agriculture of the Universidade Federal de Lavras. The planting of the Topaz MG - 1190 cultivar was done in January 2010, and the treatments were differentiated from November 2011. We used a randomized block design with four replicates, and treatments in a 5x4 factorial scheme, composed of five irrigation blades corresponding to the crop coefficient fractions (Kc) of 0.4; 0.7; 1.0; 1.3 and 1.6 Kc and four doses of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0, 80, 240 and 720 kg ha<sup>-1</sup>. We used the drip irrigation system to apply the irrigation blades and the P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> levels (purified MAP) via fertirrigation in 12 equal installments during the year. We evaluated the following characteristics: leaf area based on height measurements (m) and crown diameter (m) after 12 months of treatment; foliar P content at two, four, six, eight, ten and twelve months in the beginning of the treatments; "café da roça" / processed yield; and water use efficiency from the first harvest, which occurred nine months after the differentiation of the treatments. There were no significant effects in the treatments only in regard to leaf area. For the foliar phosphorus (P) content, the irrigation blades influenced the use of different doses, occurring increase in the P content with the increase of the irrigation blades in most of the evaluated months. In July, with doses of 240 and 720 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and in May, with doses of 720 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, we verified a quadratic effect of the blades for foliar P. The "café da roça" / processed yield, we found that the increases in the irrigation blades provide increases in the yields until the proportional blade at 1,6 Kc. For the water use efficiency, we found that the lowest irrigation blades provide more efficient water use, that is, require less water replenishment for the production of processed coffee.

Keywords: *Coffea arabica* L. Phosphorus fertilization. Coffee irrigation. Fertirrigation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Croqui da área experimental mostrando a disposição dos tratamentos sorteados nos quatro blocos .....	27
Figura 2	Precipitação e irrigação acumulada nos tratamentos baseados nas diferentes frações do coeficiente de cultura (Kc) .....	34
Figura 3	Evolução do coeficiente de cultura e área foliar desde a implantação do experimento .....	35
Figura 4	Teores foliares de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na dose zero de fósforo, em função de lâminas de irrigação baseadas em diferentes frações do coeficiente de cultura.....	39
Figura 5	Teores foliares de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na dose de $80 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{P}_2\text{O}_5$ de fósforo, em função de lâminas de irrigação baseadas em diferentes frações do coeficiente de cultura .....	41
Figura 6	Teores foliares de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na dose de $240 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{P}_2\text{O}_5$ de fósforo, em função de lâminas de irrigação baseadas em diferentes frações do coeficiente de cultura .....	42
Figura 7	Teores foliares de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na dose de $720 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{P}_2\text{O}_5$ de fósforo, em função de lâminas de irrigação baseadas em diferentes frações do coeficiente de cultura .....	43
Figura 8	Rendimento de “café daroça” ( $\text{L scs}^{-1}$ ) na dose de $240 \text{ kg ha}^{-1}$ de $\text{P}_2\text{O}_5$ em função de lâminas de irrigação baseadas em frações do coeficiente de cultura.....	46
Figura 9	Eficiência do uso da água para a primeira produtividade nas diferentes lâminas de irrigação proporcionais às diferentes frações do Kc.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Datas de execução das principais etapas do experimento .....	23
Tabela 2	Caracterização física do solo da área experimental.....	24
Tabela 3	Caracterização química do solo da área experimental nos diferentes estágios dos tratamentos .....	24
Tabela 4	Valores das lâminas aplicadas em cada fração do Kc precipitação acumulada após um ano do início dos tratamentos.....	34
Tabela 5	Valores médios do índice de área foliar (IAF) em $m^2m^{-2}$ nas diferentes doses de fósforo ( $Kg\ ha^{-1}$ de $P_2O_5$ ) e lâminas de irrigação aplicadas com base nas frações do Kc .....	36

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1</b>	<b>Aspectos relevantes e respostas do cafeeiro a irrigação</b> .....	14
<b>2.2</b>	<b>Aspectos e respostas do cafeeiro ao uso da fertirrigação</b> .....	17
<b>2.3</b>	<b>O papel do fósforo e aspectos da adubação fosfatada no cafeeiro</b> ....	19
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	23
<b>3.1</b>	<b>Características da área experimental</b> .....	23
<b>3.2</b>	<b>Condução e tratos culturais</b> .....	25
<b>3.3</b>	<b>Tratamentos e delineamento experimental</b> .....	26
<b>3.4</b>	<b>Manejo da irrigação</b> .....	27
<b>3.5</b>	<b>Aplicação das doses de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)</b> .....	31
<b>3.6</b>	<b>Índice de área foliar</b> .....	31
<b>3.7</b>	<b>Teor foliar de fósforo</b> .....	32
<b>3.8</b>	<b>Rendimento</b> .....	32
<b>3.9</b>	<b>Eficiência do uso da água</b> .....	33
<b>3.10</b>	<b>Análises dos resultados</b> .....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
<b>4.1</b>	<b>Crescimento das plantas com base no índice de área foliar</b> .....	36
<b>4.2</b>	<b>Teores foliares de fósforo</b> .....	39
<b>4.3</b>	<b>Rendimentos de grãos e eficiência no uso da água</b> .....	46
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS</b> .....	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	50
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	51
	<b>APÊNDICE</b> .....	60

## 1 INTRODUÇÃO

O cultivo do cafeeiro no Brasil abrange uma área de 2.049.738,00 ha, contando com um total de 5.745.705 mil covas. O estado de Minas Gerais é o maior produtor de café do país, cultivando uma área de 1.028.425,00 hectares, ou seja, 50,17% de toda a área cultivada no Brasil. São 3.169.506 mil covas, sendo a região sul do estado a maior produtora, representando aproximadamente 25% da produção nacional (INFORME ESTATÍSTICO DO CAFÉ, 2013).

Para a manutenção de uma cultura de tamanha proporção no cenário agrícola nacional, os cafeicultores têm aderido ao uso de tecnologias visando aumentar a produtividade e garantir a estabilidade de produção. Dentre estas tecnologias a irrigação se destaca permitindo a expansão das áreas cafeeiras para regiões consideradas marginais (limitadas por altas temperaturas e escassez de chuvas) e avançando ainda para regiões grandes produtoras, nas quais a ocorrência de veranicos é cada vez mais frequente. A irrigação garante o suprimento adequado de água em períodos críticos de necessidade hídrica, em função das variações no clima, além de maximizar a eficiência na aplicação de fertilizantes via fertirrigação.

Na cafeicultura nacional, grandes quantidades de nutrientes são demandadas, dentre eles o fósforo que representa um consumo de aproximadamente 164, 611 toneladas por ano de todo fósforo ( $P_2O_5$ ) utilizado na agricultura do país (GUIMARÃES et al., 2010). Vários estudos têm sido feitos com relação a nutrientes como nitrogênio e potássio consumidos em maiores quantidades pelo cafeeiro, porém, mais recentemente, o fósforo se tornou foco de pesquisas em várias regiões. Por se tratar de um elemento que é absorvido do solo pelo processo de difusão, a umidade é de grande importância para que ele seja levado até as raízes. Devido a esse fator, uma das formas de maximizar a disponibilidade de fósforo no solo para que seja aproveitado de forma eficiente

pelas plantas é a utilização da irrigação, além de um possível aumento nas doses atualmente utilizadas pelos cafeicultores.

Segundo Zanini et al. (2007), o aumento na distribuição de fósforo no solo utilizando-se fertirrigação por gotejamento, ocorre porque a irrigação provoca aumento na umidade em uma faixa estreita, saturando os sítios de fixação próximos ao ponto de aplicação. Os autores afirmam ainda que o fósforo aplicado via fertirrigação pode alcançar de 30 a 40 cm de expansão lateral em relação ao local de aplicação e cerca de 40 cm de profundidade, fato que não ocorre em aplicações superficiais como as realizadas em cultivos em sequeiro.

Além de auxiliar na absorção de fósforo pela planta, a irrigação traz diversos outros benefícios ao cultivo do cafeeiro, sendo o maior deles os significativos aumentos em produtividade. Certamente esse aumento se relaciona à melhoria nos aspectos nutricionais da planta obtido por meio da irrigação. Desta forma a viabilidade do negócio já comprovado por diversos autores (ARRUDA; GRANDE 2003; FARIA; SIQUEIRA, 2005; FERNANDES et al., 2000; LIMA; PAIVA; GOMES, 2008; OLIVEIRA et al., 2010; SILVA; TEODORO; MELO, 2008), tende a aumentar.

As pesquisas em relação ao manejo da adubação fosfatada em lavouras cafeeiras irrigadas ainda são recentes. Os resultados ainda são insípidos tendo em vista as diferentes fontes utilizadas, o clima, o solo e as peculiaridades das cultivares. Supõe-se que exista uma maior absorção deste nutriente e mesmo um efeito diferenciado na eficiência de aplicação em função da dose aplicada e da disponibilidade hídrica do solo que pode refletir no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro.

O objetivo com este trabalho foi avaliar a aplicação de lâminas de irrigação e doses crescentes de fósforo no crescimento, nutrição, rendimento de grãos e eficiência no uso da água de cafeeiros no primeiro ano de produção.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Aspectos relevantes e respostas do cafeeiro a irrigação**

Atualmente a irrigação tem tomado grande impulso na atividade cafeeira, principalmente devido à sua expansão para áreas antes consideradas inaptas ao seu cultivo, que se tornaram viáveis com utilização desta tecnologia. Isso se deve ao fato da água ser o elemento principal para o desenvolvimento de qualquer cultura, pois é responsável pelo transporte e absorção de nutrientes e fotoassimilados, além de atuar no controle térmico da planta. A resposta do cafeeiro a irrigação já não se restringe as regiões com baixos índices pluviométricos, pois em regiões como o sul de Minas Gerais, que apresentam somatórios de precipitações anuais satisfatórios para o cafeeiro, a resposta de produção ao uso dessa tecnologia é expressivo.

Karasawa (2001) relata que no município de Lavras, sul de Minas Gerais quanto maior a lâmina de irrigação aplicada até, certo limite, maiores são a altura das plantas e o diâmetro de caule para a cultivar Topázio. Utilizando a mesma cultivar e na mesma região, Rezende et al. (2006), avaliando diferentes lâminas de irrigação em lavoura cafeeira recepada aos 65 meses após plantio, verificaram que com o uso da irrigação houve aumentos na produtividade, contribuindo para melhorar o rendimento da lavoura e retardando a maturação dos frutos. Em trabalhos desenvolvidos por Silva, Coelho e Silva (2005) também no município de Lavras, a prática da irrigação produziu efeitos positivos sobre a produtividade do cafeeiro.

Vilela (2004), avaliando o comportamento do cafeeiro sob lâminas diferenciadas de irrigação, verificou um aumento de 230% na produção total de três colheitas consecutivas em lavoura de cafeeiros Rubi irrigada por pivô central quando comparada com a mesma cultivar não irrigada. Segundo Paiva et

al. (2011) em Varginha, também no sul de Minas Gerais, a irrigação adequada no período crítico para o cafeeiro propiciou ganhos de 27,5% na produtividade média de seis safras, quando comparado ao cafeeiro cultivado sob regime de sequeiro. Ganhos expressivos em produtividade também são relatados por Alexandre et al. (2008), Arantes, Faria e Rezende (2009), Assis et al. (2009), Scalco et al. (2008) e Scalco et al. (2011a), comprovando cientificamente a eficiência da irrigação em regiões de destaque na produção de café como o sul de Minas Gerais. Embora sejam evidentes os benefícios da irrigação, algumas dúvidas ainda persistem no dia-a-dia dos cafeicultores, como a técnica ideal de manejo e a lâmina ideal a ser utilizada nessas regiões. Nesse contexto, diversos pesquisadores têm tentado buscar a melhor resposta do cafeeiro, de forma a obter seu ótimo produtivo, sendo que dentre os aspectos mais importantes a se considerar no bom manejo da irrigação, está o da determinação do valor de coeficiente de cultura ( $K_c$ ). O  $K_c$  multiplica o valor da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), gerando a lâmina ideal de irrigação, integrando ao cálculo da irrigação parâmetros particulares da cultura, como suas características fitotécnicas e o clima local de cultivo (DOORENBOS; PRUITT, 1977), sendo que, diversos pesquisadores têm buscado o melhor valor de  $K_c$  para cada região e fase da cultura. Na cultura do café, os valores de  $K_c$  são menores nos períodos de formação e estabelecimento da cultura, ocorrendo aumentos com o crescimento das plantas, tendendo a se estabilizar após alguns anos, com ocorrência de oscilações decorrentes de distúrbios fisiológicos e de manejo da cultura (OLIVEIRA et al., 2007). Santinato, Fernandes e Fernandes (1996) determinaram os valores de  $K_c$  para cafeeiros, para diferentes idades, espaçamento entre plantas e densidades de plantio, concluindo que para plantas com idades de zero a doze meses, os valores de  $K_c$  variaram de 0,6 a 0,9, para as densidades de plantio de 2.500 a 13.333 plantas  $ha^{-1}$ , respectivamente. Nessas mesmas densidades de plantio, os autores recomendam, para plantas com idades



de 12 a 36 meses, valores de Kc entre 0,8 a 1,1; sendo que para as plantas com idades de 36 meses ou mais, os valores de Kc ficam entre 1,0 a 1,3. Em pesquisa realizada por Antunes (2000) determinou-se que o valor de Kc para as cultivares Catucaí Vermelho e Acaíá Cerrado, ambas com 14 meses, na região de Viçosa-MG, com valores médios de 0,35 e 0,40, respectivamente. Estes valores encontrados foram inferiores aos encontrados na literatura e devido a isso, segundo os autores devem ser realizadas mais pesquisas para a determinação de Kc em cafeeiro, devido à grande diversidade climática brasileira, manejo da cultura e idades das plantas. Também Rocha et al. (2006) pesquisando melhor valor de Kc para o cafeeiro irrigado na região de Planaltina – DF, utilizando a cultivar Catuaí, encontraram valores entre 0,5 e 0,8, para plantas com até dois anos de idade, nos períodos de junho a agosto, e setembro a maio, respectivamente. Para os cafeeiros com mais de dois anos de idade, os valores do coeficiente encontrados pelos autores foram de 1,0 e 1,25, para os mesmos períodos. Sato et al. (2007) concluíram ainda que o valor de Kc para o cafeeiro no período outono-inverno (abril a setembro), fica na faixa de 0,59 a 1,16 após quatro anos da poda tipo recepa do cafeeiro Catuaí.

São vários os relatos destacando a influência da irrigação em lavouras cafeeiras, tanto em relação ao desenvolvimento vegetativo (CARVALHO et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2010), produtividade (ARANTES; FARIA; REZENDE, 2009; SCALCO et al., 2011a; SILVA; TEODORO; MELO 2008), qualidade (VILELLA; FARIA, 2002), incidência e severidade de doenças e pragas (ASSIS et al., 2012; CUSTÓDIO et al., 2009) e nutrição (SOBREIRA et al., 2011). Nesse caso específico, é necessário enfatizar sobre a aplicação de fertilizantes, via água de irrigação que pode romper paradigmas indicando um manejo de adubação diferenciado para o cafeeiro dentro de um sistema produtivo irrigado.

## 2.2 Aspectos e respostas do cafeeiro ao uso da fertirrigação

Aliada à irrigação, a utilização da fertirrigação, que é a aplicação de fertilizantes via água de irrigação pode proporcionar ao cafeeiro inúmeras vantagens, sendo as principais: aumentos na produtividade, melhoria na qualidade dos frutos, diminuição da compactação do solo pela menor frequência na utilização de máquinas pesadas na área, redução de utilização de mão-de-obra, do consumo de energia e gasto com equipamentos, maior eficiência na utilização de nutriente e maior facilidade na aplicação de macro e micronutrientes, além da possibilidade de parcelamento de adubação (BURT, 1995).

Devido à maior eficiência na aplicação de fertilizantes proporcionada por essa técnica, espera-se que as doses de adubo aplicado possam ser reduzidas, pois ocorre um maior aproveitamento pelas plantas. Segundo Sobreira et al. (2011) a aplicação de nitrogênio e potássio via fertirrigação em cafeeiros em fase de formação, pode proporcionar uma redução de até 30% na dose de N e K recomendada por Guimarães et al. (1999), sem prejuízos ao desenvolvimento das plantas, concluindo também ser o melhor parcelamento dessas aplicações realizado em doze vezes ao ano. Trabalhos desenvolvidos por Fagundes (2006) e Teodoro et al. (2004) comprovaram diminuições de até 50% na dose de nitrogênio e potássio utilizada no cafeeiro em formação. Quanto à aplicação dos fertilizantes, há a possibilidade de maior parcelamento da adubação devido à disponibilidade de água à planta o ano todo. Segundo Santinato e Fernandes (2002), parcelamentos de 8 a 12 vezes ao ano são os ideais para aplicação dos fertilizantes. Matiello et al. (2006) recomendam parcelamentos de 8 a 16 vezes ao ano.

No caso particular do fósforo, devido à sua baixa mobilidade no solo, a aplicação, via fertirrigação pode ser uma alternativa para um melhor

aproveitamento. Villas Bôas, Büll e Fernández (1999) relatam aumentos na movimentação de fósforo no solo na ordem de 5 a 10 vezes quando se aplica o nutriente via fertirrigação, sendo uma grande ferramenta na maximização da utilização do fósforo pelo cafeeiro. O maior crescimento radicular e as condições adequadas de umidade favorecem a absorção de nutrientes, em especial daqueles cujo mecanismo principal de transporte no solo é a difusão, como é o caso do fósforo (COSTA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2010). Em estudo sobre transporte de P em seis solos com teor de argila de 50 a 570 g kg<sup>-1</sup>, Miola et al. (2000) concluíram que a redução da umidade do solo da condição de saturação para 75% da porosidade total reduziu, em média, vinte vezes o fluxo difusivo de P. Os estudos apontam que existe uma alta relação entre o conteúdo de água no solo e a movimentação do fósforo, levando a crer que a união dos dois elementos nos manejos dos cultivos pode trazer grandes benefícios ao manejo da adubação fosfatada.

Em trabalho utilizando a cultura do algodoeiro, Aquino et al. (2012) comprovaram que o aumento de produtividade da cultura com a aplicação do P foi condicionado ao uso da irrigação. Em lavouras cafeeiras esse aspecto ainda é pouco explorado pela pesquisa, carecendo de resultados que comprovem a eficiência dessa técnica para a cultura. Experimentos conduzidos por Reis et al. (2011) em lavouras de café irrigadas, foi possível obter aumentos significativos de produtividade (138%) com aplicações de até 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, comprovando a eficiência da água na absorção de fósforo pelo cafeeiro.

Porém, os resultados apresentados ainda indicam contradições quanto à resposta do cafeeiro a adubação fosfatada. Avaliando o crescimento inicial da cultivar Rubi MG 1192 irrigada, submetida a doses diferenciadas de nitrogênio, fósforo e potássio, Nazareno et al. (2003) concluíram que o fósforo não afetou o número de ramos plagiotrópicos e o número de nós com gemas por planta,

atribuindo a falta de respostas ao P às adubações fosfatadas de plantio que foram suficientes para suprir as demandas iniciais das plantas.

Mera et al. (2011) também afirmam que diferentes regimes hídricos (com e sem suspensão da irrigação) interagem com doses de  $P_2O_5$  (0, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>), concluindo que as doses de fósforo não afetaram a altura da planta, o número de nós e de ramos plagiotrópicos primários do ramo ortotrópico e o número de frutos por estágio de maturação; porém o comprimento e a área foliar do ramo, o número de frutos e de frutos por nó por ramo reprodutivo aumentou com a dose de  $P_2O_5$ .

Diante dos escassos resultados e da importância da disponibilidade hídrica na absorção de nutrientes e de forma especial do fósforo, o papel deste nutriente para o cafeeiro deve ser revisto. O P tem importância destacada na fase de formação do cafeeiro sendo considerado menos importante para lavouras em produção (REIS et al., 2009), porém, diante da sua limitação na natureza (KLEIN; AGNE, 2012) e dos relatos já existentes de resposta a aumento de doses de P (MERA et al., 2011) ou mesmo indicações de maiores teores foliares em lavouras irrigadas (SCALCO et al., 2011b), é fundamental reavaliar papel do P no metabolismo das plantas do cafeeiro.

### **2.3 O papel do fósforo e aspectos da adubação fosfatada no cafeeiro**

O fósforo é um elemento de grande importância no metabolismo das plantas. Desempenha também papel de destaque na fotossíntese, na respiração, no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência da informação genética. Seu suprimento adequado promove o uso mais eficiente da água e, conseqüentemente, dos outros nutrientes (GUIMARÃES et al., 2011).

As plantas perenes, de uma forma geral, apresentam mecanismos de acúmulo de fósforo mais evoluídos que as plantas de ciclo anual, em razão dos períodos mais prolongados de déficit hídrico aos quais estão sujeitos (NOVAIS; MELLO, 2007), prováveis razões das baixas respostas dessas plantas às adubações fosfatadas. Dentro desse contexto, o cafeeiro é uma planta considerada pouco exigente em fósforo, sendo este nutriente pouco exportado pela cultura quando comparado aos outros macronutrientes (GUIMARÃES et al., 2011).

Os solos de cultivo do cafeeiro no Brasil, em geral são deficientes em fósforo, devido ao seu elevado estado de intemperização, com predominância de caulinita e oxidróxidos de ferro e alumínio na fração argila, apresentando-se como grandes drenos de fósforo (P).

Acredita-se que somente cerca de 5 a 20% do fósforo disponível aplicado é aproveitado pela cultura (ALCARDE; PROCHNOW, 2003), motivo que leva a aplicações bem superiores às exigidas pela cultura (FURTINI NETO et al., 2001). Corrêa et al. (2001) analisando um total de 75 amostras de solo e folhas de lavouras cafeeiras, representativas da região sul de Minas Gerais, constatou que 37,3% e 34,7% das lavouras avaliadas apresentaram baixos e médios teores de P no solo.

Consequentemente, plantas cultivadas nesses solos apresentam deficiências nutricionais e têm seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo prejudicado. São escassos os trabalhos com fósforo no cafeeiro, sendo mais comuns trabalhos que demonstrem sua eficiência na fase de formação da lavoura, período que a planta apresenta sistema radicular pouco desenvolvido e se desenvolve melhor com maiores concentrações de P na cova de plantio. O suprimento adequado de P é importante já nas fases iniciais de crescimento das plantas, pois as limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições do desenvolvimento, dos quais a planta não se

recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P em níveis adequados (GRANT et al., 2001), prejudicando assim sua produtividade. Segundo Moreira e Siqueira (2006) o P juntamente com o N representam os nutrientes que mais comumente limitam a produção das culturas em solos de regiões tropicais.

Lavouras em estágios produtivos apresentam maior exportação de P da planta, devido à retirada dos frutos, sendo necessária uma maior reposição à cultura. Além dos frutos, Malavolta et al. (2002) comprovaram que as flores constituem um forte dreno temporário, sendo que o fósforo extraído pelas flores em cultivares Catuaí e Mundo Novo constituíram 29,7 e 31,0 % do P total contido na planta, respectivamente.

Devido a esses aspectos e ao fato de o solo ser também um dreno de fósforo, diversos autores sugere a aplicação de doses de P acima da atualmente recomendada para o cafeeiro. Segundo trabalhos de Gallo et al. (1999) aumentos na produtividade do cafeeiro da ordem de 16% foram obtidos em solos com baixos teores de P utilizando-se uma dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Prezotti e Rocha (2004) obtiveram resultados semelhantes, com acréscimo de 12% na produtividade.

Aumentos de 138% foram obtidos por Reis et al. (2011) em cafeeiros irrigados em Latossolo sob cerrado em Planaltina-DF, sendo constatado um aumento linear na produção até 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (dose máxima estudada). Em lavouras irrigadas em fase de produção, Guerra et al. (2007) verificaram que as lavouras que receberam P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> durante três safras consecutivas apresentaram altas taxas de crescimento, com nós longos e folhas verdes e grandes. Observaram ainda, que o cafeeiro responde a aplicação do nutriente em sistemas sob altas produtividades, provavelmente devido à maior demanda por energia para seus processos metabólicos. Ao mesmo tempo os autores questionaram sobre os atuais níveis críticos de P no solo; propuseram que o cafeeiro precisa de

maior suprimento de P na fase de produção, uma vez que a planta demanda energia tanto para suprir o dreno dos frutos como para desenvolver sua parte vegetativa responsável pela produção do ano seguinte e conseqüentemente minimizar a bienalidade da cultura.

Todos esses autores concordam que o aumento nas doses de fósforo aplicado ao cafeeiro trazem benefícios, principalmente quando se trata de solos com grande fixação do elemento. No entanto, mais estudos ainda são necessários de forma que se obtenha a dose ideal, levando-se em consideração a interferência do solo na absorção de fósforo pelo cafeeiro.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Características da área experimental

O experimento foi conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, sul de Minas Gerais. A área experimental está a 910 metros de altitude, e o município está em latitude 21° 14' 06'' Sul e longitude de 45° 00' 00'' Oeste. O clima é classificado como Cwa, temperado com inverno seco e verão chuvoso. A precipitação anual média é de 1.460 mm, com a maior e a menor precipitação mensal normal de 321 mm em janeiro e 7 mm em julho. A temperatura média anual é de 20,4 °C, variando de 17,1 °C em julho a 22,8 °C em fevereiro. A evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR) variam de 899 a 956 mm e de 869 a 873 mm, respectivamente (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

Foi utilizada a cultivar de *Coffea arabica* L, Topázio MG 1190, de porte baixo. As datas de execução das principais etapas do experimento estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 Datas de execução das principais etapas do experimento

Etapas do experimento	Data de execução
Plantio	15/01/2010
Início dos tratamentos	01/11/2011
Primeira Colheita	15/07/2012
Término primeiro ano de tratamentos	30/10/2012

O solo da área é classificado como Latossolo vermelho escuro distroférico, de textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA



AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), e suas características físicas podem ser observadas na Tabela 2 e as características químicas na Tabela 3.

Tabela 2 Caracterização física do solo da área experimental

Profundidade (cm)	Análise Textural		
	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )
0-20	270	200	530
20-40	230	90	680
40-60	230	90	680

Tabela 3 Caracterização química do solo da área experimental nos diferentes estágios dos tratamentos

Características	Implantação		Início da aplicação		Final da aplicação	
	(janeiro/2010)		(novembro/2011)		(outubro/2012)	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
pH (H <sub>2</sub> O)	5,10	4,93	5,20	4,90	5,20	4,80
P-rem (mg, L <sup>-1</sup> )	15,10	9,75	19,05	7,64	12,77	9,84
P (mg, dm <sup>-3</sup> )	31,78	8,64	55,30	7,55	35,60	14,86
K <sup>+</sup> (mg, dm <sup>-3</sup> )	164,50	123,00	142,00	76,00	66,00	54,00
Ca <sup>2+</sup> (cmolc, dm <sup>-3</sup> )	2,01	1,32	1,90	0,80	1,54	0,79
Mg <sup>2+</sup> (cmolc, dm <sup>-3</sup> )	0,42	0,29	0,99	0,34	0,59	0,33
Mg / T (%)	4,27	2,81	11,71	4,83	7,85	4,65
Ca / T (%)	20,30	13,25	22,39	11,17	20,47	11,16
K / T (%)	4,30	3,13	4,29	2,72	2,25	1,96
V (%)	28,80	19,20	38,40	18,70	30,60	17,80
m (%)	8,25	22,14	5,79	34,39	11,55	32,38
MO (dag, kg <sup>-1</sup> )	3,59	3,24	2,74	2,11	3,00	2,23
Zn (mg, dm <sup>-3</sup> )	8,63	5,73	5,80	3,30	5,50	2,20
Al <sup>3+</sup> (cmolc, dm <sup>-3</sup> )	0,40	0,68	0,20	0,70	0,30	0,60

“Tabela 3, conclusão”

Características	Implantação		Início da aplicação		Final da aplicação	
	(Janeiro/2010)		(novembro/2011)		(outubro/2012)	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
H+Al (cmolc, dm <sup>-3</sup> )	6,98	8,31	5,22	5,80	5,22	5,80
T (cmolc, dm <sup>-3</sup> )	9,83	10,23	8,47	7,14	7,52	7,05
Fe (mg, dm <sup>-3</sup> )	67,50	69,08	20,00	28,10	28,90	32,60
Mn (mg, dm <sup>-3</sup> )	29,00	23,08	12,60	20,60	17,80	15,90
Cu (mg, dm <sup>-3</sup> )	6,43	5,08	4,20	5,40	6,30	4,70
B (mg, dm <sup>-3</sup> )	0,55	0,70	0,30	0,30	0,90	0,4

### 3.2 Condução e tratos culturais

Por ocasião do plantio do experimento foram aplicados 100 g de calcário dolomítico com 10,9% de óxido de magnésio e 41% de óxido de cálcio por metro linear de sulco e misturado ao solo. Trinta dias após o plantio das mudas foi aplicada 50% da dose de P segundo recomendado por Guimarães et al. (1999), equivalente a 25 gramas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por cova, e após 10 meses do plantio foram aplicados, via fertirrigação, os 50% restantes juntamente com 20 g/cova de N e 20 g/cova de K<sub>2</sub>O.

Os micronutrientes foram aplicados via foliar segundo as recomendações de Guimarães et al. (1999), utilizando-se: ácido bórico (17 % de B), sulfato de zinco (20% de Zn e 9 % de S), cloreto de potássio (56 % de K<sub>2</sub>O), hidróxido de cobre e espalhante adesivo.

O controle do mato no experimento foi realizado por meio da combinação de métodos, ou seja, nas entrelinhas de plantio foi alternado o controle com roçadora mecânica e aplicação de herbicida glifosato (3,0 L ha<sup>-1</sup>) e nas linhas de plantio foram alternadas capinas manuais com o herbicida pré-emergente oxifluorfen (4,0 L ha<sup>-1</sup>).

Para o controle de doenças como ferrugem, cercosporiose e phoma, foram utilizados em pulverização os fungicidas epoxiconazol (triazol) + piraclostrobina (estrobirulina) na dose de 1,5 L ha<sup>-1</sup> e azoxistrobina (estrobirulina) + ciproconazol (triazol) na dose de 0,5 L ha<sup>-1</sup> alternadamente, sendo todos os produtos devidamente registrados para o cafeeiro.

Sempre que necessário foi realizado o controle de formigas cortadeiras na área utilizando-se fipronil a 0,01% (10 g m<sup>-2</sup>), não sendo necessário o controle de outras pragas no experimento. Conforme a necessidade foi feita a eliminação manual de ramos ortotrópicos (ladrões) das plantas.

### **3.3 Tratamentos e delineamento experimental**

Os tratamentos foram compostos por cinco lâminas de irrigação (0,4; 0,7; 1,0; 1,3 e 1,6 do Kc – coeficiente de cultura) e quatro doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo 0 (aplicação de fósforo somente na ocasião do plantio), 80 kg ha<sup>-1</sup>, que é a recomendação de Guimarães et al. (1999) para produtividades de 60 scs ha<sup>-1</sup>, 240 e 720 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos em esquema fatorial 5 x 4. As parcelas foram constituídas por 13 plantas, sendo consideradas úteis as 11 plantas centrais. Para cada linha de tratamento foram deixadas duas linhas laterais como bordadura (uma de cada lado) por se tratar de um experimento que envolve adubação e aplicação de lâminas diferenciadas de irrigação. A área experimental dispõe de um total de 3120 plantas, contabilizando as bordaduras e as plantas úteis, ocupando uma área de 5516 m<sup>2</sup>, aproximadamente 0,56 ha (Figura 1).



$L_i$  = Lâmina, em mm, a ser aplicada no tratamento  $i$  (com  $i = 1, 2, 3, 4$  e  $5$ );

$E_{to}$  = valor acumulado da evapotranspiração de referência calculado pelo método de Hargreaves, no período entre duas irrigações sucessivas;

$K_c$  = coeficiente de cultura do café com valor determinado pela metodologia de Villa Nova et al. (2001), que é baseada na estimativa da transpiração da planta em função de variáveis climáticas e fitotécnicas (área foliar, densidade de plantio e manejo de plantas daninhas);

$K_i$  = fração do coeficiente de cultura calculado pela metodologia de Vila Nova et al. (2001), utilizado como tratamentos nas lâminas de irrigação.

$PE$  = Precipitação efetiva acumulada ocorrida no período entre duas irrigações sucessivas. A estimativa foi baseada numa adaptação do método da AGLW/FAO desenvolvido em climas árido e sub-úmido. Para as condições estabelecidas neste estudo foi obedecido o seguinte critério:  $PE = SE$  (Precipitação total  $< 0,5$  mm/dia, então  $PE = 0$ ; se a precipitação total for  $> 0,5$  mm/dia então  $PE = 0,6$  de  $PT$ ).

O valor de  $K_c$  dos diversos tratamentos foi reajustado a cada dois meses, com base em valores obtidos nas curvas de evolução da altura ( $H_i$ ) e do diâmetro de copa ( $D_i$ ) das plantas de cada tratamento. Para efeito do cálculo das lâminas a serem aplicadas em cada tratamento ( $L_i$ ) foi sempre selecionado o maior valor de  $K_c$  encontrado nos diversos tratamentos.

As curvas de evolução da altura média e do diâmetro médio de copa das plantas para cada tratamento foram representadas por meio de modelo não linear com parâmetros ajustados aos dados observados de crescimento.

$$H_i = \frac{H \max_i}{1 + e^{ai - bi \cdot t}} \qquad D_i = \frac{D \max_i}{1 + e^{ci - di \cdot t}}$$

Onde:

$H_i$  = altura média das plantas, em metros, no tratamento  $i$ ;

$H_{\max_i}$  (em m),  $a_i$  e  $b_i$  (em  $\text{dia}^{-1}$ ) parâmetros empíricos da curva de evolução da altura de plantas;

$t$  = tempo, em dias, transcorrido desde o plantio das mudas no campo;

$D_i$  = diâmetro médio da copa, em metros, no tratamento de índice  $i$

$D_{\max_i}$  (em m),  $a_i$  e  $b_i$  (em  $\text{dia}^{-1}$ ) parâmetros empíricos da curva de evolução do diâmetro de copa das plantas.

Com base na evolução dos valores de altura média e diâmetro de copa obtido a cada dois meses ( $H_i$  e  $D_i$ ), estimou-se a evolução dos valores de área foliar do dossel,  $AF_i$ , em  $\text{m}^2$  por planta, utilizando a expressão proposta por Favarin et al. (2002):

$$AF_i = \frac{\pi}{4} \cdot D_i \cdot \sqrt{D_i^2 + 4 \cdot H_i^2}$$

Em que:

$D_i$  = diâmetro de copa médio

$H_i$  = altura média

Os valores de área foliar por planta ( $AF$ ) foram introduzidos na equação proposta por Vila Nova et al. (2001) para estimativa do valor do coeficiente de cultura  $K_c$  de cada tratamento:

$$Kc_i = 0,347 \cdot AF_i \cdot \frac{Np}{10000 m^2} + Kcd \cdot \left(1 - \frac{0,785 \cdot Di^2}{DP \cdot DL}\right)$$

Onde,

AFi = área foliar do dossel

NP = número de plantas de café por hectare;

Kcd= coeficiente da cultura representativo da cobertura vegetal das entre linhas (Kcd=1 na presença de cobertura vegetal transpirante e Kcd= 0,5 na ausência de cobertura vegetal transpirante).

Di = diâmetro de copa médio

Dp = distância entre plantas nas linhas de plantio

DL = distância entre linhas de plantio

Finalmente, o valor de Kc considerado no cálculo das lâminas aplicadas foi dado pelo maior valor encontrado (Kc = máximo Kc<sub>i</sub>).

Os cálculos das irrigações foram realizados em planilhas específicas programadas de acordo com as características de clima da área experimental, monitoradas constantemente por estação meteorológica local, Metos®, instalada na área experimental.

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento com gotejadores (vazão nominal de 3,75 L h<sup>-1</sup>) espaçados a 0,40 m na linha de irrigação, localizados rente ao caule das plantas na linha de plantio, formando um bulbo molhado. A pressão do sistema foi periodicamente aferida com uso de manômetro e mantida a 400 kPa. As irrigações foram realizadas três vezes na semana (segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira), obedecendo a um turno de rega fixo.

### 3.5 Aplicação das doses de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Aos 22 meses após o plantio, foram implantados os tratamentos de doses de fósforo combinados com as diferentes lâminas de irrigação. Foram utilizadas as doses de: (i) 80 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> que é recomendada para produtividades acima de 60 kg ha<sup>-1</sup> por Guimarães et al. (1999); (ii) 240 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>; (iii) 720 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>; e (iv) zero de adubação fosfatada, sendo realizada aplicação de fósforo somente no plantio. Essas doses foram parceladas em doze aplicações, via fertirrigação (SOBREIRA et al., 2011), juntamente com a adubação com nitrogênio e potássio. As adubações com nitrogênio e potássio foram feitas seguindo recomendações de Guimarães et al. (1999).

Para adubação dos tratamentos foram utilizadas fontes solúveis de nutrientes indicados para a fertirrigação. Na dose zero de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como fontes de N e K<sub>2</sub>O foram utilizados o nitrato de potássio (KNO<sub>3</sub>) e ureia pecuária. Nos demais tratamentos de doses como fonte de P foi utilizado o MAP purificado (11,9% de N e 60,8% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) que também fornece parte do N necessário. Como fonte de K<sub>2</sub>O foi utilizado o nitrato de potássio - KNO<sub>3</sub> (13% de N e 44 % de K<sub>2</sub>O) que também fornece N. Em caso de complementação foi utilizado como fonte de N a ureia pecuária (maior pureza 45% de N).

### 3.6 Índice de área foliar

Foram realizadas avaliações de crescimento das plantas a cada dois meses, sendo a primeira realizada dois meses após início dos tratamentos. As medidas da altura e do diâmetro de copa das plantas (cm) foram utilizadas para estimativa do índice de área foliar segundo adaptação da metodologia proposta por Favarin et al. (2002) por meio da seguinte equação:



$$\text{IAF} = 0,0134 + 0,7276 \cdot \text{Di}^2 \cdot \text{Hd} \text{ (m}^2\text{m}^{-2}\text{)}$$

Onde:

Di = diâmetro de copa das plantas (obtido na seção inferior do dossel);

Hd = altura das plantas (medida do solo ao ápice das plantas).

As avaliações de crescimento em altura e diâmetro de copa foram realizadas a cada dois meses após início dos tratamentos, porém neste estudo somente foi avaliado o índice de área foliar obtida após um ano de diferenciação dos tratamentos (outubro de 2012 – última avaliação).

### **3.7 Teor foliar de fósforo**

Em intervalos de dois meses a partir do início dos tratamentos foram amostradas folhas para determinação do teor foliar de P em todos os tratamentos de lâminas e doses de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Para isso foi coletado um par de folhas de cada lado de todas as plantas úteis da parcela, sempre coletando o 3º ou 4º par de folhas a partir do ápice de ramos plagiotrópicos produtivos, localizados na região mediana da planta. As determinações dos teores foliares de P foram feitas conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os dados analisados referem-se às seis avaliações realizadas ao longo de um ano (janeiro, março, maio, julho, setembro, novembro de 2012).

### **3.8 Rendimento**

Para o cálculo do rendimento, foi medida no campo a produção de cada parcela útil em litros. Do total produzido em cada parcela foi retirada uma amostra de cinco litros que foi pesada, secada em peneiras de tela de malha de 1x1 mm, (área de 0,49 m<sup>2</sup>) suspensas a um metro do solo, sobre terreiros

pavimentados com concreto, até atingirem umidade média de 11,5%. Após a secagem, foi obtido o peso e volume das amostras em coco, que após beneficiamento, tiveram volume e peso novamente determinados. Por meio da relação do volume total colhido relativo a cada tratamento (parcela útil de 11 plantas) e o volume e peso da amostra de cinco litros após beneficiada, foi possível calcular a produtividade média de cada tratamento e inferir o rendimento por meio da relação do volume inicial da amostra (5L) e seu peso após beneficiamento.

### **3.9 Eficiência do uso da água**

A eficiência no uso da água foi determinada por meio da utilização de dados obtidos de produtividade e lâminas de água aplicada por meio de cálculos utilizando a seguinte expressão:

Eficiência no uso da água (EUA) = Produtividade de grãos beneficiados (kg café beneficiado ha<sup>-1</sup>) / Lâmina de água aplicada pela irrigação (mm); resultado em kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

### **3.10 Análises dos resultados**

Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância de acordo com sugestões apresentadas por Pimentel-Gomes (2009) para os experimentos fatoriais conduzidos no delineamento em blocos casualizados. Na presença de diferenças significativas entre doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, lâmina de irrigação e na interação de lâminas com doses para as diferentes características avaliadas foi realizado estudo por regressão. As análises foram realizadas utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo estão representados graficamente os dados de precipitação e as lâminas de água acumuladas em função das frações do Kc utilizadas para manejo da irrigação (Figura 2) e um resumo dos valores das lâminas aplicadas em cada fração do Kc e a precipitação acumulada após um ano do início dos tratamentos (Tabela 4).

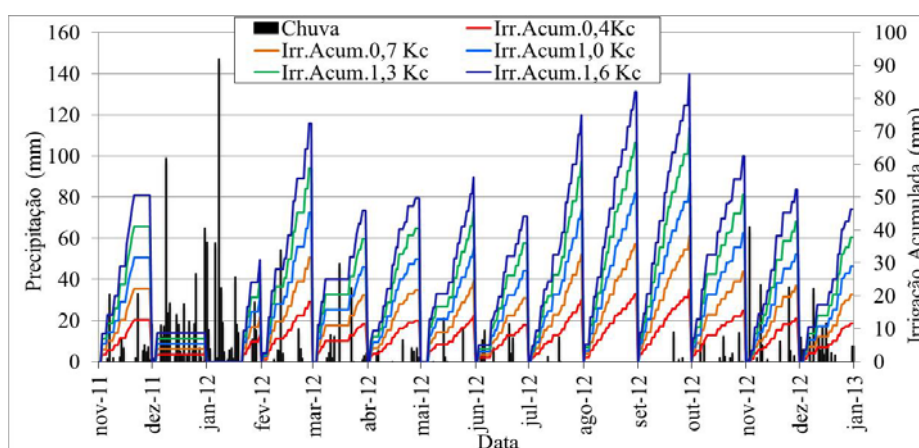


Figura 2 Precipitação e irrigação acumulada nos tratamentos baseados nas diferentes frações do coeficiente de cultura (Kc)

Tabela 4 Valores das lâminas aplicadas em cada fração do Kc e precipitação acumulada após um ano do início dos tratamentos

	Frações do Kc					Precipitação (mm)
	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	
Lâminas Aplicadas (mm)	173	302	431	561	897	1565

Observa-se que no período concentrado entre meados de julho e meados de setembro de 2012 não foram registradas precipitações, o que proporcionou

um aumento na quantidade de água repostada ao solo por irrigação. No entanto, foi um período relativamente curto que aliado à influência de temperaturas mais baixas não proporcionaram aumentos significativos na demanda hídrica. Este fato e o armazenamento da água proveniente das chuvas durante o ano, proporcionaram uniformidade de crescimento das plantas reduzindo o efeito da irrigação como poderá ser observado na Tabela 5.

Na Figura 3, está representada a curva de evolução dos valores de  $K_c$  obtidos em função das características fitotécnicas de crescimento de acordo com a metodologia proposta por Villa Nova et al. (2001).

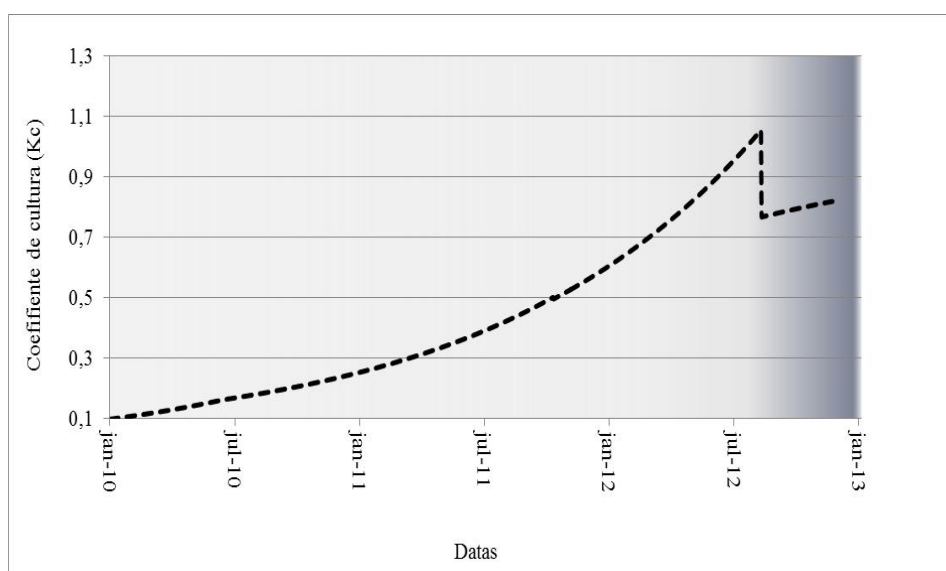


Figura 3 Evolução do coeficiente de cultura desde a implantação do experimento

No período considerado, o coeficiente de cultura ( $K_c$ ) evoluíram até o período de colheita. Após o mês de julho observa-se uma queda que posteriormente voltam a crescer.

Essa queda pode ser atribuída à redução na área foliar após a colheita das plantas em função do desfolhamento e da quebra de ramos. De acordo com Oliveira et al. (2007), na cultura do cafeeiro, os valores de Kc são menores nos períodos de formação e estabelecimento da cultura devido ao pequeno desenvolvimento vegetativo das plantas nesse estágio. Com o crescimento das plantas ocorrem aumentos desses valores, tendendo a se estabilizar após alguns anos, com ocorrência de oscilações. Pode ocorrer diminuição de valores decorrentes de distúrbios fisiológicos e de manejo da cultura, fato que foi evidenciado neste experimento.

#### 4.1 Crescimento das plantas com base no índice de área foliar

Não houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) no índice de área foliar (IAF) entre as diferentes doses de fósforo e lâminas de irrigação dos tratamentos no primeiro ano de avaliações (Tabela 5).

Tabela 5 Valores médios do índice de área foliar (IAF) em  $m^2 m^{-2}$  nas diferentes doses de fósforo ( $Kg ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ) e lâminas de irrigação aplicadas com base nas frações do Kc

Doses de fósforo ( $kg ha^{-1}$ )	Frações do Kc				
	0,4	0,7	1	1,3	1,6
0	2,66	2,71	3,06	2,59	2,91
80	2,73	2,72	3,00	2,37	2,66
240	3,05	2,36	3,11	2,70	2,63
720	2,50	2,61	2,89	2,70	2,67

A não ocorrência de diferenças significativas no índice de área foliar reflete a uniformidade de crescimento entre os tratamentos mesmo após um ano da aplicação das doses diferenciadas de fósforo e diferentes lâminas de irrigação.

A cultivar utilizada, Topázio MG 1190, é caracterizada como planta de porte baixo com abundância de ramos produtivos primários e secundários com alto vigor vegetativo e excelente produtividade. Aliada às características da planta, fatores como a alta fertilidade inicial do solo no momento do plantio, com teores de fósforo considerados muito bons pelas recomendações de Guimarães et al. (1999) e os altos índices de chuva no período avaliado não promoveram diferenças nas plantas dos diferentes tratamentos propostos.

Esse fato leva a considerar que teores de fósforo no solo na faixa situada entre 30 e 50 mg dm<sup>-3</sup>, como os existentes no solo do experimento, assim como as menores lâminas de irrigação somadas às precipitações ocorridas no período são satisfatórios ao pleno desenvolvimento das plantas em primeiro ano de produção.

Os resultados encontrados corroboram com os obtidos por Nazareno et al. (2003), que avaliando doses crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (100, 200 e 500 kg ha<sup>-1</sup>) em cafeeiros submetidos a dois regimes hídricos (com e sem irrigação) em fase de formação, concluíram que as doses diferenciadas de fósforo não influenciaram no desenvolvimento vegetativo inicial das plantas. Os autores atribuem a falta de respostas às doses de fósforo aos níveis do elemento aplicados no momento do plantio (40 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> por planta) que foram suficientes para suprir as demandas de fósforo pelas plantas nesse estágio de crescimento. Afirmam ainda que a menor dose aplicada (100 kg ha<sup>-1</sup>) é o bastante para suprir a cultura como complementação de fósforo pós-plantio.

Com relação às lâminas de irrigação, Santana, Oliveira e Quadros (2004) estudando o progresso do índice de área foliar (IAF) em cafeeiros em formação concluíram que os cafeeiros irrigados apresentaram maiores IAF que os cafeeiros em sequeiro, porém entre os tratamentos irrigados, não foram observadas diferenças entre as lâminas de irrigação aplicadas com base nas

tensões de água no solo de 20, 40 e 60 kPa, com início das aplicações aos 76 dias após plantio.

Pesquisas realizadas por Faria et al. (2001) e Karasawa (2001) permitiram concluir que aumentos na lâmina de irrigação até 120% da evaporação do tanque classe A, ou seja, lâminas crescentes de irrigação proporcionam aumentos em altura e diâmetro de copa das plantas, contrastando com os resultados encontrados nesse experimento. Porém, é importante considerar o estágio de desenvolvimento da cultura em que os tratamentos foram iniciados, pois o fornecimento extra de água nos primeiros períodos após o plantio resulta em um desenvolvimento mais acentuado da planta. Nessa fase, a não limitação de nutrientes com o sistema radicular ainda pouco desenvolvido, gera maior desenvolvimento deste e da parte aérea, com maior arranque inicial das plantas.

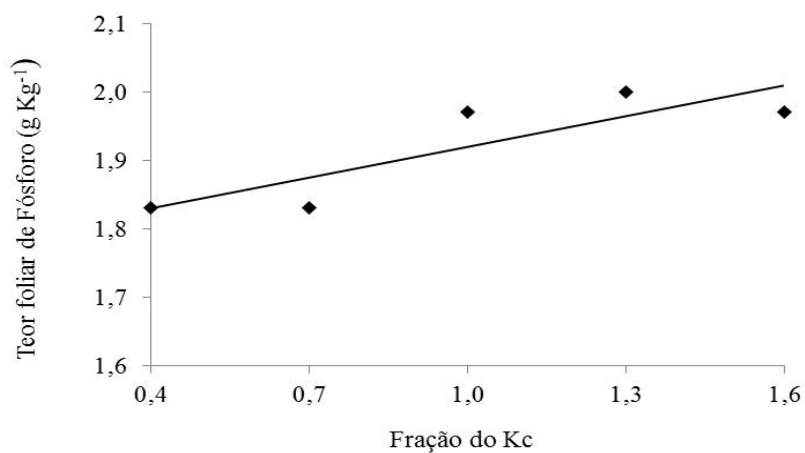
Nesse trabalho os tratamentos foram iniciados aos 22 meses após o plantio, sendo que do plantio até esse período foi utilizada uma lâmina de irrigação igual em todas as parcelas com intuito de uniformização das plantas, o que proporcionou um bom desenvolvimento vegetativo da lavoura, inibindo a ocorrência de diferenças quanto aos tratamentos.

Os efeitos benéficos da irrigação no crescimento do cafeeiro já foram comprovados por diversos autores (CARVALHO et al., 2006; GUIMARÃES et al., 2010), porém ainda existem dúvidas quanto ao melhor critério a se utilizar, resultando na lâmina ideal para a cultura, carecendo ainda de mais estudos acerca do assunto.

#### 4.2 Teores foliares de fósforo

Foram observadas diferenças significativas para os teores foliares de fósforo nas diferentes lâminas e doses de fósforo utilizadas nos diferentes períodos de avaliação. Na presença das diferenças significativas, foi realizado o desdobramento da interação de lâminas dentro de cada dose em cada mês avaliado (APÊNDICE C).

Para os teores foliares na dose zero de fósforo, ou seja, aplicação somente na ocasião do plantio houve diferença significativa somente no mês de janeiro, apresentando um efeito linear, sendo que à medida que se aumentam as lâminas de irrigação, os teores foliares de fósforo também aumentam, sem efeito significativo nos demais meses avaliados (Figura 4),



$$y_{\text{janeiro}} = 1,7756 + 01444x \quad R^2 = 0,7284^*$$

Figura 4 Teores foliares de fósforo (g kg<sup>-1</sup>) na dose zero de fósforo, em função de lâminas de irrigação baseadas em diferentes frações do coeficiente de cultura.

Nota: (\* Significativo a 1% de probabilidade; \*\* Significativo a 5% de probabilidade)



Esse efeito está relacionado à maior capacidade de absorção de fósforo pelas plantas em lâminas maiores de irrigação, comprovando que na presença de maior umidade no solo o fósforo tem sua mobilidade facilitada. Devido à sua forma de absorção pelas plantas (difusão), a extração de fósforo pela planta da solução do solo está diretamente ligada à quantidade de água disponível no sistema, para que esta sirva de veículo do elemento do solo até a superfície das raízes.

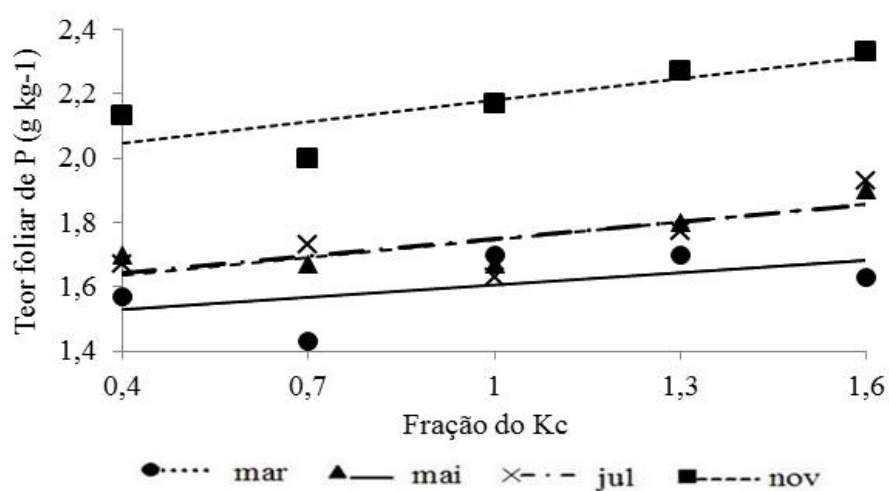
Outro fator importante nesse processo é a quantidade de chuva ocorrida nos meses de dezembro (465 mm) e janeiro (495 mm) que somada às irrigações realizadas nesse período fizeram com que houvesse uma disponibilidade de água em abundância no solo, facilitando ainda mais a absorção de fósforo pelas plantas. Com isso ocorreram diferenças significativas na absorção de fósforo nas lâminas de irrigação mesmo com aplicação de fósforo somente na ocasião do plantio.

Em estudos realizados por Costa et al. (2006) e Oliveira et al. (2010) também ficou comprovado que condições adequadas de umidade favorecem a absorção de nutrientes, em especial daqueles cujo mecanismo principal de transporte no solo é a difusão, como é o caso do fósforo. Trabalhos de Villas Bôas, Büll e Fernández (1999) relatam aumentos na movimentação de fósforo no solo na ordem de 5 a 10 vezes quando se aplica o nutriente via fertirrigação.

Nesses casos, a utilização de práticas tecnológicas como a irrigação e consequentemente a fertirrigação podem promover a maior absorção do fósforo melhorando os aspectos nutricionais das culturas em especial a do cafeeiro. Por se tratar de uma cultura perene tem aplicação de fósforo pós-plantio concentrada na superfície do solo dificultando ainda mais o processo de movimentação do elemento, tornando a presença de maior umidade no solo uma ferramenta importante no seu processo difusivo.

Nos tratamentos com aplicações de fósforo pós-plantio via fertirrigação, constatou-se também a predominância do efeito linear dos teores foliares de fósforo em função das lâminas de irrigação no decorrer das avaliações.

Na dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  houve diferenças significativas nos teores foliares de fósforo nos meses de março, maio, julho e novembro (figura 5).



$$y_{\text{março}} = 1,473 + 0,133 x$$

$$R^2 = 0,3214^{**}$$

$$y_{\text{maio}} = 1,569 + 0,178 x$$

$$R^2 = 0,6882^*$$

$$y_{\text{julho}} = 1,558 + 0,189 x$$

$$R^2 = 0,5874^*$$

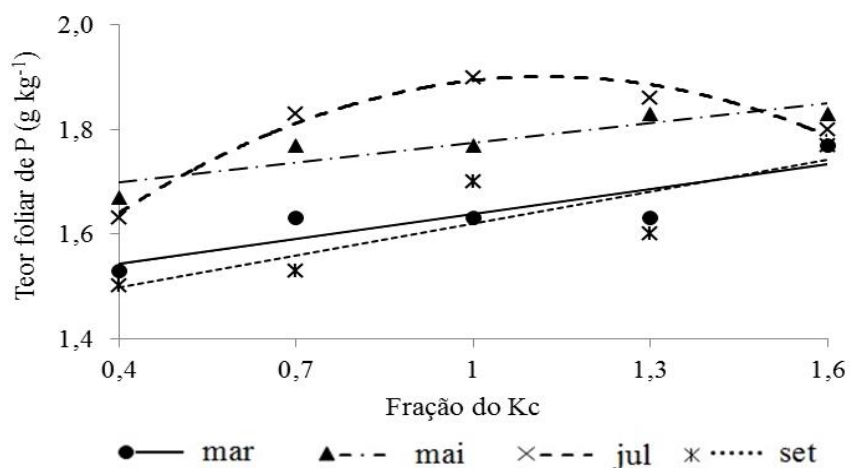
$$y_{\text{novembro}} = 1,967 + 0,223 x$$

$$R^2 = 0,6843^{**}$$

Figura 5 Teores foliares de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de fósforo, em função de lâminas de irrigação baseadas em diferentes frações do coeficiente de cultura

Na dose de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  foram observadas diferenças significativas nos teores foliares de fósforo nos meses de março, maio, julho e setembro, sendo que para o mês de julho verificou-se um efeito quadrático nos

teores foliares de fósforo em função das lâminas de irrigação e efeito linear nos demais meses (figura 6).



$$y_{\text{março}} = 1,484 + 0,156 x \quad R^2 = 0,7903^{**}$$

$$y_{\text{maio}} = 1,640 + 0,130 x \quad R^2 = 0,8571^*$$

$$y_{\text{julho}} = 1,272 + 1,128 x - 0,503 x^2 \quad R^2 = 0,9764^*$$

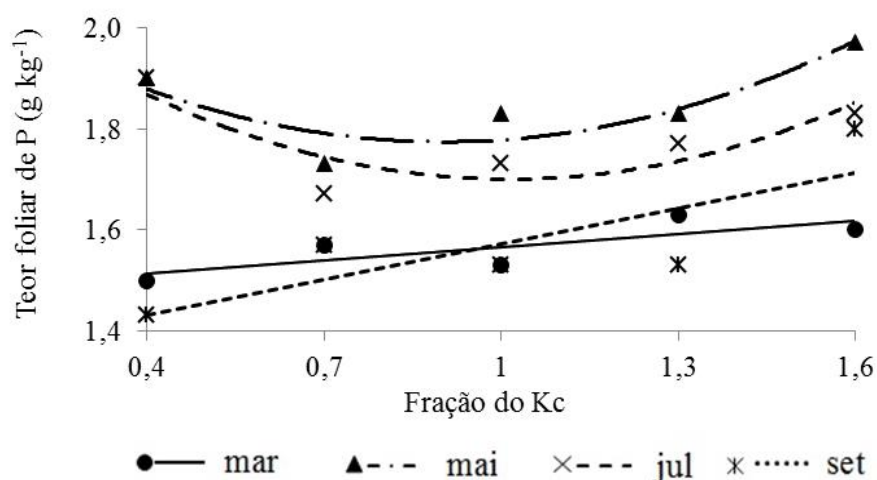
$$y_{\text{setembro}} = 1,420 + 0,200 x \quad R^2 = 0,7168^*$$

Figura 6 Teores foliares de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na dose de  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de fósforo, em função de lâminas de irrigação baseadas em diferentes frações do coeficiente de cultura

Para o mês de julho verificou-se que os teores sofrem aumentos até a lâmina correspondente a 1,12 do Kc, ocorrendo uma queda nos valores a partir desse ponto.

Para a dose máxima estudada,  $720 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , foram observadas diferenças significativas nos teores foliares de fósforo em função das lâminas de irrigação nos meses de março, maio, julho e setembro. Para os meses de maio e

julho foram observados efeitos quadráticos dos teores foliares de fósforo e nos meses de março e setembro o efeito foi linear, com aumento dos teores à medida que ocorrem aumentos nas lâminas de irrigação aplicadas (figura 7).



$$y_{\text{março}} = 1,478 + 0,089 x \quad R^2 = 0,6400^*$$

$$y_{\text{maio}} = 2,100 - 0,710 x + 0,400 x^2 \quad R^2 = 0,7710^*$$

$$y_{\text{julho}} = 2,150 - 0,910 x + 0,450 x^2 \quad R^2 = 0,7104^*$$

$$y_{\text{setembro}} = 1,340 + 0,230 x \quad R^2 = 0,6602^{**}$$

Figura 7 Teores foliares de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na dose de  $720 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de fósforo, em função de lâminas de irrigação baseadas em diferentes frações do coeficiente de cultura

Nessa dose, nos meses de maio e julho foi observado um efeito inverso, ou seja, os teores foliares de fósforo sofrem um decréscimo à medida que se aumentam as lâminas de irrigação até a lâmina baseada em 0,89 do Kc no mês de maio e 1,01 do Kc no mês de julho. A partir desse ponto ocorre novo aumento dos teores foliares até a lâmina máxima aplicada.

Assim como na dose zero de fósforo, com aplicações somente no plantio, os tratamentos que receberam fósforo no pós-plantio, em todas as doses estudadas (80, 240 e 720 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) foram verificados aumentos nos teores foliares de fósforo à medida que se aumentam as lâminas de irrigação aplicadas, indicando, portanto um aumento da eficiência da absorção de fósforo com presença de maior umidade no solo.

Porém, nos tratamentos com aplicação de fósforo nos períodos pós-plantio um efeito maior das lâminas de irrigação foi verificado nos meses com menores índices de chuva, levando a crer que quando são aplicadas quantidades maiores de fósforo no solo (aplicações pós-plantio), o cafeeiro consegue absorver com maior eficiência o elemento com auxílio da irrigação. Essa maior eficiência na absorção não é observada em aplicações de quantidades menores de fósforo, como ocorrido na dose zero. Ou seja, em doses menores de fósforo não há melhoria na eficiência de absorção deste pelas plantas, possivelmente pela menor disponibilidade na solução do solo, porém em doses altas a irrigação passa a ter importante influência na otimização da assimilação desse nutriente pelas plantas.

Segundo Martinez et al. (2003) teores foliares de fósforo situados entre 1,2 e 2,0 g kg<sup>-1</sup> são adequados ao cafeeiro em sequeiro em estágio produtivo, considerando então adequados os teores encontrados nesse estudo.

Em trabalhos de Pinto (2012), com cafeeiros irrigados no primeiro ano após o plantio os teores foliares de fósforo oscilaram entre 1,6 e 3,3 g kg<sup>-1</sup> ao longo do ano, Segundo o mesmo autor, em algumas épocas do ano os teores foliares de P ficaram acima dos teores recomendados para cafeeiros em regime de sequeiro citados pela literatura, possivelmente devido à utilização da irrigação que maximizou a absorção de P pelas plantas.

Trabalho desenvolvido por Reis et al. (2011) em Planaltina – DF com cafeeiros irrigados, estudando doses crescentes de fósforo (0, 50, 100, 200 e 400

kg ha<sup>-1</sup>) permitiu concluir que os aumentos nas doses de fósforo no estágio produtivo das plantas, influenciam em seus teores foliares, se estabilizando em 1,98 g kg<sup>-1</sup> em uma dose de 240 kg ha<sup>-1</sup>, diferente dos resultados desse trabalho onde os teores seguem uma tendência crescente linear e apresentando valores mais acentuados em lâminas maiores de irrigação.

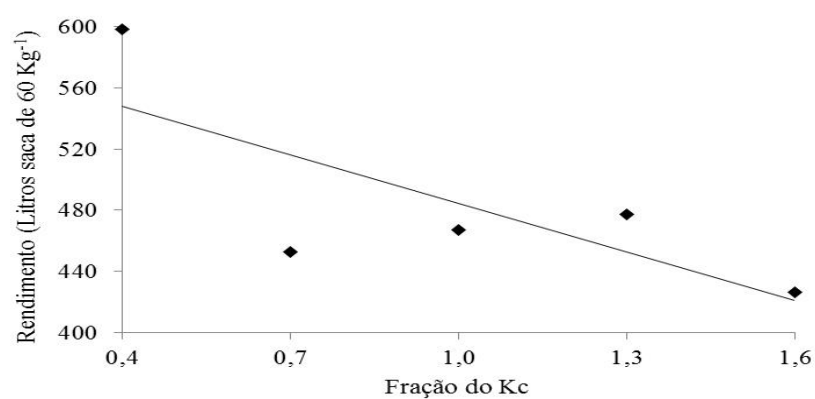
Vários fatores afetam a disponibilidade de fósforo para as plantas, dentre eles o pH (FURTINI NETO et al., 2001), matéria orgânica do solo (SÁ, 2004), local de aplicação do fertilizante (LOPES, 2004) e a irrigação (AQUINO et al., 2012). Para que o fósforo seja aproveitado pelo cafeeiro de forma eficiente, todos esses fatores devem ser levados em consideração, utilizando-se de um manejo que vise à integração de todos eles uma vez que o desequilíbrio de um prejudica sua absorção.

Dentre esses fatores, a irrigação é destacada, pois fornece umidade de forma que as reações no solo possam ocorrer disponibilizando o fósforo, assim como atua nas reações da matéria orgânica do sistema, auxiliando-a na formação de complexos organofosforados, os quais ficam mais disponíveis para ações enzimáticas e consequente disponibilização do fósforo (SÁ, 2004).

### 4.3 Rendimentos de grãos e eficiência no uso da água

Foi realizada a avaliação da primeira produtividade do experimento, não se obtendo diferenças significativas nos diferentes tratamentos (APÊNDICE E), certamente devido ao período do início dos tratamentos, onde já havia se iniciado a formação dos frutos na planta. Porém, diferenças foram obtidas em características ligadas à formação dos grãos, como o rendimento.

Na avaliação do rendimento do café colhido, foram observadas diferenças significativas entre as lâminas de irrigação na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> sendo observado um efeito linear decrescente das lâminas de irrigação. À medida que se aumentaram as lâminas com base nas frações do coeficiente de cultura ocorreu um aumento do rendimento dos grãos de café nessa dose de fósforo (Figura 8), ou seja, uma menor quantidade de “café da roça” requerida para se obter uma saca de 60 kg de café beneficiado.



$$y_{\text{rendimento}} = 590,55 - 106,21 x \quad R^2 = 0,5740^{**}$$

Figura 8 Rendimento de “café da roça” (L scs<sup>-1</sup>) na dose de 240 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em função de lâminas de irrigação baseadas em frações do coeficiente de cultura

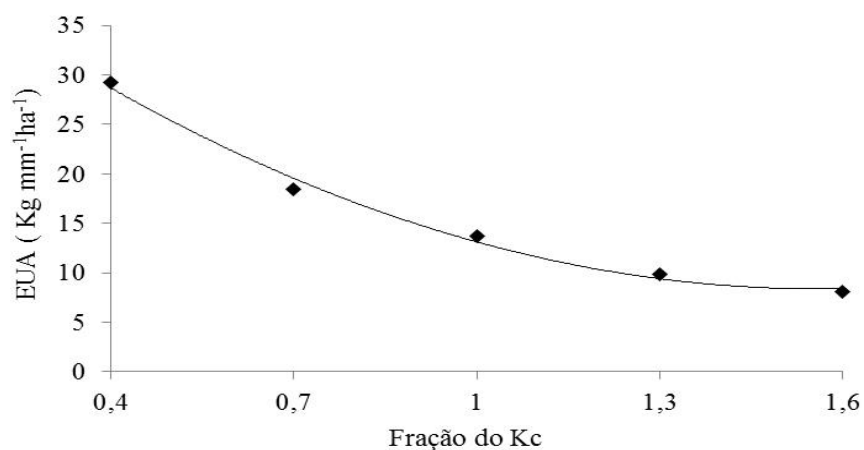
Os resultados obtidos permitem inferir que a aplicação de lâminas maiores de água promove aumentos no rendimento do café colhido. De acordo com a equação ajustada, a cada aumento no valor de 0,1 do Kc para o cálculo da lâmina de irrigação, são necessários em média 10,62 litros de “café da roça” a menos para a produção de uma saca de café beneficiada.

Segundo Silva, Teodoro e Melo (2008) utilizando a cultivar Rubi MG-1192, a irrigação com base em 143% da evaporação do tanque classe A, na região de Uberlândia – MG proporcionou um rendimento ótimo de 291,8 L de “café da roça” por saca beneficiada (maior rendimento). Os tratamentos não irrigados apresentaram rendimentos bastante inferiores (602,49 L saca<sup>-1</sup>), evidenciando o benefício da irrigação para essa variável. Os resultados também corroboram com os encontrados por Karasawa (2001) e Vilella (2001), que trabalhando com as cultivares Topázio MG-1190 e Acaiá MG-1474, respectivamente, obtiveram respostas positivas da irrigação sobre o rendimento. O primeiro conseguiu rendimento de 428,9 L saca<sup>-1</sup>, com a reposição de 100% da ECA, enquanto o segundo obteve, com 120% da ECA, rendimento de 408 L saca<sup>-1</sup>. Os autores afirmam ainda que os rendimentos médios dos grãos obtidos em regime de sequeiro são bastante inferiores aos cultivos irrigados.

A reposição de água ao solo (irrigação) auxilia na maior disponibilização de nutrientes às plantas, por ser a água o meio mais eficiente de absorção desses pelo sistema radicular, auxiliando nos processos de metabolismo e translocação de assimilados no interior da planta. Dessa forma a água atua como fator primordial no desenvolvimento do cafeeiro, influenciando positivamente no rendimento dos grãos.

Na Figura 9 é possível observar a eficiência na utilização da água (EUA) pelas plantas para a produtividade.





$$y_{EUA} = 45,21 - 0,17 x + 0,0002 x^2 \quad R^2 = 0,9915 **$$

Figura 9 Eficiência do uso da água para a primeira produtividade nas diferentes lâminas de irrigação proporcionais às diferentes frações do Kc

De acordo com a equação ajustada, ocorreu efeito quadrático da eficiência do uso da água de acordo com as lâminas aplicadas. Analisando-se a Figura 10 é possível observar que a lâmina de irrigação proporcional ao valor de 0,4 do Kc promove maior eficiência na utilização da água, pois dentre as lâminas aplicadas foi a que proporcionou maior produção por milímetro de água aplicado.

À medida que se aumentou as lâminas de irrigação, ocorreu uma redução da EUA até a lâmina máxima aplicada (1,6 do Kc).

Essa ocorrência está ligada à grande uniformidade da primeira produção entre os tratamentos proporcionando maior EUA na menor lâmina aplicada, tendo em vista as consideráveis precipitações no ano avaliado além da uniformidade de distribuição das chuvas ao longo do ano.

## **5 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

As condições do experimento no período avaliado, com níveis elevados de fósforo no solo desde o período do plantio até o fim do primeiro ano de avaliações, aliado ao elevado somatório de precipitações ocorrido nesse ano (1565 mm) e ao longo período de uniformização das parcelas antes do início dos tratamentos (22 meses) levaram a não ocorrência de diferenças nas características de crescimento dentro do período considerado.

Espera-se que nas avaliações de crescimento e produções futuras sejam encontradas mais diferenças significativas em função das doses acumuladas de fósforo e de períodos maiores de influência dos tratamentos no crescimento e na produção da lavoura.

## 6 CONCLUSÕES

O aumento na lâmina de irrigação otimiza a absorção de fósforo aplicado ao solo, aumentando o teor foliar desse nutriente e o rendimento de grãos.

Considerando as condições do experimento, o crescimento do cafeeiro com base no índice de área foliar em primeiro ano de produção não responde à aplicação de doses crescentes de fósforo e nem a lâminas diferenciadas de irrigação.

A lâmina de irrigação baseada na fração de 0,4 do Kc proporciona maior eficiência do uso da água para a primeira produção.

## REFERÊNCIAS

ALCARDE, C. J.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração para avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafós, 2003. p. 4. (Informações Agronômicas, 102).

ALEXANDRE, L. P. B. et al. características produtivas do cafeeiro em plantio superdensificado e convencional sob sistema diferenciado da irrigação - Quinta Safra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 10., Araguari, 2008. **Anais....** Araguari: ACA, 2008. p. 206-209.

ANTUNES, R. C. B. **Determinação da evapotranspiração e influência da irrigação e da fertirrigação em componentes vegetativos, reprodutivos e nutricionais do café arábica**. 2000. 162 p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Irrigação) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

AQUINO, L. A. et al. Aplicação do fósforo e da irrigação na absorção e exportação de nutrientes pelo algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 355-361, 2012.

ARANTES, K. R.; FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. Recuperação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) após recepa, submetido a diferentes lâminas de água e parcelamentos da adubação. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 31, p. 313-319, 2009.

ARRUDA, F. B.; GRANDE, M. A. Fator de resposta de produção do cafeeiro ao déficit hídrico em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 139-145, 2003.

ASSIS, G. A. et al. Leaf miner incidence in coffee plants under different drip irrigation regimes and planting densities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 2, p. 157-162, Feb. 2012.

ASSIS, G. A. et al. Padrões de rendimento do cafeeiro em função do regime hídrico, densidade de plantio e bienalidade de produção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 11., 2009, Araguari. **Anais...** Uberaba: ACA/UNIUBE, 2009. 1 CD ROM.

BURT, C. M. Fertigation: thenex tfrontier. **Irrigation Business and Technology**, San Luis Obispo, v. 3, n. 4, p. 16-19, 1995. Disponível em: <<http://www.itrc.org/papers/fertigationnextfrontier.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2013.

CARVALHO, C. H. M. et al. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica*L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, mar./abr. 2006.

CORRÊA, J. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1279-1286, 2001.

COSTA, J. P. V. et al. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, p. 828-835, 2006.

CUSTÓDIO, A. et al. Incidência do bicho-mineiro do cafeeiro em lavoura irrigada sob pivô central. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 16-26, jan./jun. 2009

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, dez. 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requeriments**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306 p.

FAGUNDES, A. V. **Adubação líquida na implantação da lavoura cafeeira (Coffea arabica L.)**. 2006. 41 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

FARIA, M. A. et al. Influência das lâminas de irrigação e da fertirrigação na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) 2ª colheita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari. **Resumos...**Uberlândia: UFU/DEAGRO, 2001. p. 11-14.

FARIA, R. T.; SIQUEIRA, R. Produtividade do cafeeiro e cultivos intercalares sob diferentes regimes hídricos, **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 583-590, 2005.

FAVARIN, J. L. et al. Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.

FERNANDES, A. L. T. et al. Deficiência hídrica e uso de granulados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 376-381, 2000.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEP, 2001. 252 p.

GALLO, P. B. et al. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GRANT, C. A. et al. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 95, p. 1-5, set. 2001.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **Item**, Brasília, n. 73, p. 52-61, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, mar./abr. 2011.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, R. J. et al. Adubação para primeiro ano pós plantio (N e K<sub>2</sub>O) de cafeeiros fertirrigados na região sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, p. 137-147, 2010.

INFORME ESTATÍSTICO DO CAFÉ. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatisticas>>. Acesso em: 15 fev. 2013.

KARASAWA, S. **Crescimento e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. topázio MG-1190) sob diferentes manejos de irrigação localizada**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

KLEIN, C.; AGNE, S. A. A. Fósforo: de nutriente à poluente. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 8, p. 1713-1721, 2012.

LIMA, L. A.; PAIVA, A. A.; GOMES, N. M. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, nov./dez. 2008.

LOPES, A. S. et al. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

MALAVOLTA, E. et al. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Revista Brasileira de Agropecuária**, Brasília, v. 37 n. 7, p. 1017-1022 jul. 2002.

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

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações 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. et al. Consumo de água de irrigação em cafeeiros, no primeiro ano de campo, sob irrigação por pivô LEPA e pivô tradicional, em sistemas de plantio adensado e em renque. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 8., 2006, Araguari. **Anais...** Araguari: ACA, 2006. p. 122-125.

MERA, A.C. et al. Regimes hídricos e doses de fósforo em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 302-311, 2011.

MIOLA, G. L. et al. Teor de água no solo na extração de fósforo por papel filtro impregnado com óxido de ferro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 721- 723, 2000.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**, Lavras: UFLA, 2006, 729 p.

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**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 903-910, ago. 2003



NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 133-204.

OLIVEIRA, E. M. M. et al. Nutrient supply by mass flow and diffusion to maize plant in response to soil aggregate size and water potential. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 34, p. 317-327, 2010.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Coeficiente de cultura e relações hídricas do cafeeiro, cultivar catucaí, sob dois sistemas de manejo da irrigação. **Revista Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 154-162, set. 2007.

PAIVA, R. N. et al. Irrigação suplementar em cafeeiros do sul de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 37., 2011, Poços de Caldas. **Trabalhos Apresentados...** Poços de Caldas: CBP&D Café, 2011. 1 CD ROM.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

PINTO, C. G. **Faixas críticas de teores foliares de nitrogênio, fósforo e potássio para o cafeeiro (*Coffea arabica* L) fertirrigado no primeiro ano pós-plantio**. Lavras. 2012. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 239-251, maio/ago. 2004.

REIS, T. H. P. et al. Dinâmica e disponibilidade de fósforo no solo para o cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32., 2009, Fortaleza. **Resumos Expandidos...** Fortaleza: UFC, 2009. 1 CD ROM.

REIS, T. H. P. et al. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, p. 503-512, 2011.

REZENDE, F. C. et al. Características produtivas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv., Topázio MG -1190), recepado e irrigado por gotejamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 103-110, jul./dez. 2006.

ROCHA, O. C. et al. Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 8., 2006, Araguari. 198 p. **Anais...** Araguari: ACA, 2006. p. 61-64.

SÁ, J. C. M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 201-222.

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, C. A. S.; QUADROS, M. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 644-653, set./dez. 2004.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central**. Rio de Janeiro: MAPA/Procafé, 2002. 250 p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. 146 p.

SATO, F. A. et al. Coeficiente de cultura (kc) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no período de outono-inverno na região de lavras - mg. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 383-391, maio/ago. 2007.

SCALCO, M. S. et al. Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em plantio superadensado. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 193-202, set./dez. 2011a.

SCALCO, M. S. et al. Produtividade do cafeeiro em função do regime hídrico e do adensamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 10., 2008, Araguari. **Anais...** Araguari: ACA, 2008. p. 94-99.

SCALCO, M. S. et al. Teor foliar de macronutrientes em cafeeiros irrigados sob diferentes critérios e duas densidades de plantio. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Anais...** Araxá: EMBRAPA, 2011b. 1 CD ROM.

SILVA, A. C.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.

SILVA, A. M.; COELHO, G.; SILVA, R. A. Épocas de irrigação e parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro, em quatro safras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 314-319, 2005.

SOBREIRA, F. M. et al. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigadona fase de formação, em plantio adensado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 9-16, 2011.

TEODORO, R. E. F. et al. Influência de diferentes reduções e aumentos de doses de fertilizantes aplicados em fertirrigação nos parâmetros de crescimento do cafeeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 18., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2004. v. 14, p. 5.

VILELA, L. A. A. (Coord.). **Relatório anual**. Lavras: UFLA/DEG, 2004. 8 p.

VILELLA, W. M. C. **Diferentes lâminas de irrigação e parcelamentos de adubação no crescimento, produtividade e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2001. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

VILELLA, W. M. C.; FARIA, M. A. Qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidos sob diferentes lâminas de irrigação e parcelamentos de adubação. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n. 3, p. 168-175, 2002.

VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T.; FERNÁNDEZ, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.). **Fertirrigação: cítrus, flores e hortaliças**. Guaíra: Agropecuária, 1999. p. 293-319.

VILLA NOVA, N. A. et al. Estimativa do coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 582-591.

ZANINI, J. R. et al. Distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 180-193, jan./abr. 2007.

## APÊNDICE

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância para índice de área foliar, eficiência do uso da água e rendimento de grãos do cafeeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. UFLA. Lavras 2013.

FV	GL	QMs e Significância do teste F		
		Índice de Área Foliar	Efic. uso da água	Rendimento
DOSE (D)	3	0,0599 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	2054,40 <sup>ns</sup>
Lâmina (L)	4	0,4797 <sup>ns</sup>	860,15*	4757,10 <sup>ns</sup>
D x L	12	0,1148 <sup>ns</sup>	6,85 <sup>ns</sup>	5047,29*
Blocos	2	0,2881	5,64	1063,76
Resíduo	38	0,1221	6,63	2398,8
CV (%)		12,79	16,26	10,41

\*Significativo a 5% pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 5% pelo teste F

APÊNDICE B - Desdobramento da interação de lâminas de irrigação dentro de doses de fósforo (D1=0 kg ha<sup>-1</sup>, D2= 80 kg ha<sup>-1</sup>, D3=240 kg ha<sup>-1</sup>, D4=720 kg ha<sup>-1</sup>) para rendimento. UFLA. Lavras 2013.

FV	GL	SQ	QM	FC	Pr>Fc
L:D1	4	3426,28	856,57	0,35	0,83
L:D2	4	1589,16	397,28	0,16	0,95
L:D3	4	70750,25	17687,56	7,37	0,00
L:D4	4	3830,21	957,55	0,39	0,80
Erro	57	136731,92	2398,80		

APÊNDICE C - Resumo da análise de variância do desdobramento de lâminas de irrigação (L) dentro das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicadas (D1=0 kg ha<sup>-1</sup>, D2= 80 kg ha<sup>-1</sup>, D3=240 kg ha<sup>-1</sup>, D4=720 kg ha<sup>-1</sup>) para teores foliares de fósforo. UFLA. Lavras 2013.

FV	GL	QMs e Significância do teste F					
		Jan.	Mar.	Mai.	Jul.	Set.	Nov.
L:D1	1	0,0193*	0,0060 <sup>ns</sup>	0,0110 <sup>ns</sup>	0,0110 <sup>ns</sup>	0,0123 <sup>ns</sup>	0,0157 <sup>ns</sup>
L:D2	1	0,0177 <sup>ns</sup>	0,0373**	0,0310*	0,0410*	0,0167 <sup>ns</sup>	0,0493**
L:D3	1	0,0073 <sup>ns</sup>	0,0207**	0,0140*	0,0323*	0,0377*	0,0140 <sup>ns</sup>
L:D4	1	0,0073 <sup>ns</sup>	0,0083*	0,0227*	0,0243*	0,0557**	0,0400 <sup>ns</sup>
Erro	38	0,0138	0,0086	0,0138	0,0227	0,0170	0,0143

\* Significativo a 10% pelo teste F; \*\* Significativo a 1% pelo teste F; <sup>ns</sup> Não significativo a 10% pelo teste F.

APÊNDICE D - Valores médios dos teores foliares de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) nas diferentes lâminas de irrigação (frações do coeficiente de cultura – Kc) e nas doses de fósforo ( $\text{Kg de P}_2\text{O}_5$  por ha), em seis meses do ano agrícola de 2012. UFLA. Lavras 2013.

Mês	Frações do Kc					Doses de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )			
	0,4	0,7	1	1,3	1,6	0	80	240	720
Janeiro	1,83	1,83	1,97	2,00	1,97	1,92	1,89	1,91	1,93
Março	1,53	1,56	1,63	1,63	1,65	1,58	1,61	1,64	1,57
Maio	1,78	1,73	1,74	1,82	1,85	1,75	1,75	1,77	1,85
Julho	1,74	1,77	1,75	1,78	1,81	1,75	1,75	1,81	1,78
Setembro	1,52	1,53	1,60	1,59	1,67	1,59	1,53	1,62	1,57
Novembro	2,10	2,17	2,12	2,19	2,26	2,09	2,18	2,16	2,23
Médias	1,75	1,77	1,80	1,84	1,87	1,78	1,79	1,82	1,82

APÊNDICE E – Valores médios da primeira produtividade do experimento ( $\text{Scs ha}^{-1}$ ). UFLA. Lavras 2013.

Doses de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Frações do Kc				
	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6
0	50	61	68	65	72
80	60	57	64	59	47
240	54	63	61	67	64
720	57	62	66	49	62