



**RODRIGO CESAR DE ALMEIDA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO  
CAFEEIRO (*Coffea Arabica* L.)  
FERTIRRIGADO COM FÓSFORO**

**LAVRAS – MG  
2017**

**RODRIGO CESAR DE ALMEIDA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO CAFEIRO (*Coffea Arabica* L.) FERTIRRIGADO COM FÓSFORO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus  
Orientador

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto  
Coorientador

Dr<sup>a</sup>. Myriane Stella Scalco  
Coorientadora

Lavras - MG  
2017

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Almeida, Rodrigo Cesar de.

Viabilidade técnica e econômica do cafeeiro (*coffea arábica* L.)  
fertirrigado com fósforo / Rodrigo Cesar de Almeida. - 2017.

82 p. : il.

Orientador: Fábio Ponciano de Deus.

Coorientador(a): Adriano Valentim Diotto, Myriane Stella  
Scalco.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Viabilidade Econômica. 2. Fertirrigação. 3. Adubação  
fosfatada. I. de Deus, Fábio Ponciano. II. Diotto, Adriano Valentim.  
III. Scalco, Myriane Stella. IV. Título.

**RODRIGO CESAR DE ALMEIDA**

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO CAFEEIRO  
(COFFEA ARÁBICA L.) FERTIRRIGADO COM FÓSFORO**

**TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF FERTIRRIGATED  
COFFEE (*Coffea Arabica* L.) WITH PHOSPHORUS**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como  
parte das exigências do programa de  
Pós-graduação em Recursos Hídricos  
em Sistemas Agrícolas, área de  
concentração em Engenharia e Manejo  
de Irrigação e Drenagem, para a  
obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 24 de agosto de 2017.  
Dr. Adriano Valentim Diotto – DEG/UFLA  
Dr. Marcio Mesquita - UFG

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus  
Orientador  
Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto  
Coorientador  
Dra. Myriane Stella Scalco  
Coorientadora

Lavras - MG  
2017

*Aos meus pais José e Benedita, que sempre foram  
exemplos de honestidade e simplicidade.  
À minha companheira Cintia, pelo apoio e compreensão.  
Ao meu filho Murilo, fonte de motivação e inspiração.*

*DEDICO*

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, que me proporcionaram o sonho de realizar o curso de mestrado;

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, pelos ensinamentos e contribuição para minha formação;

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

Aos meus pais José e Benedita, pelo apoio incondicional. A eles todo meu amor e gratidão;

À minha companheira Cintia, pela paciência, amor nessa jornada;

Às amigas construídas durante essa caminhada, sem as quais, tudo teria sido mais difícil;

Ao orientador Dr. Fábio, pela orientação, oportunidade, confiança e pelo grande aprendizado nessa etapa;

Aos coorientadores Dr. Adriano e Dra. Miriane pela orientação;

Aos membros da banca, Dr. Márcio, Dr. Jacinto e Dr. Gladyston, pelo engrandecimento do trabalho e disposição na participação.

## RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a influência da aplicação de diferentes doses de fósforo em diferentes níveis de reposição de lâminas de irrigação sobre a produtividade e a rentabilidade de um cafeeiro em três safras consecutivas para a região de Lavras, Minas Gerais. Os dados que foram utilizados neste trabalho são originados da condução de um experimento no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras. Em janeiro de 2010 o experimento foi implantado, sendo diferenciado a partir de novembro de 2011. Utilizou-se a cultivar Topázio MG-1190. Após a diferenciação dos tratamentos obteve-se a primeira produção no ano seguinte (2012), e as demais nas duas safras subseqüentes (2013 e 2014). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados no esquema fatorial, sendo os tratamentos compostos por cinco lâminas de irrigação combinados com quatro doses de  $P_2O_5$  (MAP purificado) aplicados via gotejamento. As lâminas de irrigação foram estimadas de acordo com frações do coeficiente de cultura do cafeeiro (0,4; 0,7; 1,0; 1,3 e 1,6 do  $Kc_i$ ), e as doses de  $P_2O_5$  foram de 0, 80, 240 e 720  $kg\ ha^{-1}$ , parceladas igualmente em 12 vezes durante o ano. As produções dos três primeiros anos do cafeeiro foram analisadas técnica e economicamente em resposta à aplicação dos diferentes tratamentos. O cafeeiro mostrou-se não responsivo tanto para lâminas de irrigação, quanto para dosagens de fósforo. O tratamento com dosagem de fósforo 240  $kg\ ha^{-1}$  associado à lâmina de irrigação acima de 70% e o tratamento com dosagem de fósforo 720  $kg\ ha^{-1}$  apresentaram-se inviáveis economicamente. Verificou-se também, que em regiões aptas ao cultivo de sequeiro e solos com bons teores de fósforo, a lâmina de irrigação utilizando 40% do  $kc_i$  com a menor dosagem de  $P_2O_5$  foram suficientes para atingir a máxima eficiência técnica e econômica.

Palavras-chave: adubação fosfatada, fertirrigação, custo de produção.

## ABSTRACT

The study aim was to evaluate the coffee yield and the profitability when submitted to different phosphorous doses applied in different levels of irrigation depth replacement in three consecutive seasons for Lavras region, Minas Gerais State, Brazil. The data used in this study were collected from an experiment conducted at the Agriculture Department, Federal University of Lavras. The variety Topaz MG-1190 were used and the planting date was January 2010 and the treatments started at November 2011. The first production was at the following year (2012), and the other in two subsequent harvests (2013 and 2014). The experimental design was of randomized in blocks using factorial scheme, being composed of five treatments of irrigation depth and four doses of  $P_2O_5$  applied by drip. Irrigation depth were estimated according to fractions of the crop coefficient (0.4, 1.3, 0.7, 1.0 and 1.6 of the Kci), and doses of  $P_2O_5$  were 0, 80, 240 and 720 kg ha<sup>-1</sup>, divided in 12 applications during the year. The first three years yield were analyzed technically and economically in function of the different treatments. The coffee plant shown to be not responsive for both, irrigation and doses of phosphorus for the three years evaluated. Treatment with phosphorus with 240 kg ha<sup>-1</sup> associated with irrigation depth above 70% of Kci, and the treatment with 720 kg ha<sup>-1</sup> of phosphorus were not viable economically. It was found that in regions suitable for rainfed cultivation and soils with good levels of phosphorus, the irrigation depth of 40% of kci with the lowest dosage of  $P_2O_5$  were sufficient to achieve the maximum technical and economically efficiency.

Key words: phosphorus fertilization, fertirrigation, production cost.



## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	OBJETIVO.....	12
2.1	Objetivos específicos.....	12
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1	Histórico da cultura do café.....	13
3.2	Panorama geral da produção de café no Brasil.....	14
3.3	Cafeicultura irrigada – Irrigação e fertirrigação.....	15
3.3.1	Irrigação na cafeicultura.....	15
3.3.2	Fertirrigação na cafeicultura.....	17
3.3.3	Adubação fosfatada na cafeicultura.....	19
3.4	Rentabilidade na cafeicultura irrigada - Influência da irrigação e da adubação fosfatada.....	21
3.4.1	Custo de produção.....	24
3.4.2	Gerenciamento de custos.....	25
3.4.3	Riscos e incertezas na adoção de tecnologias inovadoras para a cafeicultura.....	27
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1	Dados meteorológicos e de produtividade.....	28
4.1.1	Análise econômica do experimento.....	31
4.1.2	Análise econômica simplificada.....	38
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1	Condições meteorológicas do experimento.....	41
4.2	Evapotranspiração e o coeficiente da cultura.....	42
5.3	Produtividade do cafeeiro.....	43
5.4	Eficiência no uso da água (EUA).....	49
5.5	Eficiência da adubação fosfatada (EA).....	52
5.6	Custo da produção.....	54
5.7	Análise econômica simplificada.....	58
6.	CONCLUSÃO.....	61

REFERÊNCIAS.....	62
ANEXO A .....	70
ANEXO B .....	78

## 1. INTRODUÇÃO

O cafeeiro é uma das principais culturas exploradas no Brasil, especialmente no estado de Minas Gerais, que, além do caráter econômico, possui importante significado cultural. O Brasil é o segundo maior consumidor e o maior produtor no mundo, cultivando uma área de aproximadamente 2.209.097,7 hectares, sendo 79,35% desse montante com a variedade arábica (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA, 2016; COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Minas Gerais, apesar de se destacar como o estado com a maior produção cafeeira do país, apresenta reduzidos níveis de produtividade média, que de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016) está associado à variabilidade espacial e temporal dos eventos de chuva, ligado à disponibilidade hídrica e à produtividade de cafeeiros de sequeiro. Nesse contexto, o uso da irrigação pode promover um aumento significativo de produtividade e qualidade da cultura do café, contribuindo expressivamente para o sucesso e para a sustentabilidade do empreendimento.

Mesmo em locais considerados aptos ao cultivo em sequeiro, caso da região sul de Minas Gerais, os benefícios expressivos atribuídos à adoção da irrigação são confirmados por diversos trabalhos na literatura. Por outro lado, aliado a essa possibilidade, surgem importantes demandas da sociedade quanto ao uso racional do recurso hídrico, visto que seu uso é mais intenso justamente em períodos em que a sua disponibilidade é reduzida. Nesse sentido, a adoção de estratégias de manejo da irrigação que determinem o menor uso da água, contudo mantendo altas produtividades, são imprescindíveis.

A produtividade da cultura do café é muito variável em função do manejo adotado, da localização geográfica do empreendimento, do clima, entre outros fatores. Aliado a isso, a demanda por reposição nutricional cresce à medida que o solo é sistematicamente explorado, sendo necessária a

realização de investigações científicas e avaliações de práticas de manejo que quantifiquem e qualifiquem a eficiência no uso dos nutrientes e que melhorem a eficiência na aplicação dos fertilizantes.

A um longo tempo, além da forma tradicional de aplicação de nutrientes (via solo), tem sido adotada a fertirrigação, técnica que permite a aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Essa técnica possibilita aumento da eficiência no uso dos nutrientes, pois a umidade adequada do solo proporciona maior mobilidade do nutriente, e conseqüentemente maior exposição dos mesmos ao sistema radicular. Entretanto, cuidados devem ser tomados a fim de evitar perdas, seja pelo excesso de dosagem de fertilizante aplicado, seja pela lâmina de água aplicada acima da capacidade de retenção do solo.

Em relação aos macronutrientes, sabe-se que o fósforo (P) é o exigido em menores quantidades e o menos exportado pela cultura do cafeeiro. Todavia, trata-se do nutriente que mais limita a produção vegetal no Brasil. Ele constitui importantes compostos das células dos vegetais (fosfato presente nas moléculas de açúcar), com participação ativa na respiração, fotossíntese, armazenamento e transferência de energia nos processos metabólicos.

Na maioria dos solos brasileiros aplica-se fósforo em quantidades além do exigido pela cultura. Esse fato está relacionado com a baixa disponibilidade de fósforo nos solos e, principalmente, com tendência natural do fósforo de interagir fortemente com componentes constituintes do solo (principalmente com óxidos de ferro e alumínio) para formar compostos de baixa solubilidade.

Na literatura é possível observar para a grande maioria das culturas perenes (incluindo o cafeeiro), indicativos de baixa resposta ao P na fase de produção. No entanto, estudos mais recentes, mostram o contrário do que se acreditava, e indicam incrementos produtivos ao elevar a dosagem de aplicação. Nesse sentido, o uso da irrigação em conjunto com a aplicação correta de fósforo poderá diminuir a necessidade do excesso de dosagem, já que o mecanismo de difusão (característico do fósforo) tem relação direta com

o conteúdo de água, que por sua vez é o principal fator responsável pelo processo de absorção deste nutriente pela planta. O desenvolvimento de pesquisas que aperfeiçoe o uso dos nutrientes via água de irrigação com relação às respostas produtivas e de qualidade do cafeeiro é fundamental frente à importância econômica desse setor na economia do estado de Minas Gerais e do Brasil.

Diversas mudanças estruturais e metodológicas inovadoras no sistema produtivo do café são propostas pelo meio científico, determinando por vezes, aumento nos investimentos, sendo necessário estudos econômicos com o objetivo de validar sua viabilidade. Nesse sentido, a estimativa do custo de produção mostra-se como uma das principais metodologias que norteiam o produtor na tomada de decisão.

Diante do exposto, essa pesquisa propôs a validação da seguinte hipótese de trabalho: Os maiores valores de lâmina de irrigação determinam maior exposição do fósforo aplicado via água de irrigação ao sistema radicular das plantas do café arábica (cultivar Topázio MG-1190) cultivadas em Lavras, sul de Minas Gerais, refletindo em uma produtividade significativamente superior, uma vez que existe um ponto excelente entre lâmina de irrigação e dose de fósforo que determina maior retorno financeiro.

## **2. OBJETIVO**

Objetivou-se avaliar a produtividade e a rentabilidade da cultura do café arábica (cultivar Topázio MG-1190) em função do uso combinado de lâminas de irrigação e doses de fósforo ( $P_2O_5$ ) em um solo com bons índices de fósforo na região de Lavras – MG.

### **2.1 Objetivos específicos**

- a) Avaliar a resposta produtiva do cafeeiro submetido a diferentes doses de fósforo e níveis de reposição de lâminas de irrigação;

- b) Avaliar a eficiência da adubação fosfatada em cada nível de aplicação de doses de fósforo e lâminas de irrigação;
- c) Avaliar a eficiência do uso da água de irrigação em cada nível de reposição de lâminas de irrigação;
- d) Avaliar a rentabilidade do cafeeiro submetido a diferentes doses de fósforo e níveis de reposição de lâminas de irrigação

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Histórico da cultura do café**

A espécie *Coffea arabica* L. é originária de Florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, em que até os dias atuais faz parte da vegetação nativa (CAMARGO, 2010).

A cultura deixou de fazer parte somente da vegetação natural africana e passou a ser cultivada pelos países Árabes por volta do ano 575 (no Iêmen), em que até então, era consumida in natura. Tem-se conhecimento que os registros de café torrado (como se conhece atualmente) datam do século XVI, na Pérsia. Nessa época esses povos já tinham completo controle sobre o cultivo e preparo da bebida. A partir de 1615 o café começou a ser consumido e produzido no Continente Europeu, espalhando-se pelas terras das antigas colônias europeias (Suriname, São Domingos, Cuba, Porto Rico e Guianas) (ABIC – Associação brasileira de indústria de café, 2017).

No Brasil a cultura introduziu-se através da fronteira com a Guiana (ABIC, 2017) e se desenvolveu principalmente nas regiões onde não ocorre deficiência hídrica nos períodos críticos da cultura (BONOMO et al. 2008). Segundo esses autores, a prática da irrigação no cafeeiro proporcionou a expansão para áreas de solos de Cerrado, Triângulo Mineiro, Oeste da Bahia, Goiás e outras regiões que apresentam condições similares.

Nos dias atuais, a cultura concentra-se principalmente na região sudeste (com a maior parcela no estado mineiro) (CONAB, 2017) apresentando ciclo

fenológico bem definido: florescimento na primavera, frutificação no verão, maturação no outono e colheita no inverno (MEIRELES et al., 2007).

### **3.2 Panorama geral da produção de café no Brasil**

O Brasil no cenário mundial apresenta-se como o maior produtor e exportador de café e o segundo maior consumidor. A área cultivada é de aproximadamente dois milhões de hectares (2.209.097,7 ha), com o café tipo arábica representando 79,35% do total cultivado (CONAB, 2016). O cultivo majoritariamente está presente nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná e Goiás, que correspondem aproximadamente a 98,65% da produção nacional (MAPA, 2016; CONAB, 2016). De acordo com a International Coffee Organization-ICO (2017), o Brasil ocupa a segunda colocação no consumo de café, ficando atrás somente dos Estados Unidos. A organização expôs que em 2015 foi consumido 20,5 milhões de sacas de café (60 kg), representando 13,48% do total consumido mundialmente.

Dentre os estados brasileiros, Minas Gerais é o maior produtor cafeeiro, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2016), a produção no ano de 2016 foi de mais de 28 milhões de sacas (28.499.721 de sacas), produzidos em uma área de pouco mais de um milhão de hectares (1.008.039 ha), com produção predominantemente de café arábica (98,9%, representando 28.181.288 de sacas).

Em Minas Gerais o cultivo está presente em aproximadamente 80 mil propriedades rurais de 682 municípios, com produtividade média de 28,27 sacas ha<sup>-1</sup>, 22,82% acima do resultado obtido na safra 2015. Para o restante do país era esperado uma produtividade média em torno de 25,58 sacas ha<sup>-1</sup>, equivalendo a um ganho de 13,7% em relação à safra passada, entretanto em regiões específicas a produtividade média apresentou incremento de 49,1%, passando de 24,81 sacas ha<sup>-1</sup> em 2015 para 36,99 sacas ha<sup>-1</sup> em 2016. Esse

incremento de produtividade foi atribuído principalmente às condições meteorológicas que favoreceram a produção (CONAB, 2016).

Com base nestas informações, é possível observar a importância econômica do setor da cafeicultura para o Brasil e especificamente para o estado de Minas Gerais. Portanto, é possível observar que o investimento no desenvolvimento técnico-científico na produção cafeeira é fundamental para manter os níveis de produtividade e incrementar a qualidade e a produção de grãos.

### **3.3 Cafeicultura irrigada – Irrigação e fertirrigação**

#### **3.3.1 Irrigação na cafeicultura**

No Brasil, 240.000 hectares de cultivos com cafeeiro apresentam algum tipo de uso da irrigação, representando 10% da área total cultivada e correspondendo a 25% da produção total do País (FERNANDES et al., 2012). Essa informação mostra a importância da irrigação no cafeeiro, podendo essa técnica proporcionar aumentos significativos nos níveis de produtividade média.

A adoção da irrigação na cafeicultura tornou áreas consideradas inaptas ao estabelecimento do cafeeiro em novos polos produtivos (VICENTE et al., 2015). Fernandes et al. (2012) descrevem que o uso da irrigação tem promovido aumento significativo de produtividade em culturas cafeeiras em regiões com precipitação pluviométrica insuficiente para suprir a demanda hídrica da cultura. Apesar da importância da chuva na produção de café, Gomes, Lima e Custódio (2007) observaram que mesmo em local classificado como região apta para o cultivo do cafeeiro em função da quantidade total de precipitação, como é a região do sul de Minas Gerais, conquistou-se incrementos significativos na produtividade da cultura com o uso da irrigação. Isso se deve à existência natural da variabilidade espacial e temporal da precipitação, ou seja, mesmo em termos totais havendo suprimento da



demanda, essa quantidade não é uniformemente distribuída, e por vezes não atende a necessidade hídrica da cultura (GUIMARÃES et al., 2010).

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2015) relata que a escassez e a irregularidade das chuvas ao longo do ano de 2014 em Minas Gerais proporcionou o não desenvolvimento pleno das lavouras cafeeiras e reduziu o potencial produtivo em 2015. Os efeitos decorrentes das secas ocasionais foram o baixo crescimento dos ramos produtivos, comprometendo ainda o vingamento das primeiras floradas, ocorridas em agosto. Outro efeito foi o decorrente veranico ocorrido no início de 2015, impactando negativamente as lavouras na fase de enchimento dos grãos. No tocante à produtividade, os reflexos das secas ocasionais e veranico impactaram na queda de produtividade nos anos de 2014 e 2015. Para a safra 2016 na região Sul de Minas a produtividade média foi de 31,62 sacas  $ha^{-1}$ , 40,29% acima do resultado alcançado em 2015 e 47,19% acima dos níveis atingidos na safra 2014, superando o recorde atingido no ano de 2012 em 19,16% (CONAB, 2016). Esse aumento deve-se aos elevados índices pluviométricos alcançados até o momento analisado. Portanto, o fator disponibilidade hídrica é determinante no desenvolvimento e na produtividade do cafeeiro, sendo que a disponibilidade hídrica suficiente às necessidades da cultura pode ser oriunda de fontes naturais, no caso de precipitação pluvial e ascensão capilar em áreas com lençol freático próximo a superfície, ou de origem artificial, representado pelo uso da água através da irrigação.

Estudando o efeito de épocas de irrigação em período com déficit hídrico, e o parcelamento de adubação, sobre a produtividade do cafeeiro em quatro safras consecutivas (Região de Lavras – MG), Silva, Coelho e Silva (2005) observaram aumento de produtividade da ordem de 37 a 50% sobre o cultivo não irrigado, com produtividade média com o uso da irrigação de 58,79 a 64,20 sacas  $ha^{-1}$ , e produtividade média de 42,76 sacas por  $ha^{-1}$  para a cultura de sequeiro. Lima, Custódio e Gomes (2008) observaram um incremento da ordem de 88 % na produção de café em Lavras-MG, comparando tratamento irrigado com pivô central ao não irrigado.

Analisando seis safras consecutivas de cafeeiro, Fernandes et al. (2016) concluíram que a irrigação (suplementar) por gotejamento proporcionou um acréscimo de 40% na produtividade, quando comparado ao tratamento não irrigado, sendo que todos os tratamentos com déficit hídrico geraram perdas produtivas de 13 a 38%. Outro fato importante observado pelos autores foi que mesmo na parcela com irrigação plena, tal manejo não foi capaz de evitar a bienalidade na produção. Gomes, Lima e Custódio (2007) observaram a influência de diferentes lâminas de irrigação na produtividade do cafeeiro, verificando o mesmo comportamento, porém a irrigação atenuou o efeito bienal da lavoura, pois a queda de produtividade observada nos tratamentos irrigados não foi tão expressiva quanto na testemunha.

Em se tratando de qual sistema de irrigação determina maior produtividade no cafeeiro, Bonomo et al. (2008) avaliaram o suprimento de água em seis cultivares de café no cerrado de Goiás utilizando a aspersão convencional e o gotejamento. Os autores constataram que a irrigação dobrou a produtividade média dos cafeeiros quando comparado ao tratamento não irrigado, sem haver diferença estatística entre os sistemas de irrigação utilizados. Todavia, foi observado que o manejo de irrigação por gotejamento permitiu uma economia expressiva de água, com uso da metade do volume em relação à aspersão convencional tipo fixo.

Nota-se que a importância e a necessidade da adoção da irrigação excedem a fronteira de regiões com disponibilidade hídrica insuficientes, justificando também sua implantação em regiões tradicionalmente consideradas aptas ao cultivo de sequeiro.

### **3.3.2 Fertirrigação na cafeicultura**

De acordo com Forato, Zanine e Natale (2007), o emprego adequado dos recursos hídricos garante o aumento da produtividade, entretanto faz-se necessário o fornecimento de nutrientes para as culturas. Além da forma tradicional de aplicação de nutrientes, tem sido adotada há algum tempo a

fertirrigação, que é uma prática que combina a fertilização e a irrigação, ou seja, permite a aplicação de fertilizantes simultaneamente com a água de irrigação (VITTI; BOARETO; PENTEADO,1994).

Alguns autores salientam que o uso da fertirrigação aumenta a eficiência no uso dos nutrientes, pois pode ser aplicado de forma fracionada de acordo com a marcha de absorção da cultura (ROBERTS, 2008; MIRANDA et al., 2006). Brady e Weil, (2012) ressaltam que equilibrar a saída e a entrada de nutriente no solo, especialmente os macronutrientes, evita o empobrecimento e o declínio dos ecossistemas. De acordo com Sobreira et al. (2011), a eficiência no uso dos nutrientes aplicado via água de irrigação é função da dosagem adequada, do número de parcelamentos, e de características do solo (concentração de O<sub>2</sub>, pH do solo, grau de intemperismo e concentração de matéria orgânica). Essas condições afetam fortemente a absorção de íons e a produção de energia (ATP) (MARENCOS; LOPES, 2005).

O uso correto da fertirrigação determina reduções nas doses de fertilizantes em torno de 25% quando comparado ao método convencional de aplicação, sem causar comprometimento no desenvolvimento e na produtividade das culturas (BURT, 2009). Em trabalho desenvolvido por Sobreira et al., (2011) verificou-se uma economia significativa do tratamento fertirrigado em relação ao plantio não irrigado, podendo-se reduzir a dosagem de nitrogênio e potássio em torno de 30% em relação ao recomendado para o cultivo de sequeiro. De acordo com alguns autores, essa economia deve-se à maior mobilidade dos nutrientes no solo na aplicação do fertilizante em conjunto com a água, proporcionando maior exposição dos mesmos às raízes, podendo ser absorvido por elas pelo contato (MIRANDA et al., 2006; COSTA et al., 2010; SANTORO et al., 2013).

Avaliando o efeito da aplicação de diferentes doses de NPK (combinado de nitrogênio, fósforo e potássio), no número de ramos plagiotrópicos e na produtividade de duas cultivares de café (Obatã e IAPAR – 59), em diferentes sistemas de condução (irrigado, fertirrigado e não

irrigado), Costa et al. (2010) observaram um índice de produtividade significativamente maior nos tratamentos fertirrigados (38,9 sacas ha<sup>-1</sup> e 36,4 sacas ha<sup>-1</sup> para cada variedade respectivamente), seguido pelos tratamentos irrigados (33,8 sacas ha<sup>-1</sup> e 32,5 sacas ha<sup>-1</sup>) e não irrigados (18,8 sacas ha<sup>-1</sup> e 17,7 sacas ha<sup>-1</sup>). Os autores argumentam que a irrigação favoreceu a movimentação dos nutrientes ao longo do perfil do solo, o que afeta positivamente a absorção de NPK pelas plantas.

Diversos trabalhos sobre fertirrigação têm mostrado os seus benefícios, porém cuidados devem ser tomados a fim de evitar perdas de nutrientes no solo (PINTO et al., 2013), seja pelo excesso de dosagem de fertilizante aplicado, ou seja, pela lâmina de água aplicada acima da capacidade de retenção do solo. Sendo assim, o desenvolvimento de pesquisas que aperfeiçoe a maneira como são utilizados os nutrientes via água de irrigação com relação às respostas produtivas e de qualidade do cafeeiro é fundamental frente à importância econômica desse setor na economia do estado de Minas Gerais e do Brasil.

### **3.3.3 Adubação fosfatada na cafeicultura**

O fósforo (P) é o macronutriente mais estudado nas pesquisas de produção vegetal, em função da sua importância para os seres vivos e por ser um mineral finito e insubstituível (MALAVOLTA, 2006). De acordo com o autor, frequentemente a sua limitação no solo determina redução da produção agrícola, especialmente em solos com grau avançado de intemperismo. Adicionalmente, Marengo e Lopes (2005) comentam que depois do nitrogênio (N), o fósforo (P) é o nutriente que mais limita o crescimento dos vegetais na maioria dos solos.

O fertilizante fosfatado ao entrar em contato com o solo sofre reações que resultam na dissolução da fonte, passando o fósforo (P) a integrar a solução do solo, com solubilidade maior ou menor dependendo da capacidade de reação da fonte com o meio (REIS, 2012). Após o processo de dissolução,

ocorre uma forte interação do fósforo (P) com os coloides do solo, aumentando a capacidade de fixação com o meio, e diminuindo a sua disponibilidade às plantas, sendo mais evidente em solos do tipo “Latosolo” (NOVAIS et al., 2007).

Por muitos anos considerou-se que o fósforo não influenciava significativamente as variáveis de crescimento e produtividade do cafeeiro, nem quando submetido a doses acima da recomendação, sendo considerado o macronutriente menos exigido e exportado pela cultura do cafeeiro (BATAGLIA, 2004). Isso a princípio se deve ao fato do teor natural do fósforo no solo ser reduzido, associado à alta adsorção na matriz do solo, e adicionalmente ao baixo aproveitamento do fósforo solúvel aplicado (SOUZA; LOBATO, 2004; PROCHNOW; ALCARDE, 2004; BATAGLIA, 2004; MALAVOLTA, 1986). Contudo, alguns resultados demonstram que em sistema de alta produtividade, ao elevar a dosagem de fósforo (P), é possível obter respostas significativamente superior (GUERRA et al., 2007). Esses autores observaram incremento linear na produtividade do cafeeiro até a dose máxima anual de 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, alcançando uma produtividade média de 70 sacas ha<sup>-1</sup> com tratamento irrigado. Esse resultado contradiz as principais recomendações vigentes que sugerem aplicar no máximo de 80 a 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> quando houver expectativa de mais de 60 sacas ha<sup>-1</sup> (RAIJ et al., 1997; CFSEMG, 1999). Guerra et al., (2007) sugerem ainda que recomendações de adubação fosfatada para cafeeiros em doses elevadas permitiriam altas produtividades e adequado crescimento vegetativo, atenuando o efeito da bienalidade da cultura.

Semelhante aos resultados verificado por Guerra et al. (2007), Reis et al. (2011) obtiveram resposta linear em produtividade em relação à aplicação de altas doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em cafeeiros irrigados em Latossolo do cerrado do Distrito Federal. Em trabalho desenvolvido por Mera et al. (2011) foi observado os maiores índices de desenvolvimento vegetativo e produtividade com o uso da dose máxima estudada (400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), porém os autores

ressaltam que essa dose não foi suficiente para expressar o máximo potencial produtivo da cultura, sugerindo a utilização de doses mais elevadas.

Apesar de se acreditar não haver influência da adubação fosfatada na produção cafeeira, Dias et al. (2015) observaram aumento linear da produção com as doses de fósforo na aplicação de duas fontes de fósforo no Sul de Minas Gerais, obtendo-se maior ganho produtivo com a dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ou seja, não foi verificado o máximo potencial produtivo da cultura.

A afirmativa de que o cafeeiro em fase de produção é uma planta pouco exigente em fósforo não condiz com o observado pela análise dos dados experimentais contidos na literatura atual. Adicionalmente, de acordo com Reis (2012) as recomendações de adubação fosfatada de manutenção da cultura parecem não mais satisfazer o modelo atual de cultivo dos cafeeiros de altas médias de produtividade, necessitando serem realizadas investigações com o intuito de melhor estabelecer as relações entre produção, irrigação e adubação fosfatada.

### **3.4 Rentabilidade na cafeicultura irrigada - Influência da irrigação e da adubação fosfatada**

Diversas mudanças estruturais e metodológicas inovadoras no sistema produtivo do café são propostas pelo meio científico, determinando por vezes aumento nos investimentos, sendo necessária a avaliação da viabilidade econômica dessas mudanças (OLIVEIRA et al., 2010). Nesse sentido, a estimativa do custo de produção é um dos principais indicadores que serve como parâmetro e auxiliará o produtor na tomada de decisão.

A irrigação é um dos muitos fatores de produção que determina aumento no custo de produção, em especial os sistemas de irrigação localizada, que são muito utilizados em cafeeiros, e apresentam elevado custo de implementação. Silva Faria e Reis, (2003) expõem que esta tecnologia requer investimentos significativos por estar associada com o uso intensivo de

insumos agrícolas, o que torna importante a análise da sua viabilidade econômica.

De acordo com Arêdes, Pereira e Santos (2010), apesar do uso de sistemas de irrigação aumentarem o custo total de produção, essa técnica determina redução do custo por saca em função da elevação da produtividade do cafeeiro, proporcionando maior retorno econômico, e diminuição do tempo de recuperação do capital investido e do risco da atividade. Até mesmo em regiões com índices pluviométricos médios anuais suficientes ao desenvolvimento e produção da cultura do café, esses autores afirmam que o uso da irrigação aumenta substancialmente o desempenho dos indicadores econômicos, e reduz o tempo de recuperação do capital investido, proporcionando incremento no lucro. Da mesma forma Fernandes et al. (2016) observaram que o tratamento com irrigação plena obteve os maiores custos (R\$13.227,78 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) quando comparado ao tratamento sem irrigação (R\$ 11.576,82 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), entretanto as maiores médias de produtividade (56 sacas ha<sup>-1</sup>) foram obtidas nos tratamentos irrigados, em 6 safras consecutivas, promovendo os maiores retornos financeiros, com resultado muito superior ao tratamento sem irrigação (78% inferior ao irrigado com lâmina de 100%).

Na região de Lavras-MG, estudos apontam que a adoção da irrigação na cafeicultura é viável economicamente, mesmo aumentando o custo da produção. Adotando sistema de irrigação por gotejamento, Oliveira et al. (2010) verificaram que o aumento do custo de produção foi diluído no ganho em produtividade (50,34% superior a cultivada em sequeiro). Segundo esses autores, o cafeeiro cultivado em sequeiro apresentou um custo total médio (R\$ 204,08 saca<sup>-1</sup>) superior ao custo total médio do tratamento irrigado com uma lâmina de 100% da evaporação do tanque classe A - ECA (R\$ 179,17 saca<sup>-1</sup>). O mesmo comportamento foi observado utilizando sistema de irrigação do tipo pivô central, na ocasião constatou-se que o tratamento irrigado com a lâmina ótima foi a que proporcionou a maior receita líquida, cerca de 39,46% superior ao tratamento que não recebeu irrigação, tendo essa lâmina de irrigação, o menor custo total médio e a maior produtividade média

(EVANGELISTA et al., 2011). Em ambos os casos, a lâmina que proporcionou o maior retorno econômico foi aquela que repôs 100% da lâmina estimada de evapotranspiração.

Além dos benefícios citados anteriormente, lavouras cafeeiras irrigadas apresentam melhorias na gestão do processo produtivo (PEREIRA et al., 2010), sendo evidente quando se compara o emprego de mão de obra e equipamentos na aplicação de insumos agrícolas para manutenção das lavouras. No manejo convencional, o desprendimento de recursos humanos ou mecanizados são maiores, o que torna o processo produtivo mais oneroso. Entretanto, quando se adota sistemas de irrigação, tem-se a possibilidade de realizar a aplicação de diversos insumos via água de irrigação, especialmente fertilizantes, o que impacta positivamente a rentabilidade do empreendimento. Nesse sentido, a fertirrigação destaca-se como uma tecnologia capaz de aumentar a eficiência no uso de fertilizantes, aumentar a qualidade e produtividade dos produtos agrícolas, reduzir os custos operacionais, além de ser mais eficiente que o adubo sólido convencional (TEIXEIRA et al., 2011).

Experimentos com a cultura do café realizados na região de Lavras – MG demonstram que o custo de aplicação do fertilizante via água de irrigação pode ser reduzido em torno de seis a doze vezes em relação a aplicação manual, dependendo do número de parcelamentos da adubação (COELHO et al., 2002). Porém, os autores ressaltam que o custo dos fertilizantes solúveis específicos para a fertirrigação é o principal agente de elevação no custo da produção. Nessa condição específica, o fertilizante solúvel teve participação em 60% na composição do custo total da produção, enquanto que a participação do adubo convencional foi de 30%. Apesar disso, os autores relataram que o manejo fertirrigado é economicamente viável e mais rentável.

Levantamentos de custo de produção realizados nas últimas quatro safras (2013 a 2016) em importantes polos produtores de café (Guaxupé - MG, Patrocínio - MG, Luís Eduardo Magalhães - BA e São Sebastião do Paraíso - MG) mostraram que os fertilizantes apresentam-se como um dos insumos que causaram mais impactos no custo da produção, ficando em torno de 19 a 24%



do custo total (CONAB, 2016). Resultados parecidos foram obtidos por Fernandes et al., (2016) no município de Araxá-MG, onde apurou-se que a adubação via solo representa de 26 a 31,1% dos custos operacionais efetivos.

Embora existam diversos estudos comprovando a viabilidade técnica da irrigação para o cafeeiro, há uma necessidade de aprofundamento na investigação da viabilidade econômica do uso da irrigação associado à aplicação de adubos fosfatados via água de irrigação, especialmente aqueles relacionados ao uso de altas dosagens. Adicionalmente esses estudos devem estar voltados na comparação da aplicação de adubos fosfatados via fertirrigação à forma convencional de aplicação de fertilizante.

#### **3.4.1 Custo de produção**

“O termo custo significa a compensação que os donos dos fatores de produção, utilizados por uma empresa para produzir determinado bem, devem receber para que eles continuem fornecendo esses fatores à mesma” (HOFFMANN et al., 1978). Já o termo custo de produção é interpretado como a soma dos valores de todos os recursos (insumos e serviços) alocados no processo produtivo de certa atividade, em um certo período de tempo, incluindo os respectivos custos alternativos (remuneração recebida pelo capital empatado na atividade analisada, caso aplicado em outra fonte alternativa) (REIS, 2007). Os autores complementam dizendo que a estimativa dos custos está ligada à gestão eficiente dos recursos produtivos e ao conhecimento dos preços desses recursos.

Oliveira et al. (2010) e Fontes (2001) descrevem o custo de produção como um dos principais indicadores que amparam o produtor cafeeiro na tomada de decisão, visto que, na cafeicultura, vários fatores contribuem para a formação desses custos e a sua avaliação definirá o sucesso ou insucesso da lavoura. Ao se analisar o custo de produção, grande parte das variantes que acarretam o sucesso ou insucesso de uma empresa são detectadas, e assim é

possível tomar decisões mais acertadas acerca do desempenho operacional e organizacional da mesma (REIS, 1999).

É comum observar que estudos ligados à gestão financeira de propriedades agrícolas utilizam a metodologia do custo de produção. De acordo com Viana e Silveira (2008), tal método é referência na verificação da rentabilidade econômica de propriedades rurais. Essa ferramenta de análise pode ser vista em trabalhos como de Coelho et al., 2002; Silva Faria e Reis, 2003; Oliveira, 2010; Evangelista et al., 2011; Vieira et al., 2011 e Fernandes et al., 2016. Verificam-se nesses estudos, as fronteiras de eficiência produtiva e econômica tal como sua viabilidade financeira. Os autores alertam para a necessidade de uma gestão eficaz dos recursos empregados no processo produtivo cafeeiro, tendo em vista a sobrevivência em um ambiente cada vez mais complexo e dinâmico. Porém, é preciso que o produtor esteja apto a incorporar novas tecnologias, disposto a analisar e planejar suas gestões, almejando reduzir os custos e os riscos da atividade.

### **3.4.2 Gerenciamento de custos**

Independentemente do sistema de irrigação empregado, a literatura é unânime em ressaltar a importância de se controlar adequadamente a aplicação, otimizando o uso da água, custo da energia e de outros fatores relacionados com a gestão de culturas irrigadas (FARIA; REZENDE, 1998). Esse mesmo entendimento aplica-se a outras práticas, como gestão dos insumos agrícolas, e até mesmo na escolha de implantação de novos empreendimentos agrícolas.

Oliveira et al. (2010) descrevem que atualmente são inúmeras as ações inovadoras que visam o aumento da competitividade via qualidade, automação, entre outras tecnologias. Todas elas buscam alternativas que contribuam para o aumento da produtividade e maiores retornos financeiros. Esses autores ressaltam que tais ações envolvem investimentos e mudanças no sistema tradicional de cultivo, além do questionamento quanto ao seu

retorno financeiro. Buarque (1991) reitera que em nenhum projeto o risco de um investimento é nulo e a rentabilidade sempre estará associada a incertezas. Assim, entende-se que o uso adequado da irrigação e insumos agrícolas diminui o risco dos agricultores no que se refere às produções a serem alcançadas, no entanto, não impede que ocorram riscos financeiros. Segundo Gitman (2004), risco é a variabilidade dos retornos associados a um ativo com a possibilidade de haver ou não ganhos financeiros, ou seja, considera-se a probabilidade de o retorno não existir, todavia assume-se o risco na esperança de obtê-lo.

A adoção da agricultura irrigada poderá ajudar os produtores na viabilidade das lavouras, todavia os riscos inerentes à atividade devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando sempre que as receitas sejam superiores às despesas (FRIZZONE; ANDRADE JUNIOR, 2005). Em relação à cafeicultura, Arêdes, Pereira e Santos (2010) argumentam que ainda que o setor represente grande importância para a economia brasileira e para o Estado de Minas Gerais, a mesma envolve muitas incertezas e riscos, principalmente os relacionados a mercado, fatores climáticos e biológicos. Os autores expõem ainda que essas variáveis afetam os preços do grão e a renda do cafeicultor, que por consequência influencia na variabilidade do retorno econômico.

A situação econômica das lavouras cafeeiras no Brasil é descrita por Costa et al. (2014), como cenário de preocupação, visto as dificuldades enfrentadas para se manter sustentável, em função principalmente do dinamismo das transformações da economia e do comércio mundial. Como alternativa para contornar essas diversidades os autores sugerem aos produtores profissionalizar-se, isto é, adotar técnicas e procedimentos administrativos modernos, de modo que o sistema produtivo funcione eficientemente, procurando padrões e redução de custos, qualidade e adequação aos requisitos legais e de mercado.

Diante do atual cenário econômico, é imprescindível por parte dos produtores cafeeiros o domínio sobre os custos da produção, ajustando-os a

uma realidade que permita uma melhor administração do seu empreendimento, para ser eficaz e atingir os objetivos planejados (REIS, 2001). Estudos devem ser realizados para auxiliar os profissionais do campo e produtores nas tomadas de decisões, respondendo como ou quando optar por um sistema de irrigação e, ou, estimar como, quando e quanto irrigar para alcançar o máximo retorno financeiro (SOUZA, 2001), buscando a maximização dos lucros e minimização dos riscos.

### **3.4.3 Riscos e incertezas na adoção de tecnologias inovadoras para a cafeicultura**

O risco e a incerteza são palavras associadas e ao mesmo tempo distintas. A condição de incerteza existirá quando não há conhecimento de quando irá acontecer certo evento, enquanto que o risco é o próprio acontecimento do evento, que irá interferir nas tomadas de decisões (SABBAG; COSTA, 2015). Risco é a possibilidade de perda financeira. Sempre que um ativo for considerado mais arriscado, maior será a possibilidade de prejuízo (GITMAN, 2004). Por isso, a aplicação da análise de risco pode ser genérica, aplicável em diversas áreas do conhecimento, dentre elas a implementação de pacotes tecnológicos (combinação de insumos, serviços, máquinas e implementos e sistemas de irrigação utilizados ao longo do processo produtivo).

Ao gerenciar uma propriedade agrícola sob a perspectiva do risco, surge uma gama de ações alternativas, porém, os fatores que incidem sobre os riscos são complexos e de múltiplas variáveis, sendo as financeiras uma das principais (COSTA et al., 2014). A variável financeira significa gestão dos fluxos monetários (fluxo de caixa), o qual representam a entrada e saída dos recursos derivados da atividade operacional da empresa, por unidade de tempo (COSTA et al., 2011). Esses autores explicam que através dele, os administradores podem planejar a melhor maneira de direcionar os recursos do caixa da empresa, quer em termos de tempo e custo de capital ou de

oportunidade. Gitman (2004) complementa dizendo que ele deve ser o tema da preocupação básica do administrador, tanto na gestão diária dos recursos, quanto no planejamento e na tomada de decisões estratégicas.

O fluxo de caixa serve para orientar os gestores no processo de aplicação dos recursos, podendo determinar o sucesso ou infortúnio de uma decisão econômica (ROSS et al., 1995). O seu pleno entendimento ou sua correta construção é de suma importância, pois os indicadores econômicos e o risco associado ao projeto são derivados dele (AREDÊS, 2006).

Dessa forma, entende-se que uma análise econômica consistente, deve levar em consideração as particularidades regionais, ou seja, o tipo de manejo praticado na região, principalmente aquelas relacionadas aos custos operacionais variáveis (mão de obra, gasto com maquinário e nível de mecanização empregado na propriedade), pois estes são os fatores que mais contribuem para o custo da produção.

#### **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **4.1 Dados meteorológicos e de produtividade**

Para a realização das análises técnica e econômica, foram utilizados os dados de produção de três safras. A primeira safra foi analisada por Dominghetti (2013), sendo a segunda e a terceira safras analisadas por este trabalho. Os dados da primeira safra foram utilizados somente para composição dos dados acumulados do triênio produtivo. As informações técnicas experimentais foram levantadas por uma equipe de pesquisadores com coordenação da pesquisadora Myriane Stella Scalco no período de 2010 a 2014; parte das informações aqui descritas estão no relatório técnico (FAPEMIG PROCESSO N°.: CAG - APQ-01032-11) submetido à instituição de fomento Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG.

A metodologia de análise técnica utilizada para obtenção dos resultados expostos no referido trabalho estão dispostos no anexo A, pois foram os mesmos métodos utilizados na elaboração do relatório técnico.

Os dados brutos médios coletados e utilizados na elaboração da dissertação estão dispostos a seguir (Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5).

Tabela 1 - Médias das produtividades do cafeeiro (sacas ha<sup>-1</sup>) no ano de 2012 em função das lâminas de irrigação e dosagens de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg ha <sup>-1</sup> )	Lâminas de irrigação				
	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6
0	51,60	55,50	70,50	62,60	66,90
80	67,10	54,90	67,60	58,70	58,70
240	57,40	63,90	58,30	62,70	62,00
720	63,40	67,10	57,60	55,70	55,80

Fonte: Relatório (FAPEMIG PROCESSO N°.: CAG - APQ-01032-11, 2014).

Tabela 2- Médias das produtividades do cafeeiro (sacas ha<sup>-1</sup>) no ano de 2013 em função das lâminas de irrigação e dosagens de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg ha <sup>-1</sup> )	Lâminas de irrigação				
	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6
0	14,90	13,50	8,24	10,17	12,88
80	6,98	18,19	3,00	15,35	13,38
240	10,55	2,37	13,65	11,75	5,48
720	9,85	14,40	11,23	14,30	13,60

Fonte: Do autor.

Tabela 3 - Médias das produtividades do cafeeiro (sacas ha<sup>-1</sup>) na safra 2014 em função das lâminas de irrigação e dosagens de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg ha <sup>-1</sup> )	Lâminas de irrigação				
	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6
0	59,20	59,70	59,20	67,00	65,15
80	54,85	68,43	66,45	66,18	64,38
240	58,88	58,35	67,23	53,30	54,50
720	69,63	61,98	60,30	64,40	61,30

Fonte: Do autor.

Tabela 4 - Médias das produtividades acumuladas do cafeeiro (sacas ha<sup>-1</sup>) no triênio em função das lâminas de irrigação e dosagens de P205.

Doses de P205 (Kg ha <sup>-1</sup> )	Lâminas de irrigação				
	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6
0	125,73	128,75	140,28	142,43	144,93
80	128,93	141,50	137,18	139,95	136,38
240	126,90	125,22	139,20	127,68	122,03
720	139,93	139,78	130,10	134,38	130,73

Fonte: Do autor.

Tabela 5 - Variáveis meteorológica e lâminas de irrigação em cada tratamento (Continua).

Meses	Variáveis meteorológicas					Laminas aplicadas (mm)				
	Tméd°C	Pm mm	PEm mm	ET <sub>0</sub> mm	ETc mm	0,4 Kc <sub>i</sub>	0,7 Kc <sub>i</sub>	1,0 Kc <sub>i</sub>	1,3 Kc <sub>i</sub>	1,6 Kc <sub>i</sub>
nov/10	21,7	334,0	199,2	2,5	1,6	2,6	4,6	6,6	8,6	10,6
dez/10	23,9	318,0	190,3	2,7	1,7	6,8	11,9	17,0	22,1	27,2
jan/11	23,5	357,0	213,4	2,5	1,6	7,9	13,8	19,7	25,5	31,4
fev/11	24,3	122,2	72,5	2,5	1,7	17,7	31,0	44,3	57,6	70,9
mar/11	22,6	319,4	191,4	1,9	1,2	6,5	11,4	16,4	21,3	26,2
abr/11	22,1	56,6	33,2	2,2	1,5	12,1	21,2	30,3	39,4	48,5
mai/11	18,7	12,6	5,4	1,5	1,0	15,4	26,9	38,5	50,0	61,5
jun/11	16,9	37,2	20,4	1,2	0,9	13,6	23,7	33,9	44,1	54,2
jul/11	17,8	1,8	0,0	1,4	1,0	18,1	31,7	45,3	58,9	72,5
ago/11	20,2	9,0	5,3	1,9	1,4	20,5	35,9	51,3	66,7	82,1
set/11	20,5	0,6	0,4	2,2	1,7	26,4	46,3	66,1	85,9	105,8
out/11	20,9	121,2	72,1	1,8	1,4	20,7	36,2	51,8	67,3	82,8
nov/11	20,2	112,8	67,4	2,0	1,5	12,6	22,1	31,6	41,1	50,5
dez/11	21,6	449,2	269,3	1,9	1,5	2,2	3,8	5,4	7,0	8,6
jan/12	22,2	495,9	297,2	1,9	1,5	7,8	13,6	19,4	25,2	31,0
fev/12	23,0	98,4	58,1	2,1	1,7	18,1	31,6	45,2	58,7	72,3
mar/12	23,0	128,8	76,3	1,8	1,5	13,5	23,6	33,7	43,8	53,9
abr/12	21,8	45,0	25,4	1,4	1,2	13,3	23,2	33,1	43,1	53,0

Tabela 5 - Variáveis meteorológica e lâminas de irrigação em cada tratamento (Conclusão).

Meses	Variáveis meteorológicas					LI (mm)				
	T <sub>méd</sub> °C	P <sub>m</sub> mm	PE <sub>m</sub> mm	ET <sub>o</sub> mm	ET <sub>c</sub> mm	0,4 K <sub>c<sub>i</sub></sub>	0,7 K <sub>c<sub>i</sub></sub>	1,0 K <sub>c<sub>i</sub></sub>	1,3 K <sub>c<sub>i</sub></sub>	1,6 K <sub>c<sub>i</sub></sub>
mai/12	18,0	45,2	25,3	1,2	1,1	14,6	25,5	36,5	47,4	58,3
jun/12	18,4	88,4	50,8	1,0	0,9	11,1	19,3	27,6	35,9	44,2
jul/12	17,1	18,1	9,0	1,1	1,1	20,7	36,1	51,6	67,1	82,6
ago/12	17,7	2,2	0,0	1,4	1,3	20,6	36,1	51,5	67,0	82,5
set/12	20,7	18,2	10,7	2,8	2,4	22,4	39,2	56,0	72,7	89,5
out/12	22,8	52,8	31,4	3,4	2,9	16,0	27,9	39,9	51,9	63,8
nov/12	22,0	176,	105,	3,3	2,8	14,1	24,7	35,3	45,9	56,5
dez/12	24,4	147,	88,3	3,6	3,1	11,9	20,7	29,6	38,5	47,4
jan/13	22,6	503,	301,	3,4	2,9	12,6	22,0	31,4	40,8	50,2
fev/13	23,9	70,5	41,8	3,7	3,1	25,0	43,8	62,6	81,3	100,
mar/13	22,6	169,	101,	2,7	2,4	14,8	25,8	36,9	48,0	59,1
abr/13	20,1	67,2	40,2	2,3	2,0	19,6	34,3	49,0	63,8	78,5
mai/13	18,9	88,9	53,1	2,1	1,8	19,3	33,7	48,2	62,6	77,0
jun/13	19,2	19,9	11,9	2,0	1,8	21,7	38,0	54,3	70,5	86,8
jul/13	17,6	12,8	7,5	2,4	2,2	25,5	44,7	63,8	83,0	102,
ago/13	19,0	1,9	1,0	3,4	3,0	30,9	54,0	77,1	100,	123,
set/13	20,9	64,4	38,6	3,8	3,5	25,4	44,4	63,5	82,5	101,
out/13	21,0	90,3	53,9	3,8	3,5	24,6	43,0	61,4	79,8	98,2
nov/13	21,6	201,	120,	4,0	3,7	19,3	33,8	48,2	62,7	77,2
dez/13	22,8	185,	110,	3,8	3,5	15,3	26,8	38,3	49,8	61,3
jan/14	23,6	233,	139,	5,1	4,8	11,0	19,2	27,4	35,6	43,8
fev/14	23,2	33,8	19,9	3,1	2,9	19,2	33,6	48,0	62,4	76,9

Fonte: Do autor.

T<sub>méd</sub> – Temperatura média mensal; P<sub>m</sub> – Precipitação mensal; PE<sub>m</sub> – Precipitação efetiva mensal; ET<sub>o</sub> – Evapotranspiração de referência; ET<sub>c</sub> – Evapotranspiração da cultura; LI - Lâmina de irrigação e K<sub>c<sub>i</sub></sub> – Coeficiente de cultura

#### 4.1.1 Análise econômica do experimento

##### a) Custo da produção



Para o procedimento de estimativa do custo de produção, que se refere à soma de valores de todos os recursos e operações (custos fixos e variáveis) do processo produtivo de certa atividade, incluindo custos alternativos ou de oportunidade (REIS, 2007), utilizaram-se valores aproximados em reais (R\$) com base nas seguintes informações: lavoura em produção de 12,6 ha, e período de três safras.

Os recursos (insumos e serviços) utilizados na elaboração do custo de produção foram como base em uma lavoura cafeeira típica da região do sul de Minas Gerais (exceto aos insumos e serviços oriundo da fertirrigação, visto que esses são os objetos de estudo) e os custos referentes a esses recursos foram pesquisados junto às fontes AGRIANUAL (2017) e CONAB (2017).

Para o cálculo da depreciação ( $D$ ), que é o custo necessário para substituir os bens de capital quando tornados inutilizáveis (desgaste físico ou econômico) utilizou-se o método de estimativa linear (REIS, 2007), referente ao intervalo de 4,4 anos (intervalo da data do plantio até a última safra analisada) (EQUAÇÃO 1).

$$D = \frac{Va - Vr}{Vu} . P \quad (1)$$

Em que:  $D$  - depreciação (R\$);  $Va$  - valor atual do recurso (R\$);  $Vr$  - valor residual (o valor de revenda ou valor final do bem, após ser utilizado de forma racional na atividade) (R\$);  $Vu$  - vida útil (período em anos que, se bem determinado, é utilizado na atividade);  $P$  - período considerado (ano).

Para efeito de análise dos custos alternativos fixo ( $C_{\text{Afixo}}$ ) e variável ( $CA_{\text{var}}$ ) dos recursos produtivos alocados na cafeicultura, considerou-se a taxa de juros equivalente a um ano, correspondente ao investimento em poupança (taxa de juros equivalente de 5,56% ao ano), de acordo com dados do Banco Central em 2017. No seu cálculo,

quando a idade média de uso do bem era conhecida, utilizou-se a equação 2. Quando não se conhecia a idade média de uso do bem utilizou-se a equação 3, ou seja, considerou-se o  $CA_{fixo}$  como se a idade de uso dos recursos fixos fosse 50% da vida útil ( $Vu$ ) que resulta na metade do valor atual do recurso ( $Va$ ) (REIS, 2007). Já para a análise do custo alternativo variável ( $CA_{var}$ ) foi utilizada a equação (4).

$$CA_{fixo} = \frac{V_u - I}{V_u} \cdot V_a \cdot TJ \cdot P \quad (2)$$

$$CA_{fixo} = \frac{V_a}{2} \cdot TJ \cdot P \quad (3)$$

$$CA_{var} = \cdot V_{Gasto} \cdot TJ \cdot P \quad (4)$$

Em que:  $CA_{fixo}$  - Custo alternativo fixo (R\$);  $Vu$  - Vida útil (período em anos que, se bem determinado, é utilizado na atividade);  $Va$  - Valor atual do recurso (R\$);  $I$  - Idade média de uso do bem (ano);  $TJ$  - Taxa de juros médio do período (R\$);  $P$  - período considerado, (ano);  $V_{Gasto}$  - Desembolso realizado pelo produtor para adquirir insumos e serviços necessários para a produção agrícola (R\$);

#### b) Custo fixo

O custo fixo é aquele que não é assimilado totalmente pelo produtor a curto prazo, ou seja, considera apenas parte de sua vida útil, por meio da depreciação. Seu conjunto determina a capacidade de produção ou escala de produção. Esse custo foi calculado somando-se a depreciação e o custo alternativo do fator produtivo. Os itens dos custos fixos e o procedimento de operacionalização foram:

- Terra: Considera-se que terra não se deprecia, visto que se parte da hipótese que o cafeicultor adota um manejo de solo adequado, mantendo as características químicas e físicas ideais ao bom desenvolvimento da cultura, além de realizar práticas conservacionistas que colaboram com tais características (REIS, 2007). Considerou-se o valor da terra praticado na região sul de Minas Gerais (EMATER, 2017). O valor considerado no custo é o seu custo alternativo, baseado no aluguel da terra. O aluguel foi considerado como sendo um litro de leite  $\text{ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$ , pois essa é a forma praticada na região sul de Minas Gerais. O preço utilizado de um litro de leite foi R\$ 1,30 (CEPEA, 2017), ou seja, R\$ 473,59  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ;
- Benfeitorias: valor correspondente ao custo de oportunidade e custo com depreciação no período do estudo. Os valores foram consultados junto ao órgão governamental CONAB (2017). Esses valores são referentes às benfeitorias que participam direta ou indiretamente na produção do café, como a casa do administrador, a casa dos empregados, tulha, terreiro e armazém com garagem. Para o cálculo da depreciação considerou-se vida útil de 30 anos. O valor residual considerado para as benfeitorias foi de 20%, pois é o praticado na região;
- Máquinas e implementos: foram computados os valores de todos os implementos e maquinários necessários à condução do cafeeiro, de acordo com valores sugeridos pela CONAB (2017). Para vida útil considerou-se a idade de 20 anos, e o valor residual de 20%;
- Lavoura: para a formação da lavoura consideraram-se os valores contidos no AGRIANUAL (2017). E para o cálculo da depreciação considerou-se vida útil da lavoura de 15 anos. Nesse caso não foi considerado valor residual;

- Administração: Foi considerado como dados administrativos fixos o ITR, encargos sociais, manutenção periódica de instalações e seguro do capital fixo. Consideraram-se valores sugeridos pela CONAB (2017);
- Sistema de irrigação: foi utilizado como custo do sistema de irrigação o valor sugerido por Vieira et al., (2011), que utilizou o mesmo sistema de irrigação e densidade de plantio. Nesse caso houve a necessidade de corrigir o valor no tempo, ou seja, multiplicar valor calculado na época por um fator econômico (IGP – M) para o referido intervalo de tempo (correção do valor de 2011 para o que ele vale na atualidade). A vida útil considerada foi de 15 anos (EVANGELISTA et al., 2011).

### c) Custo variável

O custo variável trata-se daqueles referentes aos insumos que se incorporam totalmente ao produto no curto prazo, não podendo ser aproveitados para outra safra (REIS, 2007). Esse recurso variável foi calculado pelo desembolso realizado na aquisição de produtos e serviços, somado ao custo alternativo. Os itens utilizados no estudo foram:

- Mão-de-obra: os custos com mão-de-obra no cafeeiro envolvem a colheita, a manutenção da lavoura, a operação e manutenção do sistema de irrigação e fertirrigação. Os valores correspondentes a essa atividade foram consultados junto a CONAB (2017);
- Insumos: refere-se à aquisição de fertilizantes químicos, calagem, defensivos, espalhante adesivo, herbicidas e micronutrientes. O valor correspondente a essas atividades foi consultado junto a CONAB (2017). Consideraram-se, porém, as dosagens correspondentes a cada tratamento;

- Máquinas e implementos: o custo variável com máquinas e implementos refere-se aos gastos com combustíveis, lubrificantes, filtros, conservação e reparos por hora de trabalho. De acordo com valores sugeridos no AGRIANUAL (2017).
- Despesas gerais: referem-se aos gastos com sacaria, recepção e secagem do café. Utilizaram-se valores sugeridos no AGRIANUAL (2017);
- Utensílios para colheita e ferramentas: são gastos referentes aos rastelões, rastelos, rodos, peneiras, carrinhos de mão, escovões, lonas, enxadas, foices, limas, enxadões, pás, etc. Esses valores foram consultados junto ao órgão PROCAFÉ (2017);
- Administração: Foram considerados como dados administrativos variáveis, as viagens, gastos com energia elétrica (exceto o da irrigação), telefone, assistência técnica e materiais de escritório. Consideraram-se os valores sugeridos pela CONAB (2017) e AGRIANUAL (2017);
- Energia: foram considerados os custos referentes à energia elétrica utilizada na unidade produtiva. O valor do kwh utilizado foi conforme o sugerido pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), concessionária da região. Considerou-se um preço médio entre as tarifas diurna e noturna (R\$ 0,23), e o método de cálculo foi conforme sugerido por Mendonça (2001) através da seguinte equação (5)

$$CE = V_{kwh} \cdot T \frac{736 \cdot Pot}{1000 \cdot \eta} \quad (5)$$

Em que: CE - O custo com energia (R\$);  $V_{kwh}$  valor do kwh, conforme sugerido pela Companhia Energética de Minas Gerais/CEMIG);  $T$  - tempo total de funcionamento do sistema de

irrigação, (h), variável para cada tratamento; Pot - potência do conjunto moto-bomba, (Cv);  $\eta$  - rendimento do conjunto moto-bomba, decimal. A potência da bomba foi estimada considerando uma altura manométrica total de 70 metros de coluna de água e uma demanda hídrica de  $492 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , referente ao consumo estimado para região de Lavras–MG para uma lavoura de café de 12,6 ha.

- Água: a cobrança pelo uso da água é um dos importantes instrumentos de gestão estabelecidos pela Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), e tem como proposta reconhecer a água como um bem econômico, promover o uso racional, criar as condições de equilíbrio entre as forças da oferta e da demanda, promovendo, em consequência, a harmonia entre os usuários competidores e, ao mesmo tempo, gerar fundo financeiro para as obras, programas e intervenção na bacia que deu origem. Apesar de sua importância, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos está em fase de implantação em grande parte das bacias hidrográficas. Desse modo, optou-se por considerar a metodologia proposta pelo Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP (2017), sendo esta metodologia comumente utilizada em trabalhos científicos. Dentre os critérios adotados pelo CEIVAP, convém ressaltar, que o custo total da água não pode exceder 0,5% dos custos de produção.

A metodologia de cálculo (EQUAÇÃO 6) de cobrança é realizada da seguinte forma:

$$V_{Cons} = Q_{Cap} \cdot PPU_{Cap} K_{Consumo} \quad (6)$$

Em que:  $V_{cons}$  - custo anual pelo consumo de água R\$ ano<sup>-1</sup>;  $Q_{cap}$  - volume anual de água captado, em m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>;  $PPU_{cons}$  - preço público unitário correspondente à cobrança pela captação R\$ m<sup>-3</sup>;  $K_{consumo}$  - coeficiente que leva em conta a parte da água utilizada na irrigação

que não retorna aos corpos d'água (1,4). Para o setor de irrigação o preço público unitário considerado foi de R\$ 0,0005 m<sup>-3</sup>.

#### 4.1.2 Análise econômica simplificada

A fim de fazer uma análise da atividade produtiva, e identificar como os recursos empregados estão sendo remunerados, e sua respectiva rentabilidade, além de poder compará-lo com outras alternativas de emprego do capital investido, aplicou-se o modelo de análise econômica simplificada representado na figura 3. As variáveis do modelo de análise foram calculadas com as equações 7, 8 e 9, de acordo com Reis (2007).

$$CTMe = \frac{CT}{q} \quad (7)$$

$$CopTMe = \frac{CopT}{q} \quad (8)$$

$$CopVMe = \frac{CopVT}{q} \quad (9)$$

Em que: *CTMe* – custo total médio; *CT* – custo total ( custo fixo total mais o custo variável total); *q* – quantidade produzido de café em cada tratamento ( sacas ha<sup>-1</sup>); *CopTMe* – custo operacional total médio; *CopT* – custo operacional total (corresponde aos custos de todos os recursos que exigem desembolso monetário para a sua recomposição, como gastos com insumos, mão-de-obra, manutenção, despesas gerais, incluindo as depreciações dos recursos fixos ); *CopVMe* – custo operacional médio; *CopVT* – custo operacional variável total (corresponde a soma dos gastos com os custos variáveis, exceto o custo alternativo).

O índice RMe descrito a seguir representa o valor recebido pelo produtor por uma saca de café beneficiado de 60 kg líquido, classificado como

bica corrida, tipo 6, bebida dura para melhor.

Para esta análise foram consideradas as situações econômicas e operacionais da atividade produtiva de acordo com as sugestões de Reis (2007), descrita a seguir:

**a) situação 1:**

- corresponde ao lucro supernormal ( $RMe > CTMe$ ), onde a  $RMe$  (Receita média) paga todos os recursos aplicados na atividade econômica e proporciona um lucro adicional, superior ao de outras alternativas de mercado. A tendência a médios e longos prazos é de expansão e entrada de novas empresas para a atividade, atraindo investimentos competitivos;

**b) situação 2:**

- representa lucro normal ( $RMe = CTMe$ ), onde a  $RMe$  paga todos os recursos aplicados na atividade em questão. A remuneração é igual a de outra alternativa considerada (custo de oportunidade), e nesse caso é dito que o lucro é normal;

**c) situação 3a:**

- o resíduo é positivo, quando são pagos todos os recursos aplicados na atividade ( $RMe > CopTMe$ ), porém a  $RMe$  é menor que a de outras alternativas (custo de oportunidade);

**d) situação 3b:**

- o resíduo é nulo, quando são pagos todos os recursos de produção ( $RMe = CopTMe$ ) e a renda obtida é semelhante a renda que o



produtor poderia vir a ter caso optasse por outra atividade considerada;

**e) situação 3c:**

- Situação de resíduo negativo, quando a  $RMe$  cobre parte do custo fixo ( $CopTMe > RMe > CopVMe$ ), e nesse caso são pagos somente os recursos variáveis e parte dos fixos;

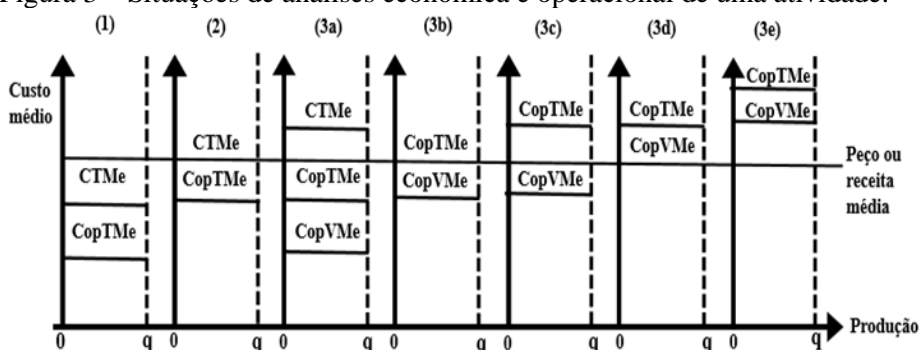
**f) situação 3d:**

- Situação em que o resíduo é negativo, quando o recurso financeiro obtido com a atividade paga somente os recursos variáveis, não cobrindo os recursos fixos ( $RMe = CopVMe$ ).

**g) situação 3e:**

- Situação de resíduo negativo, em que a  $RMe$  não cobre os recursos variáveis e o capital de giro ( $RMe < CopVMe$ ). Nesse caso há a necessidade de subsidiar os recursos variáveis.

Figura 3 – Situações de análises econômica e operacional de uma atividade.



CTMe – custo total médio; CopTMe – custo operacional total médio; CopVMe – custo operacional variável médio.

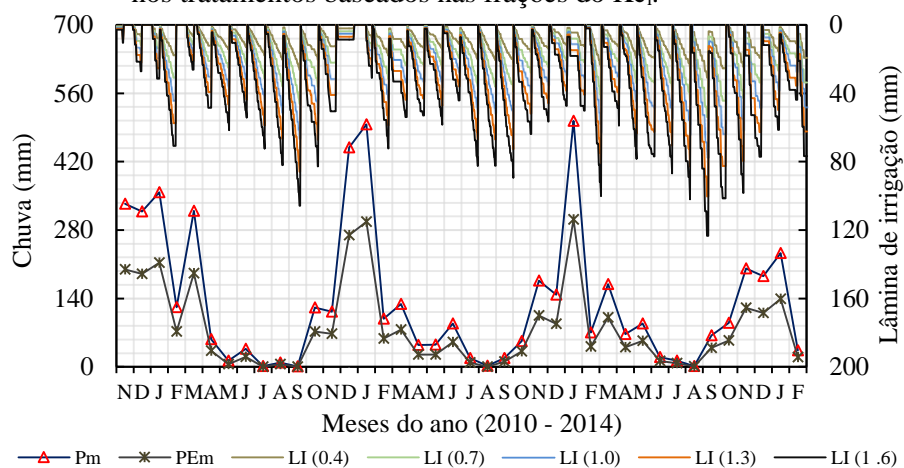
Fonte: Adaptado de Reis (2007).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Condições meteorológicas do experimento

Abaixo estão representados graficamente as precipitações mensais e as lâminas de irrigação acumuladas mensalmente em função das frações de  $Kc_i$  utilizadas para a diferenciação dos tratamentos (GRÁFICO 1).

Gráfico 1- Precipitações e lâminas de irrigação (LI) acumuladas mensalmente nos tratamentos baseados nas frações do  $Kc_i$ .



Pm - Precipitação mensal e PEm -Precipitação efetiva mensal.

Observa-se que no período entre os meses de julho e setembro de 2012 foram registrados baixos índices pluviométricos, o que demandou um aumento na quantidade aplicada de água de irrigação e conseqüentemente um aumento da influência das lâminas de irrigação nos diversos tratamentos. Possivelmente, esse fator contribuiu para diferença significativa entre tratamentos na safra 2012/2013 (TABELA 10). O mesmo comportamento meteorológico foi observado na safra seguinte (2013/2014), associado a menores índices de precipitações nos meses chuvosos. Com base no somatório de chuvas que ocorreram durante os anos agrícolas avaliados, o volume precipitado foi menor nas duas últimas safras (TABELA 6).

Tabela 6 - Somatório de precipitações dentro de cada safra avaliada.

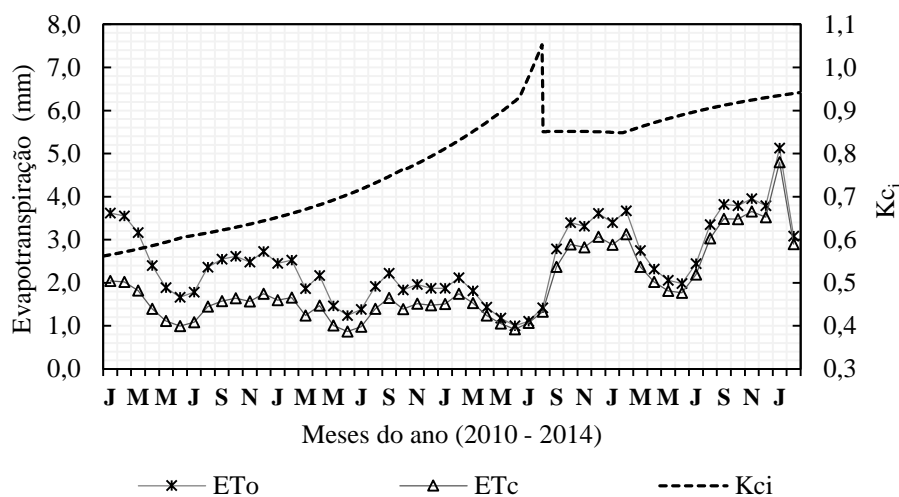
Safra	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Precipitação (mm)	1621,50	1334,82	1072,30

#### 4.2 Evapotranspiração e o coeficiente da cultura

No gráfico 2 estão representados o comportamento da evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 1998) e da cultura do cafeeiro, além da curva de evolução dos valores de  $Kc_i$  durante o período experimental, obtidos em função das características fitotécnicas de crescimento de acordo com a metodologia proposta por Villa Nova et al. (2001).

A  $ET_c$  média mensal do cafeeiro apresentou (GRÁFICO 2) variação média mensal entre  $0,87 \text{ mm dia}^{-1}$  (junho 2011) e  $4,80 \text{ mm dia}^{-1}$  (Janeiro 2014). Já a  $ET_o$  apresentou variação média mensal entre  $1,00$  (junho 2012)  $\text{mm dia}^{-1}$  e  $4,80 \text{ mm dia}^{-1}$  (Janeiro 2014). Pode-se verificar ainda, que os menores valores de  $ET_c$  ocorreram nos períodos de inverno, em que a cultura apresenta baixa demanda hídrica.

Gráfico 2- Curva de evolução do  $kc_i$  e comportamento da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e cultura.



$ET_c$  – Evapotranspiração da cultura e  $kc_i$  Coeficiente de cultura.

Em relação ao  $Kc_i$ , nota-se uma evolução até o mês de julho de 2012. A partir de então, houve uma queda nos valores que posteriormente voltaram a crescer até o valor de 0,95. Essa queda foi em decorrência de operações de colheita pela quebra de ramos e queda de folhas (DOMINGHETTI, 2013).

De acordo com Oliveira et al. (2007), em culturas como o cafeeiro, a curva de  $Kc_i$  apresenta valores baixos nos períodos de formação e estabelecimento da cultura no campo. Os autores acrescentam dizendo que a cultura ao atingir dossel máximo, a curva de  $Kc_i$  tende a se estabilizar, podendo haver oscilações temporais decorrentes de processos fisiológicos e de manejo.

Doorembos e Pruitt (1977) recomendam o valor médio de  $Kc_i$  para cafeeiros adultos entre 0,9 a 1,1, em todas as fases de desenvolvimento, sem especificar local e condições em que tais valores foram obtidos. Pereira, Camargo e Villa Nova (2011) verificam amplitude do  $Kc_i$  entre 0,1 e 1,04 em cafeeiros com idade de 15 até 40 meses. Para a região de Lavras, Minas Gerais, Sato et al. (2007) constataram em cafeeiros adultos com quatro anos de recapea,  $Kc_i$  variando de 0,59 a 1,16. Nota-se que os valores de  $Kc_i$  calculado utilizando a metodologia de Villa Nova (2001) ajustaram satisfatoriamente com a fenologia da cultura do cafeeiro, mostrando concordância com a literatura.

### **5.3 Produtividade do cafeeiro**

O resumo da análise de variância para a produtividade do cafeeiro observadas nas safras 2013, 2014 e no somatório do triênio (2012/2014) está disposto na tabela 7. A safra 2012 não foi analisada separadamente uma vez que esses dados já foram apresentados por outro trabalho. Sendo assim, utilizou-se deles somente para composição da produtividade acumulada dentro do triênio. Verificaram-se diferenças significativas nas safras analisadas, em nível de 5% de probabilidade, apenas para a interação entre os tratamentos (LI e Doses de  $P_2O_5$ ) na safra 2013 (segundo ano de produção).

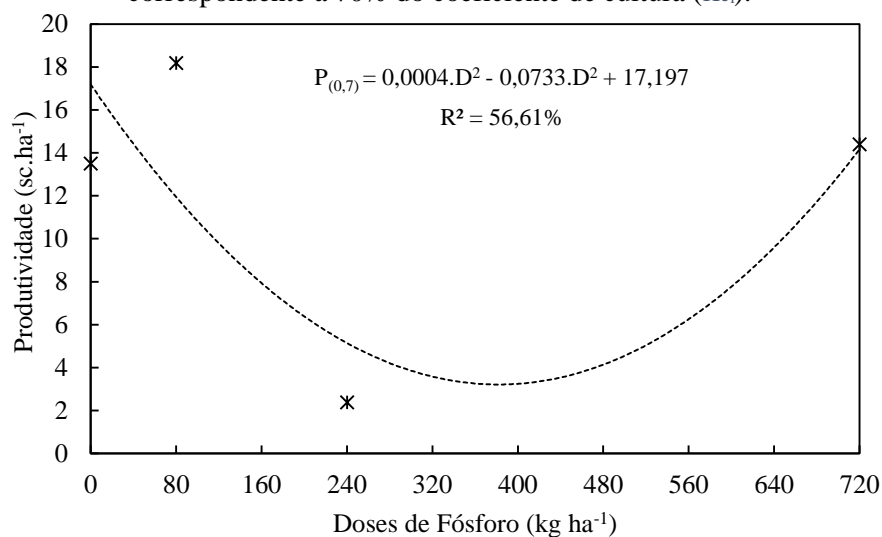
Tabela 7- Resumo da análise de variância para produtividade das safras 2013, 2014 e acumuladas (2012/2014) do cafeeiro (*Coffea arabica*. L) (sacas ha<sup>-1</sup>).

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios		
		Safra 2013	Safra 2014	Safra acumulada
Blocos	3	477,77*	811,27*	940,43*
LI	4	16,78 <sup>ns</sup>	36,26 <sup>ns</sup>	100,24 <sup>ns</sup>
Dose	3	54,98 <sup>ns</sup>	137,10 <sup>ns</sup>	320,93 <sup>ns</sup>
LI X Doses	12	97,30*	136,89 <sup>ns</sup>	183,44 <sup>ns</sup>
Resíduo	57	40,97	104,34	238,75
C.V. (%)		63,09	16,38	11,52

\* - Diferença significativa a 5% de probabilidade; ns - Diferença não significativa e LI – Lâmina de irrigação.

Na safra 2013 a produtividade do café beneficiado (sacas ha<sup>-1</sup>) apresentou efeito significativo somente para o desdobramento de dosagens de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) na fração do Kc<sub>i</sub> correspondente a 0,7, e o modelo polinomial de segundo grau (GRÁFICO 3) foi o que melhor descreveu seu comportamento. O ajuste para regressão indica que as maiores produtividades foram alcançadas na menor e maior dosagem de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Esse comportamento pode não ser resultado direto do efeito lâmina de irrigação combinado à dosagem de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), e sim de outros fatores, sendo o principal deles o ciclo bienal (ciclo de baixa produção, devido ao esgotamento fisiológico da cultura no ano anterior), visto que tanto a dosagem 0 (kg ha<sup>-1</sup>) quanto a dosagem 720 (kg ha<sup>-1</sup>) apresentaram efeitos parecidos e diferindo das intermediárias. O efeito da bienalidade da produção pode ser observado em decorrência dos valores de coeficiente de variação dos dados analisados (63%) apresentarem-se altos, e o coeficiente de determinação da curva (56,51%) baixo, que evidenciando a instabilidade produtiva no ano bienal.

Gráfico 3 - Produtividade – P (sacas ha<sup>-1</sup>) do cafeeiro em função das diferentes doses – D (kg ha<sup>-1</sup>) de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicada na fração correspondente a 70% do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>).



Diferentemente do que foi verificado na safra 2013, não houve diferenças significativas na produtividade do café beneficiado, em 2014 (TABELA 8), e no acumulado do triênio (TABELA 9) tanto em função das lâminas de irrigação quanto das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (TABELA 7).

Tabela 8 - Médias de produtividade do cafeeiro (sacas ha<sup>-1</sup>) na safra 2014 em função das lâminas de irrigação e dosagens de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg ha <sup>-1</sup> )	Lâminas de irrigação					Média
	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	
0	59,20	59,70	59,20	67,00	65,15	62,05
80	54,85	68,43	66,45	66,18	64,38	64,06
240	58,88	58,35	67,23	53,30	54,50	58,45
720	69,63	61,98	60,30	64,40	61,30	63,52
Média	60,64	62,12	63,30	62,72	61,33	62,02

Tabela 9 - Médias de produtividade acumulada do cafeeiro (sacas ha<sup>-1</sup>) no triênio em função das lâminas de irrigação e dosagens de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Doses de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg ha <sup>-1</sup> )	Lâminas de irrigação					Média
	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	
0	125,73	128,75	140,28	142,43	144,93	139,10
80	128,93	141,50	137,18	139,95	136,38	136,79
240	126,90	125,22	139,20	127,68	122,03	128,21
720	139,93	139,78	130,10	134,38	130,73	134,98
Média	131,92	133,81	136,69	136,11	133,52	134,54

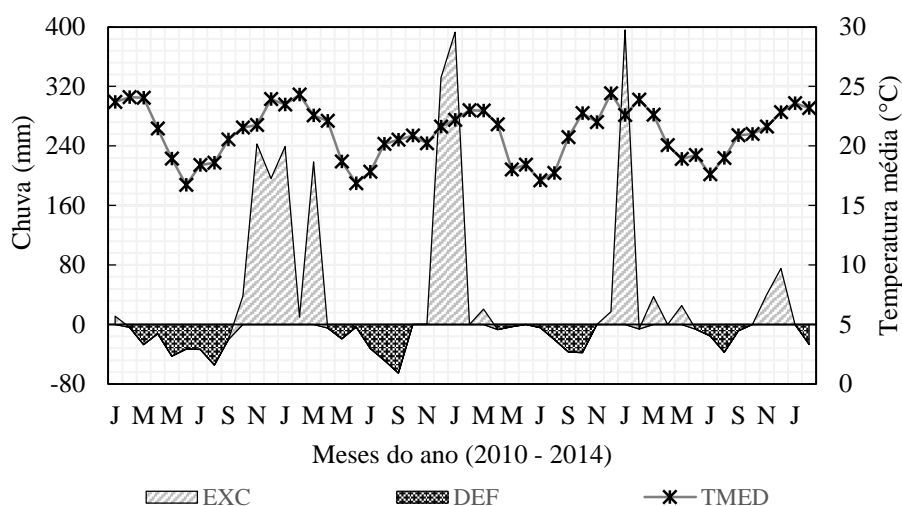
Os resultados encontrados indicam que os níveis de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) aplicados anteriormente à diferenciação dos tratamentos (278 kg ha<sup>-1</sup>) foram suficientes para suprir a demanda do cafeeiro dentro do período analisado. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Valadarez et al. (2014). De modo semelhante, esses autores também não verificaram resposta do cafeeiro até a máxima dosagem investigada (400 kg ha<sup>-1</sup>). Verifica-se, portanto, que o acréscimo produtivo obtido com a aplicação de elevadas dosagens de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em cafeeiro relatadas por Guerra et al., (2007); Mera et al., (2011); Reis et al., (2011) e Dias et al., (2015) não foi observada pelo presente estudo até o momento.

A constatação de diferença significativa na segunda safra (Safrá 2013) e não significativa na terceira (Safrá 2014) pode estar associado à tendência natural da cultura, em que o desenvolvimento determina menor exigência de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (VALADAREZ et al., 2014). Isso se deve ao fato de apresentarem mecanismo de acúmulo em formas de reserva de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) mais avançado, além de associações mutualistas entre raízes e hifas de fungos, aumentando dessa forma a eficiência de absorção do nutriente (NOVAIS; MELLO, 2007). Outro fato importante verificado (TABELA 2 do Anexo A) foi que na análise química do solo feita antes da implantação da cultura, a área experimental já apresentava ótimos níveis de fósforo (CFSEMG, 1999), propriedade atípica para solos tropicais, pois, estes são caracterizados pelo alto grau de intemperismo e baixos teores de fósforo na forma lábil (BONSER;

LYCH; SIEGLINDE, 1996). Isso possivelmente interferiu significativamente para a resposta do cafeeiro frente às doses crescentes de  $P_2O_5$ .

Adicionalmente, verifica-se através do extrato do balanço hídrico (GRÁFICO 4) que o regime de chuvas no período proporcionou uma boa disponibilidade hídrica (com déficit hídrico abaixo do crítico para a cultura), principalmente no período crítico para cultura (período de desenvolvimento do fruto), o que foi determinante para a cultura expressar índices produtivos satisfatórios, mesmo nas menores lâminas de irrigação e dosagens de fósforo. Em relação às necessidades climáticas da cultura (Déficit hídrico < 150mm e temperatura média entre 18°C e 23°C), (CARAMORI et al. 2001; PINTO et al. 2001; SEDIYAMA et al. 2001a), informações consolidadas para os estados de Minas Gerais, Paraná e São Paulo, nota-se (GRÁFICO 4) aptidão sem restrições para o cultivo no referido período de experimentação, especialmente na fase de florescimento, formação e maturação dos frutos, compreendidas nos meses de outubro a março (fase crítica para a cultura). Com bases nos dados meteorológicos apresentados é possível afirmar que a cultura não sofreu estresse térmico ou hídrico.

Gráfico 4 - Extrato do balanço hídrico e temperaturas médias mensais



EXC - Excedente hídrico; DEF - Déficit hídrico e TMED - Temperatura média mensal.



No tocante à disponibilidade de água, verifica-se no gráfico 4 que o déficit hídrico no triênio esteve sempre abaixo do indicado para o bom desenvolvimento da cultura, portanto, a contribuição das chuvas foi decisiva para manter o armazenamento de água no solo em quantidade suficiente para o pleno estabelecimento do cafeeiro. Esse fato possivelmente contribuiu para a não significância (TABELA 7) na produtividade acumulada de três safras. Entende-se também, que o fato de não ter havido tratamento sem irrigação pode ter contribuído para tal resultado, pois um tratamento com lâmina de irrigação nula contrastaria com os demais, o que possibilitaria uma análise consistente em relação a real necessidade hídrica para a cultura do cafeeiro nessa região. Outro fato importante, foi a proposta de estimativa do  $Kc_i$ , em que, o valor do coeficiente foi com base nos maiores valores encontrados nas diferentes parcelas experimentais, ou seja, estimado através das plantas que apresentaram melhor vigor vegetativo, isso pode ter superestimado a lâmina de irrigação, fazendo com que o 40% dessa lâmina fosse suficiente para manter a umidade do solo próximo a capacidade de campo.

Em estudos com épocas de irrigação com a mesma variedade de cafeeiro na região de Lavras MG, verificou-se também, a não significância das lâminas de irrigação na produtividade, independentemente dos períodos com déficit hídrico (KARASAWA; FARIA; GUIMARÃES, 2002). Por outro lado, esses autores notaram que a produção do tratamento irrigado foi superior em 500% em relação à testemunha (não irrigada).

Com relação à produtividade, verificam-se índices produtivos próximos aos encontrados por autores como Lima; Gomes e Custódio (2008) e Fernandes et al. (2016). Nesses estudos observam-se produtividades médias de 56 sacas  $ha^{-1}$  e 45,12 sacas  $ha^{-1}$  respectivamente. Quando se compara a produtividade média do estado de Minas Gerais, os resultados condizem com a média de regiões com predomínio de campos irrigados (40,43 sacas  $ha^{-1}$ ) (Região de cerrado) e superior em 41,87% à média produtiva da região sul de Minas Gerais (31,72 sacas  $ha^{-1}$ ) (CONAB, 2017). É pertinente dizer, que a região sul de Minas Gerais predomina o cultivo de sequeiro. Quando se

compara com trabalhos científicos conduzidos na região sul de Minas Gerais, com manejo de irrigação por gotejamento, verifica-se produtividades inferiores aos obtidos em outros trabalhos, da ordem de 39,87% e 47,06% em estudos como de Evangelista et al. (2011) e Scalco et al. (2011) respectivamente. Nesses estudos foram encontradas produtividades de 85,00 sacas ha<sup>-1</sup> e 74,84 sacas ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Bonomo et al. (2008) analisando métodos de fornecimento de água (gotejamento, aspersão e de sequeiro) com a cultivar Topázio MG-1190 constataram produtividade média em seis safras de 46,25 sacas ha<sup>-1</sup> (gotejamento), 56,92 sacas ha<sup>-1</sup> (aspersão) e 25,07 sacas ha<sup>-1</sup> (sequeiro). Rezende et al. (2006) ao avaliarem a produtividade com a mesma cultivar constataram desempenho semelhante ao observado neste trabalho no tratamento não irrigado (47,22 sacas ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, esses autores verificam incrementos produtivos até a máxima lâmina investigada (120% da ECA - Evaporação do tanque classe A) (75,41 sacas ha<sup>-1</sup>).

Diante dessas considerações, é importante destacar que a não significância nos tratamentos com lâminas de irrigação, não invalida a importância do manejo de irrigação em cafeeiros, dada a variabilidade espacial e temporal da precipitação com possíveis períodos de déficit hídrico (veranico) em períodos críticos para o desenvolvimento dos frutos aos quais estão sujeitos os cultivos de sequeiro. Com referência às dosagens de fósforo, fica evidente que os bons níveis de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> do solo na área experimental, aliado à distribuição espacial e mobilidade do nutriente no perfil do solo proporcionada pela fertirrigação possivelmente tenha elevado a eficiência de absorção do fósforo, resultando na não necessidade de aumento de dosagem.

#### **5.4 Eficiência no uso da água (EUA)**

O resumo da análise de variância para a eficiência do uso da água nas safras 2013, 2014 e no somatório do triênio (2012, 2013 e 2014), está disposto na tabela 10.

Tabela 10- Resumo da análise de variância da eficiência do uso da água (EUA) na safra 2013, 2014 e acumuladas do cafeeiro (*Coffea arabica*. L) ( $\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ).

Fonte de variação	G.L	Quadrados médios		
		Safra 2013	Safra 2014	Safra acumulada
Blocos	3	9,17*	3,84*	1,59*
LI	4	14,20*	144,77*	190,28*
Dose	3	1,26 <sup>ns</sup>	0,86 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>
LI X Doses	12	2,44*	136,89 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
Resíduo	57	1,26	1,38	0,49
C.V. (%)		68,74	16,37	11,71

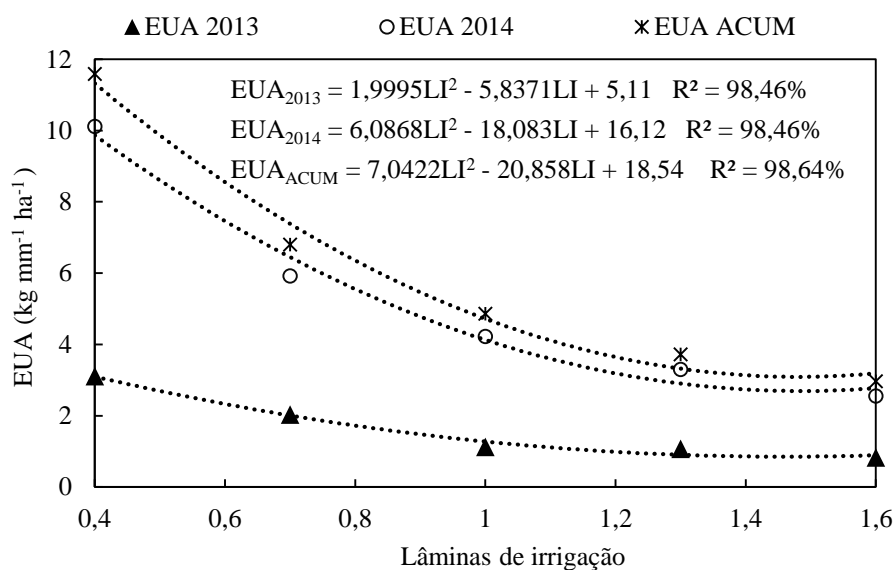
\* - Diferença significativa a 5% de probabilidade; ns - Diferença não significativa - e LI Lâmina de irrigação.

Observa-se nas duas safras analisadas e no acumulado do triênio, diferença significativa para fonte de variação LI. Nos dois ciclos de produção e no acumulado do triênio verifica-se um comportamento semelhante da eficiência do uso da água em função das lâminas de irrigação utilizadas (GRÁFICO 5), sendo que a menor lâmina (correspondente ao  $K_c$ ; 0,4) foi a que proporcionou maior produtividade de café beneficiado por milímetro de água aplicado. Em relação às curvas de tendência, o modelo polinomial de segundo grau foi o que melhor descreveu o comportamento da EUA nos diferentes tratamentos, indicando uma redução da EUA à medida que se aumentou as lâminas de até a fração correspondente a 1,6 do  $K_c$ .

A uniformidade de distribuição das chuvas ao longo dos ciclos do cafeeiro proporcionou um bom conteúdo de água ao solo, o que para a menor lâmina de irrigação foi o suficiente para atingir a máxima produtividade (62,0 sacas  $\text{ha}^{-1}$  no ano de 2014 e média de 44,7 sacas  $\text{ha}^{-1}$  no triênio). Esses índices produtivos estão acima da média para a região sul de Minas Gerais nos últimos dez anos (entre 19,25 sacas  $\text{ha}^{-1}$  a 31,72 sacas  $\text{ha}^{-1}$ ) (CONAB, 2017). Mesmo nos últimos dois meses do período mais crítico para o cafeeiro no ano de 2014 a irrigação com base na fração 0,4 do  $K_c$  foi a mais efetiva. Tal fato está relacionado com uma economia do uso da água de irrigação sem perda de

produtividade. Porém, situações comuns de escassez de chuvas em períodos pontuais (veranico) ligados ao uso inadequado da irrigação ou cultivo sem irrigação podem ocasionar limitações produtivas.

Gráfico 5 - Eficiência do uso da água (EUA) para a segunda, terceira safra e no acumulado do triênio nas diferentes lâminas de irrigação correspondente as frações do  $Kc_i$ .



EUA - Eficiência do uso da água;  $EUA_{ACUM}$  - Eficiência do uso da água no acumulado do triênio e LI - Lâminas de irrigação.

No que tange às análises de eficiência do uso da água, observada em outros trabalhos com cafeeiros, encontram-se os mais variados índices, que vão desde 3,0 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de café beneficiado por milímetro de água de irrigação aplicada, em função principalmente do tipo de manejo de irrigação adotado (porcentagem de área molhada e método de irrigação).

Trabalhando com sistema de irrigação tipo pivô central equipado com difusores (spray), Lima, Custodio e Gomes (2008) observaram em média (cinco anos de produção) 3,1 kg ha<sup>-1</sup> de café beneficiado por milímetro de água de irrigação. Vicente et al. (2015) utilizando pivô central equipado com LEPA (low energy precision application), na região Oeste da Bahia (Barreiras

- BA), verificaram em média (três safras) para cada milímetro de água aplicado via irrigação, uma produtividade de 7,22 kg ha<sup>-1</sup> de café beneficiado. Bonomo et al. (2008) analisando métodos de irrigação, verificaram eficiência entre 11,22 e 19,27 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> para o sistema de irrigação por aspersão convencional e gotejamento respectivamente. Já Fernandes et al (2016) notam em irrigação por gotejamento, valores aproximados de até 31,3 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. Enfim, o presente trabalho mostrou-se superior em termos de eficiência do uso da água em relação a outro método e sistema de irrigação, muito embora tenha sido inferior quando comparado ao mesmo método (gotejamento).

### 5.5 Eficiência da adubação fosfatada (EA)

Para a análise da eficiência da adubação foram utilizados somente os dados acumulados, visto que não seria possível obter o cálculo para dosagem zero (o denominador da equação seria nulo) nas safras individualmente. Dessa forma considerou-se para os cálculos, a adubação fosfatada acumulada até o último ano de análise, somando-se com a dose zero a adubação realizada na ocasião do plantio, correspondente a 278 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

Segue abaixo o resumo da análise de variância para a eficiência do uso da adubação fosfatada no triênio, ano 2012, 2013 e 2014 (TABELA 11 ).

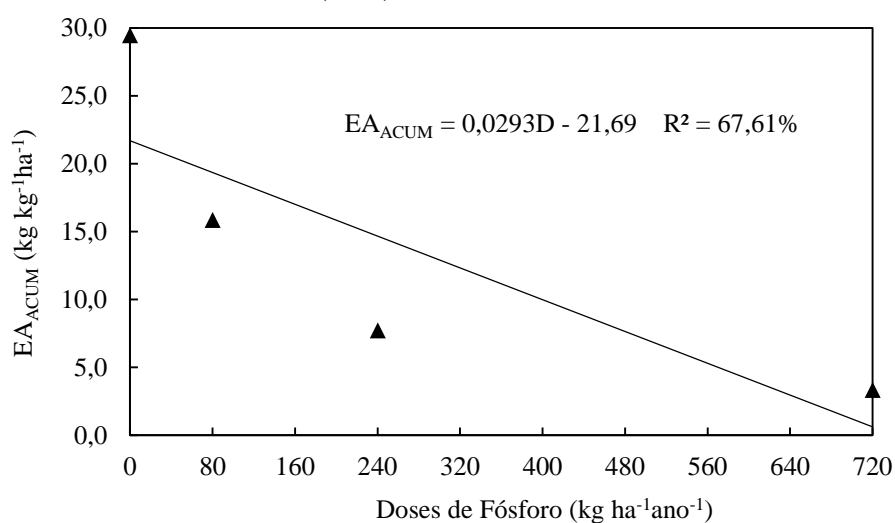
Tabela 11- Resumo da análise de variância da eficiência da adubação fosfatada (EA) (kg kg<sup>-1</sup>) no acumulado de três safras consecutivas.

Fonte de variação	G.L	Quadrados médios
Blocos	3	7,16 <sup>ns</sup>
L	4	4,45 <sup>ns</sup>
Dose	3	2636,82*
LI X Dose	12	3,76 <sup>ns</sup>
Resíduo	57	2,79
C.V. (%)		11,86

\* - Diferença significativa a 5% de probabilidade; ns - Diferença não significativa e LI – Lâmina de irrigação.

Observa-se na tabela 9 que houve diferença significativa somente para variável dose. Independentemente do nível de irrigação, a menor dosagem (zero) foi a que proporcionou maior eficiência ao longo dos três anos de avaliação do cafeeiro. A partir de então, ocorreu uma redução da eficiência da adubação até a dose máxima aplicada (GRÁFICO 6). Este resultado está de acordo com as observações de Guerra et al., (2007); Mera et al., (2011); Reis et al., (2011) e Dias et al., (2015) ao indicarem em seus trabalhos uma redução da quantidade de café beneficiado por quantidade de adubação fosfatada aplicada. Convém ressaltar que diferentemente do presente estudo, esses autores obtiveram incrementos produtivos com a elevação das dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ) até sua máxima dosagem.

Gráfico 6 - Eficiência da adubação fosfatada (EA) para o triênio nas diferentes doses fósforo ( $P_2O_5$ ).



$EA_{ACUM}$  - Eficiência da adubação fosfatada no triênio; D - Dosagens de fósforo.

A redução acentuada da eficiência agrônômica da adubação fosfatada indica que o P aplicado na ocasião do plantio ( $278\ kg\ ha^{-1}$ ) foi disponibilizado lentamente para as plantas ao longo dos ciclos, e as quantidades aplicadas na anteriormente a diferenciação dos tratamentos somadas aos ótimos índices de

fósforo do solo (ANEXO A TABELA 2) foram suficientes para atender às exigências nutricionais do cafeeiro, pois proporcionaram uma boa produção de café beneficiado independente da dose aplicada.

As respostas obtidas no presente estudo são indícios de que o aumento no potencial produtivo do cafeeiro por vezes tenha uma maior correlação com o tipo de manejo empregado (adequado ou não) no cultivo do que o aumento na quantidade de uso de insumos agrícolas. Todavia, essas análises foram realizadas em um período relativamente curto, em um solo com boa fertilidade (ótimos níveis de fósforo), situação que não representa a maioria dos solos tropicais. Nesse caso seria necessário utilizar um solo com fertilidade típica para região, além de mais ciclos de produção para análise.

## **5.6 Custo da produção**

Os dados apresentados na Tabela 12 expressam os percentuais de participação dos itens que compõem os custos totais de produção para os tratamentos com lâminas de irrigação e dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ).

Ao verificar os dados, percebe-se que os custos fixos representam 14% do custo total da produção do café e o custo variável 86% para a média geral nos diferentes tratamentos. Evangelista et al. (2011) verificaram valores do custo variável total entre 78,64 % e 82,16% do custo total.

O custo com insumos, em especial as fontes solúveis de fertilizantes contribuíram significativamente (entre 28,2 % do custo total para a menor dosagem de  $P_2O_5$  e 38,5 % para a maior dosagem  $P_2O_5$ ) com a participação expressiva dos custos variáveis na composição do custo de produção (TABELA 12). Esse resultado corrobora com os obtidos por Coelho et al. (2002), que concluíram que as fontes solúveis de fertilizante foram os fatores que mais impactaram o custo total de produção (até 60%).

Entre os tratamentos houve um aumento do custo variável total à medida que se cresceu o nível de reposição de água no solo e dosagem do fertilizante até o máximo nível em estudo. A combinação da menor lâmina de

irrigação com a menor dosagem de fósforo (aplicação somente no plantio) foi a que proporcionou uma menor participação nos custos variáveis (84,8%), enquanto a combinação da maior dosagem com a maior lâmina de irrigação apresentou participação de (87,7%) em relação ao custo total da produção. O acréscimo dos custos variáveis deve-se principalmente ao custo com a adubação fosfatada, pois esta representou participação entre 2,4% e 2,5% na dosagem zero e participação entre 18,0% e 19,0% na dosagem máxima.

O item que apresentou a maior participação na composição do custo fixo total foi o sistema de irrigação (4,4%). Em relação aos custos variáveis, os fatores que mais contribuíram para o aumento do custo total da produção na cafeicultura irrigada foram os gastos com insumos agrícolas (38,2%) (itens C,  $F_{P_{2}O_{5}}$ , e FO) e com mão de obra (16,3%). Além disso, convém ressaltar, que a adubação fosfatada na maior dosagem elevou significativamente (cerca de 50% do custo total da adubação) os custos com fertilizantes.

Os itens que mais impactaram os custos operacionais (mão de obra e insumos agrícola) verificados na tabela 12 também foram observados por Oliveira et al. (2010), Evangelista et al. (2011) Fernandes et al. (2016). Certamente a gestão desses itens pode ser alterada facilmente, e gerenciados de forma diferenciada durante o ciclo da cultura. Assim, cabe ao produtor buscar melhorias em sua produtividade, fazendo melhor uso desses recursos (PEREIRA et al., 2010).



Tabela 12 - Percentagem dos custos fixos e custos variáveis da produção de café, nos diferentes tratamentos com lâminas de irrigação e dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ), proveniente de três safras acumuladas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com a cultivar Topázio MG-1190. (Continua)

Valores referente aos custos fixos e variáveis expresso em porcentagem (%) do Custo Total (CT)																					
Esp.	Lâmina 0,4 Kc <sub>i</sub>				Lâmina 0,6 Kc <sub>i</sub>				Lâmina 1,0 Kc <sub>i</sub>				Lâmina 1,3 Kc <sub>i</sub>				Lâmina 1,6 Kc <sub>i</sub>				Média geral
	0	80	240	720	0	80	240	720	0	80	240	720	0	80	240	720	0	80	240	720	
T	2,1	2,0	1,9	1,8	2,0	2,0	1,9	1,7	2,0	2,0	1,9	1,7	2,0	2,0	1,9	1,7	2,0	1,9	1,9	1,7	1,9
FL	3,0	3,0	2,9	2,6	3,0	2,9	2,8	2,5	3,0	2,9	2,8	2,5	2,9	2,9	2,8	2,5	2,9	2,8	2,7	2,5	2,8
BI	1,1	1,1	1,0	0,9	1,1	1,1	1,0	0,9	1,1	1,1	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0
ME <sub>fixo</sub>	3,2	3,1	3,0	2,8	3,2	3,1	3,0	2,7	3,1	3,1	3,0	2,6	3,1	3,0	2,9	2,6	3,1	3,0	2,9	2,6	3,0
SI	4,7	4,6	4,4	4,1	4,7	4,6	4,4	3,9	4,6	4,5	4,4	3,9	4,6	4,5	4,3	3,9	4,5	4,4	4,3	3,8	4,4
DAf	1,1	1,0	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
CFT	15,2	14,9	14,3	13,1	15,1	14,8	14,2	12,7	14,9	14,6	14,0	12,5	14,7	14,4	13,9	12,4	14,6	14,3	13,7	12,3	14,4
MO	17,6	17,2	16,6	15,2	17,5	17,1	16,5	14,7	17,2	16,9	16,2	14,6	17,1	16,7	16,1	14,4	16,9	16,6	15,9	14,3	16,3
C	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,7
ME <sub>v</sub>	16,7	16,3	15,7	14,3	16,5	16,2	15,6	13,9	16,3	16,0	15,4	13,8	16,1	15,8	15,2	13,7	16,0	15,7	15,1	13,5	15,4
F <sub>P2O5</sub>	2,5	4,6	8,5	19,0	2,5	4,6	8,5	18,5	2,5	4,5	8,4	18,3	2,4	4,5	8,3	18,1	2,4	4,4	8,2	18,0	8,4
FO	26,6	25,8	24,4	19,0	26,4	25,7	24,2	20,6	26,1	25,3	23,9	20,4	25,8	25,1	23,7	20,2	25,5	24,8	23,5	20,0	23,8
AD <sup>1</sup>	29,1	30,4	32,9	38,1	28,9	30,2	32,7	39,1	28,6	29,8	32,1	38,7	28,2	29,6	32,0	38,3	27,9	29,2	31,7	38,0	32,2
DA	5,7	5,6	5,4	4,9	5,7	5,5	5,3	4,8	5,6	5,5	5,3	4,7	5,5	5,4	5,2	4,7	5,5	5,4	5,2	4,6	5,3

Tabela 12 - Percentagem dos custos fixos e custos variáveis da produção de café, nos diferentes tratamentos com lâminas de irrigação e dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ), proveniente de três safras acumuladas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com a cultivar Topázio MG-1190. (Conclusão)

Valores referente aos custos fixos e variáveis expresso em porcentagem (%) do Custo Total (CT)																					
Esp.	LI 0,4 do $Kc_i$				LI 0,7 do $Kc_i$				LI 1,0 do $Kc_i$				LI 1,3 do $Kc_i$				LI 1,6 do $Kc_i$				Média geral
	0	80	240	720	0	80	240	720	0	80	240	720	0	80	240	720	0	80	240	720	
EE	1,3	1,3	1,2	1,1	2,0	1,9	1,8	1,6	3,2	3,1	3,0	2,7	4,1	4,0	3,9	3,5	5,0	4,9	4,7	4,3	2,9
GA	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
UF	1,7	1,6	1,6	1,4	1,7	1,6	1,6	1,4	1,6	1,6	1,6	1,4	1,6	1,6	1,5	1,4	1,6	1,6	1,5	1,4	1,6
DG	6,8	6,6	6,4	5,8	6,7	6,6	6,3	5,7	6,6	6,5	6,2	5,6	6,6	6,4	6,2	5,5	6,5	6,4	6,1	5,5	6,2
CA	4,8	4,8	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8	4,9	4,8	4,8	4,9	4,9	4,8
CVT	84,8	85,1	85,7	86,9	84,9	85,2	85,8	87,3	85,1	85,4	86,0	87,5	85,3	85,6	86,1	87,6	85,4	85,7	86,3	87,7	86,0
CT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Legenda: LI – Lâmina de irrigação, Esp. - especificações; T - terra; FL - formação da lavoura; BI - benfeitorias e instalações;  $ME_{fixo}$  - máquinas e equipamentos custo fixo; SI - sistema de irrigação;  $DA_{fixa}$  - despesas administrativas custo fixo; CFT - custo fixo total; MO - mão de obra; C - calagem;  $ME_{var}$  - máquinas e equipamentos custo variável;  $F_{P_2O_5}$  - fertilizante fosfatado; FO - outros fertilizantes; AD - custo com adubação; DA - defensivos agrícola; EE - energia elétrica; GA - gasto com água; UF - utensílios e ferramentas; DG - despesas gerais; CA - custo alternativo; CVT - custo variável total; CT - custo total e 1 - soma dos custos com fertilizante fosfatado e outros.

Obs: os valores contidos nesta tabela representam a participação que cada uma das especificações representou em relação ao custo total da produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).

Fonte: Do autor (2017).

### 5.7 Análise econômica simplificada

Os custos médios da produção de café, em relação aos diferentes tratamentos de lâmina de irrigação e dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ), provenientes das três safras acumuladas (2012, 2013, 2014), podem ser observados na Tabela 13.

Para o período em estudo considerou-se o preço pago ao café igual a U\$\$ 156,00 (R\$ 487.40) por saca de 60 kg líquido, classificado como bica corrida, tipo 6, bebida dura para melhor, correspondente ao mês de março de 2017 (COOXUPÉ, 2017).

Nota-se que para esse preço, e considerando a produtividade média das três safras ( $45 \text{ sacas ha}^{-1}$ ), os tratamentos com a menor lâmina de irrigação (correspondente a fração 0,4 do  $Kc_i$ ) combinado à menor dosagem (dose 0) apresentaram o menor custo total médio (R\$ 515,29 sacas  $ha^{-1}$ ) e os tratamentos com a maior lâmina de irrigação (correspondente a fração 1,6 do  $Kc_i$ ) combinado com a maior dosagem ( $720 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) apresentaram o maior custo total médio (R\$ 633,42 sacas  $ha^{-1}$ ). A diferença entre esses valores representa uma rentabilidade 23% superior do primeiro tratamento em relação ao segundo. Analisando os tratamentos separadamente, verifica-se que nas menores aplicações tanto de fertilizante fosfatado quanto de lâmina de irrigação o retorno econômico foi superior aos demais. Isso já era esperado, uma vez que não houve diferença estatística na variável produtividade. Sendo assim, a variação do retorno econômico depende diretamente dos custos operacionais variáveis.

Verifica-se na Tabela 13 que a situação econômica do cafeeiro utilizando dosagens de P iguais a  $720 \text{ Kg ha}^{-1}$ , independentemente da lâmina de irrigação, será de descapitalização do recurso empregado, pois a receita média obtida com a venda do produto não reembolsa as despesas de custeio com recursos variáveis ( $RMe < CopVMe$ ), as quais são obrigatórias no curto prazo. Neste caso, certamente haverá necessidade de subsidiar a atividade

produtiva, sendo a saída da atividade uma alternativa para minimizar os prejuízos (Reis, 2007).

Tabela 13 - Custos econômicos e operacionais médios por saca de 60 kg de café, nos diferentes tratamentos com lâminas de irrigação e dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ), proveniente de três safras acumuladas do cafeeiro (*Coffea Arabica* L.) com a cultivar Topázio MG-1190, analisados comparativamente a RMe – receita média (preço do café) no valor de R\$ 487, 40.

Tratamentos	Custos econômicos e operacionais (R\$)						
	CFMe	CVMe	CTMe	CopFMe	CopVMe	CopTMe	
LI 0,4 do Kc <sub>i</sub>	0	78,14	437,15	<b>515,29</b>	41,72	412,55	454,27
	80	78,14	447,88	<b>526,02</b>	41,72	422,68	464,39
	240	78,14	469,09	<b>547,23</b>	41,72	442,69	484,41
	720	78,14	520,03	<b>598,17</b>	41,72	490,77	532,48
LI 0,7 do Kc <sub>i</sub>	0	78,14	440,75	<b>518,89</b>	41,72	415,95	457,66
	80	78,14	451,48	<b>529,61</b>	41,72	426,07	467,79
	240	78,14	472,69	<b>550,83</b>	41,72	446,09	487,80
	720	78,14	537,30	<b>615,43</b>	41,72	507,06	548,78
LI 1,0 do Kc <sub>i</sub>	0	78,14	447,94	<b>526,08</b>	41,72	422,73	464,45
	80	78,14	458,67	<b>536,81</b>	41,72	432,86	474,58
	240 <sup>3c</sup>	78,14	479,88	<b>558,02</b>	41,72	452,88	494,59
	720	78,14	544,49	<b>622,63</b>	41,72	513,85	555,56
LI 1,3 do Kc <sub>i</sub>	0	78,14	453,34	<b>531,48</b>	41,72	427,83	469,54
	80	78,14	464,07	<b>542,20</b>	41,72	437,95	479,67
	240	78,14	485,28	<b>563,41</b>	41,72	457,97	499,68
	720	78,14	549,89	<b>628,02</b>	41,72	518,94	560,66
LI 1,6 do Kc <sub>i</sub>	0	78,14	458,73	<b>536,87</b>	41,72	432,92	474,64
	80	78,14	469,46	<b>547,60</b>	41,72	443,04	484,76
	240	78,14	490,67	<b>568,81</b>	41,72	463,06	504,78
	720	78,14	555,28	<b>633,42</b>	41,72	524,03	565,75
Média geral	78,14	481,70	559,84	41,72	454,59	496,31	

CFMe – custo fixo médio; CVMe – custo variável médio; CTMe – custo total médio; CopFMe – custo operacional fixo médio; CopVMe – custo operacional variável médio; LI - Lâminas de irrigação e Kc<sub>i</sub> – Frações do Kc.

As cores em destaque representam as situações econômicas de cada tratamento. Em que: Vermelho - Resíduo é positivo (Situação 3a); Laranja – Resíduo negativo, onde a RMe cobre parte do custo fixo (Situação 3c) e Roxo – Resíduo negativo sem reembolso (Situação 3e).

Fonte: Resultado de pesquisa do autor (2017).

Observa-se ainda, que o manejo da cultura com dosagem de P igual a 240 kg ha<sup>-1</sup> combinado com lâminas de irrigação iguais ou superiores a fração do K<sub>c</sub>; igual a 1,0, o cenário econômico também é de prejuízo, visto que parte do custo alternativo do capital empatado na atividade não será completamente reembolsado. Porém, os custos variáveis são totalmente cobertos pela receita média. A tendência a médio e longo prazo, se persistir essa situação, é de o produtor retrair e sair da atividade (Reis, 2007).

Nas demais situações (tratamentos com dosagens de 0 e 80 kg ha<sup>-1</sup> e tratamento com a dose 240 kg ha<sup>-1</sup> combinado com a lâmina de irrigação 0,4 e 0,7 do K<sub>c</sub>) verifica-se um comportamento econômico semelhante, no qual a receita média paga todos os recursos aplicados na atividade (RMe > CopTMe), no entanto a remuneração é menor que a de outras atividades (custo de oportunidade), e dessa forma, o produtor cafeeiro estaria diante de uma situação em que a atividade está rendendo menos do que os juros da base de cálculo para custo alternativo (Reis, 2007).

Para a variável “uso da água”, nota-se que a menor lâmina de irrigação proporcionou um retorno econômico suficiente e mais rentável, diferentemente de Oliveira et al. (2010) e Evangelista et al. (2011) que verificaram melhor desempenho monetário nas maiores lâminas de irrigação (100% da ECA e 100% do K<sub>c</sub> respectivamente).

Em relação ao fator “dose de P”, nota-se que o mesmo foi determinante para o desempenho econômico da atividade, uma vez que sua participação definiu viabilidade ou inviabilidade financeira do empreendimento analisado. O uso de dosagem igual a 720 Kg ha<sup>-1</sup> torna-se financeiramente inviável o empreendimento. Nesse sentido, estudos voltados à eficiência da absorção do nutriente, dosagens adequadas, bem como fontes alternativas menos onerosas é de fundamental importância para a sustentabilidade da cafeicultura na região sul de Minas Gerais.

## 6. CONCLUSÃO

- a) Em solos com ótimos níveis de fósforo o aumento nas lâminas de irrigação e doses crescentes de  $P_2O_5$  não interferem na produtividade acumulada do café beneficiado;
- b) Em termos de manejo da irrigação, o uso de frações de  $Kc_i$  correspondentes a lâminas de 40% da ideal, é o suficiente para alcançar a máxima produtividade e eficiência no uso da água;
- c) O uso do tratamento com dosagem de fósforo  $240 \text{ kg ha}^{-1}$  associado a lâmina de irrigação acima de 70% e os tratamentos com dosagem de fósforo  $720 \text{ kg ha}^{-1}$  apresentaram-se inviáveis economicamente;
- d) A menor dosagem aplicada associada à menor lâmina de irrigação proporcionaram a maior receita.

## REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2017. 520 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. **História**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=38>>.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage**, Rome, n.56, 1998.308 p.

ARÊDES, A. F. **Avaliação econômica da irrigação do cafeeiro em uma região tradicionalmente produtora**. 89 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2006.

ARÊDES, A. F.; PEREIRA, M. W. G.; DOS SANTOS, M. L. A irrigação do cafezal como alternativa econômica ao produtor. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 193-200, jun. 2010.

BATAGLIA, O. C. Resposta à adubação fosfatada na cultura do café. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 307-328.

BONOMO, R. et al. Produtividade de Cafeeiros Arábica Irrigados no Cerrado Goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, GO, v. 38, n. 4, p. 233-240, out/dez. 2008.

BONSER, A. M.; Lych, J. P.; SIEGLINDE, S. Effect of phosphorus deficiency on growth angle of basal roots in *Phaseolus vulgaris*. **New Phytologist**, v. 132, p. 281-288, 1996.

BRADY, N. C. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013. 685 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei n. 9.433: **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos: uma apresentação didática**. 8. ed. Campus, RJ, 1991. 266 p.

BURT, C. M. Fertigation: the next frontier. **Irrigation Business and Technology**, San Luis Obispo. v. 3, n. 4, p. 16-19, June 1995. Disponível em: <<http://www.itrc.org/papers/pdf/fertigationnextfrontier.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2016.

CAMARGO, M. B. P. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, 2010.

CARAMORI, P.H. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.3, p.486-494, dez. 2001. (Número especial Zoneamento Agrícola).

CEPEA. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - ESALQ/USP do Agronegócio**. São Paulo.2017. Disponível em: [http://cepea.esalq.usp. br/pi b/](http://cepea.esalq.usp.br/pi b/).

COELHO, G. et al. Custo de produção da cafeicultura irrigada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, Edição Especial, p. 1534-1540, dez. 2002.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

COMITÊ PARA INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL - CEIVAP. **Mecanismos e critérios de cobrança**. Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: < <http://www.ceivap.org.br/mecobranca.php>>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. 2015. **Levantamentos de Safra**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos. php?a=1253&t=2>> Acesso em: 23 Jul. 2016.

\_\_\_\_\_. 2016. **Levantamentos de Safra**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos. php?a=1253&t=2>> Acesso em: 23 Jul. 2016.

\_\_\_\_\_. 2017. **Levantamentos de Safra**. Disponível em: < <http://www.conab.gov.br/conteudos. php?a=1253&t=2>> Acesso em: 9 Jun. 2017.

COOPERATIVA REGIONAL DE CAFEICULTORES EM GUAXUPÉ LTDA. – COOXUPÉ. 2017. **Cotação do Café**. Disponível em: < <https://www.cooxupe.com.br/cotacoes/>> Acesso em: 9 Jun. 2017.

COSTA, A. R. et al. Número de ramos plagiotrópicos e produtividade de duas cultivares de cafeeiro utilizando irrigação por gotejamento. **Revista Ciência e Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 571-581, dez. 2010.



COSTA C. H. G. Fatores internos da gestão de riscos de produtores de café do sul e sudoeste de Minas Gerais. 112 p. Dissertação (Dissertação em Administração) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

COSTA, C. H. G. et al. Impacto da gestão de riscos em diferentes sistemas de produção da cafeicultura em Minas Gerais. **Revista Espacios**, v.35, n.5, p. 1-12, nov. 2014.

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.

DIAS, K. G. L. et al. Coffee yield and phosphate nutrition provided to plants by various phosphorus sources and levels. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 2, p. 110-120, abr. 2015.

DOMINGHETTI, A. W. **Disponibilização de fósforo em lavouras cafeeiras sob diferentes manejos de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

DOOREMBOS, J.; PRUITT, J. O. **Crop water requirement**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

EMATER. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais. 2017. **Valor de terra nua (VTN)**, Minas Gerais. Disponível em < [emater.mg.gov.br/portal.cgi?flagweb=novosite\\_pagina\\_interna&id=19167](http://emater.mg.gov.br/portal.cgi?flagweb=novosite_pagina_interna&id=19167)>.

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

EVANGELISTA, A. W. P. **Viabilidade financeira da produção de café irrigado em regiões aptas ao cultivo não irrigado**. Coffee Science, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 137-146, set. 2011.

FARIA, M. A.; REZENDE, F.C. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade - irrigação na cafeicultura**. Lavras, MG, 1998. 110 p.

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, jun. 2002.

FERNANDES, A. L. T. et al. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, jun. 2012.

FERNANDES, A. L. T. et al. Viabilidade técnica e econômica da irrigação localizada do cafeeiro, nas condições climáticas do Planalto de Araxá, MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 347 - 358, jul./set. 2016.

FONTES, R. E. **Estudo econômico da cafeicultura no Sul de Minas Gerais**. 94 p. Dissertação (Mestrado em Administração) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

FORATO, L. C.; ZANINI, J. R.; NATALE, W. Teor de fósforo e pH no bulbo molhado, com diferentes frequências de fertirrigação, utilizando ácido fosfórico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.436-444, maio/ago. 2007.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Planejamento de irrigação: Análise de decisão e investimentos**. Brasília, DF, 2005. 626p.

FUNDAÇÃO PROCAFÉ. **Boletim de avisos**. Varginha, 2002. 22p.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 10. ed. São Paulo, SP. Wesley, 2004. 745 p.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, dez. 2007.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **ITEM**, Brasília, n.73, p. 52-61, 1º, trim. 2007.

GUIMARÃES, P.T.G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa, MG, 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**, v.5, n. 2, p.137-147, maio/ago. 2010.

HOFFMANN, R. et al. **Administração da empresa agrícola**. São Paulo: Pioneira, 1978. 325p.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO. **Coffee Market Report**. June 2016. Disponível em: <<http://icocoffeeorg.tumblr.com/post/147286923545/coffee-consumption-increases-as-market-hits>>. Acesso em: 22 fev. 2017.

KARASAWA, S.; FARIA, M. A.; GUIMARÃES, R. J. Resposta do cafeeiro cv. Topázio MG-1190 submetido a diferentes épocas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 28-34, abr. 2002.

MINISTÉRIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. Informe Estatístico do Café. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatisticas>>. Acesso em: 20 de fev. 2017.

LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P.; 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.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1986. p. 136-274.

\_\_\_\_\_. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, 2006. 631p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**, Ed. UFV. Viçosa, MG, 2009. 486 p.

MEIRELES, E. J. L. et al. Zoneamento agroclimático: um estudo de caso para o café. **Informe Agropecuário**. Geotecnologias, Belo Horizonte, v.28, n.241, p.50-57, nov./dez. 2007.

MERA, A. C. et al. Regimes hídricos e doses de fósforo em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 2, p. 302-311, set. 2011.

MIRANDA, N. de O. et al. Causas da variação em produtividade e qualidade do melão em um Latossolo Vermelho-Amarelo fertirrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p.487-493, mar./abr. 2006.

NOVAIS, R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

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

OLIVEIRA, L. F. C. et al. **Coefficiente 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.

OLIVEIRA, E. L. et al. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro acaia considerando seis safras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 887-896, set./out. 2010.

PEREIRA, V. F. et al. Riscos e Retornos da Cafeicultura em Minas Gerais: uma análise de custos e diferenciação. **Revista Economia Sociologia Rural**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 657-678, out. 2010.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, M. B. P.; VILLA NOVA, N. A. Coffee crop coefficient for precision irrigation based on leaf area index. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 946-951, 2011.

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo em função da altitude e latitude**. São Paulo. v.9, n.3, p. 495-500. DEZ. 2001.

PINTO, C. G. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes primários para cafeeiros fertirrigados no primeiro ano pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 530-538, mar. 2013.

PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos/Anda, 2004. p. 605-664.

RAIJ, B. et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: **Instituto Agrônomo/Fundação IAC**, 1997. 285 p.

REIS, R. P. **Como calcular o custo de produção**. Lavras, MG. BioexCafé, 1999. 15 p.

\_\_\_\_\_. **Fundamentos de economia aplicada**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. 95 p.

REIS, R. P. et al. Custos de produção da cafeicultura no sul de Minas Gerais. **Organizações Rurais e Agroindustriais**, v. 3, n. 1, 2001.

REIS, T. H. P. et al. Soil Phosphorus Dynamics and Availability and Irrigated Coffee Yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 503-512, abr. 2011.

REIS, T. H. P. **Adubação fosfatada em doses elevadas para cafeeiros impactos na disponibilidade, frações de fósforo e na produtividade**. 170 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

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

ROBERTS, T. L. Improving nutrients use efficiency. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v.32, p.177-182, 2008.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. **Administração financeira: corporate finance**. São Paulo. Atlas, 684 p 1995.

SABBAG, O. J.; COSTA, S. M. A. L. Análise de custos da produção de leite: aplicação do método de Monte Carlo. **Extensão Rural**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 125-145, jan./mar. 2015.

SANTORO, B. de L. et al. Monitoramento da distribuição de uma solução no solo via fertirrigação por gotejamento. **Irriga**, v.18, n.3, p.572-586, out. 2013.

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, Aug. 2007.

SEDIYAMA, G.C. et al. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.501-509, jan. 2001a. (Número especial).

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

SILVA, A. L. da. FARIA, M. A. de. REIS, R. P. Viabilidade técnico e econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.37-44, abr. 2003.

SILVA, A. M.; COELHO, G.; SILVA, R. A. da. 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, set. 2005.

SOBREIRA, F. M. et al. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação em plantio adensado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 9-16, jan. 2011.

SOUSA, D. M.G. de; LOBATO, E.; REIN, A.T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.

SOUZA, J. L. M. **Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. 253 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

TEIXEIRA, L. A. J.; QUAGGIO, J. A.; MELLIS, E. V. Ganhos de eficiência fertilizante em bananeira sob irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 272-278, Mar. 2011.

VALADARES, S. V. et al. Yield gains of coffee plants from phosphorus fertilization may not be generalized for high density planting. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 905-911, Jun. 2014.

VIANA, J. G. A; SILVEIRA, V. C. P. Custos de produção e indicadores de desempenho: Metodologia aplicada a sistemas de produção de ovinos. **Custos e @gronegócio online**, v. 4, n. 3, p. 3-27, set/dez. 2008.

VICENTE, M. R. et al. Efeito de diferentes lâminas de irrigação nas variáveis de desenvolvimento e produção do cafeeiro irrigado por pivô central. **Irriga**, Botucatu. v. 20, n. 3, p. 528, out. 2015.

VIEIRA, G. H. S. et al. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 1, p. 53-61, jan/fev. 2011.

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, Vitória-ES, **Resumos...** Brasília: Embrapa Café, 2001, p.582-591.

VITTI, G. C.; BOARETO, A. E.; PENTEADO, S. R. **Fertilizantes e fertirrigação**. In: VITTI, G. C.; BOARETO, A. E. Fertilizantes Fluidos. Piracicaba: Potafos, 1994. cap. 06, p. 261-281.

## ANEXO A

## MATERIAL E MÉTODOS

**1.1 Caracterização geral, implantação, condução, tratos culturais:**

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.

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 1.** Caracterização física do solo da área experimental <sup>(1)</sup>.

Camada (m)	Análise textural			DS g cm <sup>-3</sup>	MAC (%)	MIC (%)
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)			
0-0,20	27	20	53	1,2	7,5	44,7
0,20-0,40	23	9	68	1,1	33,6	39,1
0,40-0,60	23	9	68	0,9	31,3	33,6

DS - densidade do solo; MAC - macroporosidade, MIC - Microporosidade.

**TABELA 2.** Caracterização química do solo antes da diferenciação dos tratamentos, na área onde foram montados os experimentos irrigados.

Característica	0-20	20-40	Característica	0- 20	20-40
pH (H <sub>2</sub> O)	5,10	4,93	Ca - /T%	20,3	13,25
P-rem – (mg l <sup>-1</sup> )	15,10	9,75	K - /T%	4,3	3,13
P - (mg dm <sup>-3</sup> )	31,78	8,64	V – (%)	28,8	19,20
K - (mg dm <sup>-3</sup> )	164,5	123,0	m – (%)	8,25	22,14
Ca - (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,01	1,32	Matéria org. - dag kg <sup>-1</sup>	3,59	3,24
Mg - (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,42	0,29	Zn – (mg dm <sup>-3</sup> )	8,63	5,73
Al - (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,40	0,68	Fe – (mg dm <sup>-3</sup> )	67,5	69,08
H + Al - (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	6,98	8,31	Mn – (mg dm <sup>-3</sup> )	29,0	23,08
T - (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	9,83	10,23	Cu – (mg dm <sup>-3</sup> )	6,43	5,08
Mg - /T%	4,27	2,81	B – (mg dm <sup>-3</sup> )	0,55	0,70

Na ocasião do plantio das mudas de café foram aplicadas 100 gramas de calcário dolomítico por metro de sulco. Posteriormente, um mês após o plantio e com base nos resultados da análise de solo, foi realizada a primeira aplicação de 25 gramas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/cova que representa 50% da dose recomendada no plantio por Guimarães et al. (1999). Como fonte de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) está sendo utilizado o Fosfato monoamônico – MAP purificado (com 9% N e 44% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em água) que fornece ainda o nitrogênio, em cobertura. Os micronutrientes estão sendo fornecidos pela adubação foliar, de acordo com recomendações baseadas no teor foliar, de forma a manter seus teores dentro da faixa ideal na planta (Guimarães et al. 1999).

A adubação de primeiro ano pós-plantio foi realizada com base nos resultados dos teores foliares de fósforo (Tabela 4) em relação ao considerado como ideal. Este procedimento foi adotado com objetivo de que ao se iniciar a diferenciação das doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> o teor no solo deste nutriente esteja equilibrado em toda a lavoura. Aos 10 meses após o plantio iniciou-se a adubação de primeiro ano pós plantio aplicando-se, via fertirrigação, os 50% restantes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> da dose recomendada para o plantio, (25 g/cova de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 20 g/cova de N e 20 g/cova de K<sub>2</sub>O, doses essas parceladas em 10 aplicações.



Até início dos tratamentos o teor de fósforo e demais nutrientes no solo e na planta foram monitorados com a finalidade de ao se iniciar a diferenciação das lâminas de irrigação e doses de  $P_2O_5$  as condições de fertilidade em toda a área experimental estivessem em níveis adequados e equilibrados.

**Tabela 3.** Teor de nutrientes em folhas de cafeeiros aos 10 meses de idade

Teor foliar de macronutrientes (g/kg)						Teor foliar de macronutrientes (mg/kg)				
N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
27,0	1,6	24,5	7,6	2,0	2,1	12,0	72,0	142,0	8,0	34,5

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  $K_2O$ ), 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 ( $3,0 L ha^{-1}$ ) e nas linhas de plantio foram alternadas capinas manuais com o herbicida pré-emergente oxifluorfen ( $4,0 L ha^{-1}$ ).

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

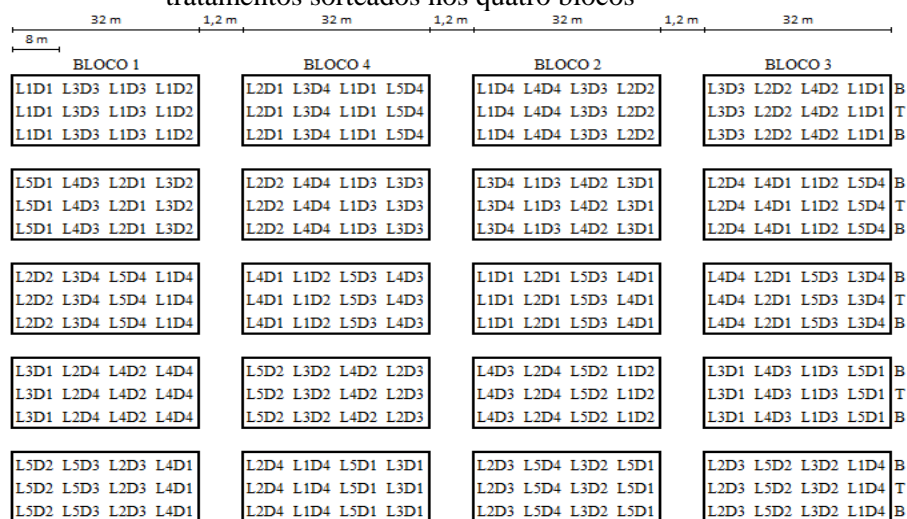
Sempre que necessário foi realizado o controle de formigas cortadeiras na área utilizando-se fipronil a 0,01% ( $10 g m^{-2}$ ), não sendo necessário o controle de outras pragas no experimento. Conforme a necessidade, foi feita a eliminação manual de ramos ortotrópicos (ladrões) das plantas.

## 1.2 Tratamentos, delineamento experimental:

Os tratamentos foram compostos por cinco lâminas de irrigação (0,4; 0,7; 1,0; 1,3 e 1,6 do  $Kc_i$  – coeficiente de cultura) e quatro doses de  $P_2O_5$ , sendo 0 (aplicação de fósforo somente na ocasião do plantio), 80  $kg\ ha^{-1}$ , que é a recomendação de Guimarães et al. (1999) para produtividades de 60  $scs\ ha^{-1}$ , 240 e 720  $kg\ de\ P_2O_5\ ha^{-1}$ .

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  $m^2$ , aproximadamente 0,56 ha (Figura 1).

Figura 1 - Croqui da área experimental mostrando a disposição dos tratamentos sorteados nos quatro blocos



L1 (0,4  $Kc_i$ ), L2 (0,7  $Kc_i$ ), L3 (1,0  $Kc_i$ ), L4 (1,3  $Kc_i$ ) e L5 (1,6  $Kc_i$ ), D1 (zero  $P_2O_5$ ), D2 (80  $kg\ ha^{-1}$  de  $P_2O_5$ ), D3 (240  $kg\ ha^{-1}$   $P_2O_5$ ), D4 (720  $kg\ ha^{-1}$   $P_2O_5$ ), B= linha de bordadura da parcela e T= linha útil da parcela (tratamentos)

### 1.3 Manejo da irrigação

Os valores do coeficiente de cultura ( $K_{ci}$ ) que originaram as lâminas de irrigação foram estimados pela metodologia proposta por Vila Nova et al. (2001). As lâminas aplicadas foram calculadas pela expressão:

$$L_i = (E_{t0} \cdot K_{ci}) \cdot K_i - PE$$

Em que:

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

$E_{t0}$  = valor acumulado da evapotranspiração de referência calculado pelo método de Hargreaves, no período entre duas irrigações sucessivas;

$K_{ci}$  = 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: = 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  $K_{ci}$  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  $K_{ci}$  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.

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

Em que:

$H_i$  = 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  $Kc_i$  de cada tratamento:

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

Em que:

$AF_i$  = 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.

#### **1.4 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  $K_2O$  foi utilizado o nitrato de potássio -  $KNO_3$  (13% de N e 44 % de  $K_2O$ ) que também fornece N. Em caso de complementação foi utilizado como fonte de N a ureia pecuária (maior pureza 45% de N).

### 1.5 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento com gotejadores (vazão nominal de  $3,75 \text{ L h}^{-1}$ ) 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.

### 1.6 Características avaliadas

a) Produtividade de café beneficiado (saca de 60 kg)

Em cada uma das oitenta parcelas experimentais foi colhida a produção de café do pano das onze plantas centrais. Após a determinação do volume foi tirada uma amostra de 10 litros que foi secada em terreiro de concreto. Após atingir a umidade de 11% foram determinados o peso e o volume do café em coco que foi armazenado por um período de até cinco dias, período após o qual as amostras foram beneficiadas e novamente foram determinados o peso, o volume e a umidade. A relação do volume inicial colhido no pano, o volume da amostra do café colhido no pano e o peso da amostra já beneficiada forneceu a produtividade em quilo de cada parcela, que foi convertida para sacas  $ha^{-1}$ . O café do chão de cada parcela experimental foi catado e seco. Após secagem o café foi lavado e novamente colocado para secar, em terreiro. Após atingir umidade de 11% foram determinados o peso e o volume do café em coco.

Posteriormente, foi feito o beneficiamento e foram determinados o peso e o volume do café beneficiado. O peso (kg) do café de varrição foi somado a produção de café do pano e forneceu a produtividade total de cada tratamento (sacas ha<sup>-1</sup>).

b) Eficiência da adubação fosfatada e do uso da água

Com os dados de produtividade de café beneficiado foi calculada a eficiência agronômica da adubação fosfatada no cafeeiro de acordo com a expressão a seguir:

- **Eficiência Agronômica do P Aplicado (EA)** = Produtividade de grãos (kg café beneficiado ha<sup>-1</sup>) / Dose de P (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> aplicado ha<sup>-1</sup>); resultado em kg grãos kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

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 (UEA)** = 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>.

## ANEXO B

### Análise estatística

Tabela 14 - Análise de variância para produtividade na safra 2013 do cafeeiro.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	1433,3064	477,7688	9,7560	0.0000
LAMINA	4	67,1191	16,7798	0,3430	0,8480
DOSE	3	164,9512	54,9837	1,1230	0,3475
<b>LAMINA*DOSE</b>	<b>12</b>	<b>1167,5828</b>	<b>97,2986</b>	<b>1,9870</b>	<b>0,0425</b>
Erro	57	2791,5135	48,9739		
Total corrigido	79	5624,4732			
CV(%):	63,09	Média geral:	11,9175	Nº Obs.	80

Tabela 15 - Análise de variância para o desdobramento das dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ) dentro de cada lâmina de irrigação na safra de 2013, referente a produção.

FV	LI	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
DOSE	0,4	3	128,6950	42,8983	0,8760	0,4576
<b>DOSE</b>	<b>0,7</b>	<b>3</b>	<b>556,2353</b>	<b>185,4118</b>	<b>3,7860</b>	<b>0,0149</b>
DOSE	1	3	253,6519	84,5506	1,7260	0,1706
DOSE	1,3	3	209,9400	69,9800	1,4290	0,2424
DOSE	1,6	3	184,0119	61,3373	1,2520	0,2979
Erro	57		2791,5135	48,9739		

Tabela 15 - Teste de significância (5% de probabilidade) para os parâmetros do modelo linear de segundo grau referente ao desdobramento das dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ) dentro da lâmina de irrigação correspondente ao Kc 0,7 no ano de 2013.

		R <sup>2</sup> 56,61%	t para	
Parâmetro	Estimativa	SE	H0:Par=0	Pr> t
b0	17,1973	3,0773	5,5880	<b>0</b>
b1	-0,0733	0,0293	-2,4980	<b>0,0154</b>
b2	0,0001	0,0000	2,5330	<b>0,0141</b>

Tabela 17 - Análise de variância para a EUA na safra 2013 do cafeeiro.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	27,4966	9,1655	7,25	0,0003
<b>LAMINA</b>	<b>4</b>	<b>56,7803</b>	<b>14,1951</b>	<b>11,2280</b>	<b>0,0000</b>
DOSE	3	3,7723	1,2574	0,995	0,4020
<b>LAMINA*DOSE</b>	<b>12</b>	<b>29,3245</b>	<b>2,4437</b>	<b>1,9330</b>	<b>0,0491</b>
Erro	57	72,0597	1,2642		
Total corrigido	79	189,4334			
CV(%):	68,74	Média geral:	1,6356	Nº Obs.	80

Tabela 18 - Teste de significância (5% de probabilidade) para os parâmetros do modelo linear de segundo grau referente a EUA do ano de 2013, em função das diferentes lâminas de irrigação.

		R <sup>2</sup> 98,46%	t para	
Parâmetro	Estimativa	SE	H0:Par=0	Pr> t
b0	5,1133	0,7564	6,7600	<b>0</b>
b1	-5,8371	1,6955	-3,4430	<b>0,0011</b>
b2	1,9995	0,8347	2,3950	<b>0,0199</b>



Tabela 19 - Análise de variância para o desdobramento das dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ) dentro de cada lâmina de irrigação, referente a EUA no ano de 2013.

FV	F.Kc	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
<b>DOSE</b>	<b>0,4</b>	<b>3</b>	<b>11,1311</b>	<b>3,7104</b>	<b>2,9350</b>	<b>0,0405</b>
<b>DOSE</b>	<b>0,7</b>	<b>3</b>	<b>15,7010</b>	<b>5,2337</b>	<b>4,1400</b>	<b>0,0099</b>
DOSE	1	3	3,5341	1,1780	0,9320	0,4299
DOSE	1,3	3	1,7253	0,5751	0,4550	0,7141
DOSE	1,6	3	1,0054	0,3351	0,2650	0,8500
Erro		57	72,0597	1,2642		

Tabela 20 - Teste de significância (5% de probabilidade) para os parâmetros do modelo linear de segundo grau referente a EUA do ano de 2013, na lâmina de irrigação correspondente ao Kc 0,7 em função das diferentes dosagens de fósforo ( $P_2O_5$ ).

F.kc 0,7	R <sup>2</sup> 56.72%		t para	
Parâmetro	Estimativa	SE	H0:Par=0	Pr> t
b0	2,8904	0,4944	5,8460	<b>0</b>
b1	-0,0123	0,0047	-2,6140	<b>0,0114</b>
b2	0,0000	0,0000	2,6520	<b>0,0104</b>

Tabela 21 - Análise de variância para produtividade na safra 2014.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	2433,8111	811,2704	7,7750	0,0002
LAMINA	4	145,0439	36,2610	0,3480	0,8447
DOSE	3	411,2914	137,0971	1,3140	0,2787
LAMINA*DOSE	12	1642,6802	136,8900	1,3120	0,2374
Erro	57	5947,2186	104,3372		
Total corrigido	79	5624,4732			
CV(%):	16,38	Média geral:	62,3531	N° Obs.	80

Tabela 22 - Análise de variância para a EUA na safra 2014.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	11,5194	3,8398	5,2530	0,0028
<b>LAMINA</b>	<b>4</b>	<b>579,0684</b>	<b>144,7671</b>	<b>198,0650</b>	<b>0,0000</b>
DOSE	3	2,5831	0,8610	1,1780	0,3262
LAMINA*DOSE	12	16,5442	1,3787	1,8860	0,0557
Erro	57	41,6617	0,7309		
Total corrigido	79	651,3768			
CV(%):	16,37	Média geral:	5,2234	N° Obs.	80

Tabela 23 - Teste de significância (5% de probabilidade) para os parâmetros do modelo linear de segundo grau referente a EUA do ano de 2014, em função das diferentes lâminas de irrigação.

<b>LAMINA</b>		R <sup>2</sup> 98.46%	t para	
Parâmetro	Estimativa	SE	H0:Par=0	Pr> t
b0	16,1243	0,5751	28,0370	<b>0,000</b>
b1	-18,0834	1,2892	-14,0270	<b>0,000</b>
b2	6,0868	0,6347	9,5900	<b>0,000</b>

Tabela 24 - Análise de variância para produtividade acumulada no triênio.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	2821,2985	940,4328	3,9390	0,0127
LAMINA	4	400,9628	100,2407	0,4200	0,7936
DOSE	3	962,7825	320,9275	1,3440	0,2691
LAMINA*DOSE	12	2201,3380	183,4448	0,7680	0,6795
Erro	57	13608,9066	238,7527		
Total corrigido	79	19995,2884			
CV(%):	11,5250	Média geral:	134,0978	N° Obs.	80

Tabela 25 - Análise de variância para a EUA no acumulado do triênio.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	4,7730	1,5910	3,2360	0,0287
<b>LAMINA</b>	<b>4</b>	<b>761,1110</b>	<b>190,2777</b>	<b>386,9660</b>	<b>0,0000</b>
DOSE	3	1,7325	0,5775	1,1740	0,3275
LAMINA*DOSE	12	5,5257	0,4605	0,9360	0,5181
Erro	57	28,0279	0,4917		
Total corrigido	79	801,1700			
CV(%):	11,71	Média geral:	5,9871	N° Obs.	80

Tabela 26 - Teste de significância (5% de probabilidade) para os parâmetros do modelo linear de segundo grau referente a EUA do acumulado do triênio, em função das diferentes lâminas de irrigação.

<b>LAMINA</b>		R <sup>2</sup> 98.64%	t para	
Parâmetro	Estimativa	SE	H0:Par=0	Pr> t
b0	18,5357	0,4717	39,2940	<b>0,000</b>
b1	-20,8583	1,0574	-19,7250	<b>0,000</b>
b2	7,0422	0,5206	13,5270	<b>0,000</b>

Tabela 27 - Análise de variância para a EA no acumulado do triênio do cafeeiro (*Coffea arabica*. L).

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	21,4762	7,1587	2,5680	0,0633
LAMINA	4	17,8152	4,4538	1,5970	0,1875
<b>DOSE</b>	<b>3</b>	<b>7910,4531</b>	<b>2636,8177</b>	<b>945,7610</b>	<b>0,0000</b>
LAMINA*DOSE	12	45,1112	3,7593	1,3480	0,2181
Erro	57	158,9182	2,7880		
Total corrigido	79	8153,7739			
CV(%):	11,86	Média geral:	14,0788	N° Obs.	80

Tabela 28 - Teste de significância (5% de probabilidade) para os parâmetros do modelo linear de primeiro grau referente a EA do acumulado do triênio, em função das diferentes doses de fósforo ( $P_2O_5$ ).

<b>DOSE</b>		R <sup>2</sup> 96,07%		t para	
Parâmetro	Estimativa	SE	H0:Par=0	Pr> t	
b0	21.690300	0,2733	79.359	<b>0,000</b>	
b1	-0,29275	0,0007	-40,870	<b>0,000</b>	