



PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) SOB DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO E DENSIDADES DE PLANTIO

LAVRAS-MG
2011

EDILSON LOPES SERRA

**PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) SOB
DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO E DENSIDADES DE
PLANTIO**

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

Orientador

Dr. Rubens José Guimarães

**LAVRAS-MG
2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Serra, Edilson Lopes.

Produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes regimes de irrigação e densidades de plantio / Edilson Lopes Serra. – Lavras : UFLA, 2011.

62 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Rubens José Guimarães.

Bibliografia.

1. Café. 2. Plantio adensado. 3. Cultivo adensado. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.7358

EDILSON LOPES SERRA

**PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) SOB
DIFERENTES REGIMES DE IRRIGAÇÃO E DENSIDADES DE
PLANTIO**

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

APROVADA em 17 de junho de 2011

Dr. Júlio César de Souza	EPAMIG
Dr. Antônio Marciano da Silva	UFLA
Dr. Rodrigo Luz da Cunha	EPAMIG
Dra. Myriane Stella Scalco	UFLA

Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

**LAVRAS-MG
2011**

À Ilidia Lopes Serra e Nelson Pereira Serra, meus pais.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Rubens José Guimarães, pela orientação, apoio, sugestões e incentivos essenciais para a realização deste trabalho.

À Dr^a Myriane Stella Scalco, pela coorientação, dedicação, disponibilidade, pelo material e ensinamentos transmitidos, também fundamentais na concretização desta pesquisa.

A minha esposa, Rosângela Elisei Serra, pelo apoio e que bravamente suportou minha ausência e meu silêncio.

Aos meus filhos, Marina Elisei Serra e Fabiano Elisei Serra, que também muito sentiram minha ausência.

Ao Prof. Dr. José Oswaldo de Siqueira, pela colaboração valiosa e pelo grande incentivo para a conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Augusto Ramalho de Moraes, pela fundamental contribuição nos trabalhos pertinentes à estatística.

A todos que, de alguma forma, contribuíram e colaboraram para esta caminhada, o meu muito obrigado.

RESUMO

Dentre as formas de se buscar o aumento de produtividade é a redução do espaçamento e o uso da irrigação, que deve ser feita com critérios que atendam a demanda das plantas por água sem onerar demasiadamente o custo de produção, mantendo também a sustentabilidade ambiental com economia de água. Neste sentido o objetivo desse trabalho foi avaliar estratégias de irrigação e densidades de plantio mais adequadas ao cultivo do cafeeiro, que maximizem a produtividade das lavouras na região sul de Minas Gerais. O ensaio foi conduzido em área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras/MG em delineamento de blocos casualizados, com esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. O plantio foi realizado utilizando-se mudas sadias de cafeeiro, cultivar “Rubi” MG-1192. Observou-se que o uso da irrigação proporciona aumentos expressivos de produtividade de café beneficiado em cultivos adensados de 10.000 a 20.000 plantas ha⁻¹, porém o critério de aplicação da lâmina de água utilizado pode definir o número ideal de plantas. Irrigações baseadas entre tensões de 60 kPa a 100 kPa são suficientes para atender a demanda hídrica do cafeeiro em plantios adensados. Por outro lado, o aumento no número de plantas de 10.000 para 20.000 compromete a sustentabilidade do cultivo pelo aumento desproporcional do consumo de água para irrigação com pequenos incrementos de produtividade. Para a tensão de irrigação de 60 kPa, na qual o aumento relativo supera os benefícios das demais densidade de plantio, o número de plantas indicado é de 13750 plantas ha⁻¹.

Palavras-chave: Café. Irrigação. Plantio adensado. Produtividade.

ABSTRACT

Among the ways of achieving increased productivity is the reduction of spacing and use of irrigation, which should be done with criteria that meet demand of plants for water without onerous production costs, while also maintaining environmental sustainability with water savings. In this sense the objective of this study was to evaluate strategies of irrigation and planting densities best suited to the cultivation of coffee, that maximize crops productivity in southern of Minas Gerais. The trial was conducted in experimental área, Department of Agriculture of the Federal University – Lavras/MG, in a randomized complete block design with a split-plot design with four replicates. The planting was carried out using seedlings healthy coffee plants, cultivate "Rubi" MG-1192. It was observed that the use of irrigation provides significant increases in productivity of coffee benefited in dense crops from 10.000 to 20.000 plants ha⁻¹, but the criterion for application of water slide utilized can define the optimal number of plants. Irrigations based between tensions of 60 kPa to 100 kPa are sufficient to meet the water requirements for coffee plantations in dense. On the other hand, the increase in the number of plants from 10.000 to 20.000 committed to the sustainability of farming by a disproportionate increase in water consumption for irrigation with small increases in productivity. For irrigation tension of 60 kPa, in which the relative increase outweighs the benefits of the remaining planting density, the number of plants indicated is 13.750 plants ha⁻¹.

Keywords: Coffee. Irrigation. Planting dense. Productivity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Representação gráfica da função de produção relativa ao aumento das lâminas aplicadas nos diferentes critérios de irrigação em lavouras cafeeiras com 10000 plantas ha⁻¹ 41
- Figura 2 Representação gráfica da função de produção relativa ao aumento das lâminas aplicadas nos diferentes critérios de irrigação em lavouras cafeeiras com 20000 plantas ha⁻¹ 42
- Figura 3 Representação gráfica das funções de produção relativas ao aumento na densidade de plantio para lavouras cafeeiras..... 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resultado da análise física do solo da área experimental ⁽¹⁾	30
Tabela 2	Resultados da análise química do solo da área experimental ⁽¹⁾	31
Tabela 3	Equações da curva característica de retenção da água no solo, segundo o modelo de van Genuchten (1980), para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm	34
Tabela 4	Lâminas aplicadas nos anos agrícolas (mm) (junho de um ano a junho do ano seguinte) em diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio (plantas ha ⁻¹)	37
Tabela 5	Análise de variância para produtividade média de café beneficiado (saca ha ⁻¹) em função de diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio	38
Tabela 6	Desdobramento do critério de irrigação dentro de cada densidade de plantio.....	39
Tabela 7	Relação entre quantidade de água aplicada (Lâmina de irrigação necessária para obtenção de produtividade máxima – LPM) e produtividade máxima alcançada entre as densidades de plantio de 5000, 10000 e 20000 plantas ha ⁻¹ , aumento relativo da quantidade de água aplicada (AR) e porcentagem de aumento de produtividade - AP	43
Tabela 8	Densidade de plantio para obtenção da produtividade máxima (DPM), produtividade máxima (PM), aumento relativo do número de plantas (ARNP) e aumento relativo de produtividade (ARP) em função do critério de irrigação utilizado.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Espaçamentos na cafeicultura	13
2.2	Funções de produção na agricultura	16
2.3	Efeitos do déficit hídrico no cafeeiro	19
2.4	Influência da irrigação nos parâmetros de produção do cafeeiro	22
2.5	Cultivo do cafeeiro sob irrigação	23
2.6	Manejo da irrigação	25
2.6.1	Teor de umidade do solo	27
2.6.2	Evapotranspiração	27
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	Caracterização geral do experimento	30
3.2	Instalação, condução e tratos culturais	30
3.3	Delineamento experimental	32
3.4	Tratamentos	32
3.5	Irrigação	33
3.6	Manejo da irrigação	33
3.7	Características avaliadas	35
3.7.1	Produtividade de café beneficiado (sacas ha ⁻¹)	35
3.8	Modelo de análise	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1	Consumo de água por irrigação nas diferentes densidades de plantio	36
4.2	Função de produção da irrigação	38
4.3	Função de produção da densidade de plantio	44

5	CONCLUSÕES	48
6	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	49
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXOS	60

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café, com uma produção em 2010 de 48,09 milhões de sacas beneficiadas de 60 quilos, ou seja, 35,67% de toda a produção mundial que nesse mesmo ano foi de 134,83 milhões de sacas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

Assim, a cafeicultura é uma das cinco mais importantes atividades agrícolas do Brasil e a mais importante do estado de Minas Gerais. Na previsão de safra de café para 2011, feita pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) são cultivados no Brasil 2.282.136, 00 hectares com 6.480.812.000 covas, sendo que em Minas Gerais são cultivados 1.138.650,00 hectares, ou seja, 49,89% de toda a área cultivada no Brasil, com 3.580.564.000 de covas e uma produção de 22,12 milhões de sacas, ou seja, 50,80% da produção nacional (CONAB, 2011).

Com toda essa importância as produtividades brasileira ($21,1 \text{ sacas.ha}^{-1}$) e mineira ($22,18 \text{ sacas.ha}^{-1}$) ainda são baixas para manter a sustentabilidade da atividade face as variações de preços no mercado internacional (CONAB, 2011).

Uma das formas de se buscar o aumento de produtividade é a redução do espaçamento, que propicia aumento do número de plantas por hectare e conseqüentemente, possível aumento da produção por área. Outra forma de se aumentar a produtividade da lavoura cafeeira é o uso da irrigação com critérios que venham a atender a demanda das plantas por água sem onerar demasiadamente o custo de produção, mantendo também a sustentabilidade ambiental com economia de água.

O objetivo nesse trabalho foi, por meio de análise técnica, estabelecer estratégias de irrigação e densidades de plantio mais adequadas ao cultivo do cafeeiro, que maximizem a produtividade das lavouras na região sul de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A cultivar Rubi, utilizada nesse estudo foi originada da hibridação entre a cultivar Mundo Novo e a Catuaí, pelo Instituto Agrônomo de Campinas e o híbrido resultante H-5010 foi introduzido e selecionado em Minas Gerais pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) e Universidade Federal de Lavras (UFLA), e a partir de 1995 foi lançada a linhagem Rubi MG 1192 para cultivo comercial (PIMENTA, 2003). Nesse programa de melhoramento procurou-se gerar progênies de cafeeiros mais produtivos e adaptados a diferentes ambientes, e com elevado vigor, sendo que a cultivar Catuaí Vermelho foi retrocruzada com a cultivar Mundo Novo (CARVALHO et al., 2006). Com este procedimento, tornou-se possível melhorar a cultivar Catuaí pela aproximação de 100% dos alelos de Mundo Novo, mantendo-se o alelo Ct da cultivar Caturra na condição homozigota, que confere porte baixo gerando a cultivar Rubi (LAMBERT, 2009).

A cultivar Rubi MG 1192 apresenta alto vigor vegetativo, não apresenta seca de ponteiros e por possuir porte baixo e arquitetura adequada, é indicada para plantios circulares e em sistema de renque adensado (NAZARENO et al., 2003).

2.1 Espaçamentos na cafeicultura

Para a escolha do espaçamento a ser utilizado em uma lavoura cafeeira a ser implantada, Guimarães, Mendes e Souza (2002) propõem atentar para os seguintes aspectos: se o alinhamento da lavoura coincidir com o caminhar do sol pode-se trabalhar com espaçamentos mais fechados na entre-linha; utilizar espaçamentos maiores nas entre-linhas para cultivares de porte alto em relação as cultivares de porte baixo; em maiores altitudes, utilizar maiores espaçamentos

para cultivares com tendência à maturação menos homogênea dos frutos; em solos, naturalmente, mais férteis preferir maiores espaçamentos em função de possível maior crescimento; o espaçamento escolhido deve permitir o livre trânsito das máquinas existentes, mas poderá ser menor se forem empregados tratos culturais manuais ou tração animal; no caso de adoção de podas programadas, pode-se utilizar espaçamentos menores; em terrenos inclinados que não permitem a mecanização, deve-se fazer opção pelo plantio em menor espaçamento; quanto menor a área disponível menor deverá ser o espaçamento com objetivo de otimização da área; no caso da utilização de culturas intercalares poderá ser indicado espaçamento maior entre-linhas de plantio.

Ainda segundo Guimarães, Mendes e Souza (2002), de maneira geral, o espaçamento na linha deve variar de 0,5 e 1,0 m dependendo da cultivar utilizada, independente do sistema utilizado, se adensado ou convencional. Já na entre-linha deve variar de 1,5 a 2,0 m no sistema adensado e de 3,0 e 4,0 m no caso de “livre crescimento”.

Em geral, o espaçamento escolhido deve permitir a obtenção de uma população entre 5.000 e 10.000 plantas por hectare. Porém, há cafeicultores que utilizam espaçamentos de até 1,0m na entre-linha por 0,5 m na linha de plantio, obtendo uma população de 20.000 plantas por hectare, modificando totalmente o microclima na lavoura e conseqüentemente seu crescimento e desenvolvimento (BARROS; BARBOSA; MATIELLO, 2000).

Alterações no solo também ocorrem com o uso de diferentes espaçamentos. Segundo Pavan e Chaves (1996) alguns processos que contribuem para acidificação contínua e aceleração da degradação da fertilidade do solo, como a erosão, lixiviação e oxidação da matéria orgânica são problemas dos plantios de cafeeiros em espaçamentos largos. Segundo os mesmos autores, no adensamento que julgam ser um sistema conservacionista por proteger o solo, há diminuição das perdas por erosão e lixiviação, diminuição da oxidação da

matéria orgânica, proporcionando melhor manejo dos resíduos e melhorando o sistema de reciclagem de nitrogênio (N) e outros nutrientes.

O sistema adensado também pode melhorar a capacidade produtiva do solo através de aumentos do pH, Ca, Mg, K, P e C orgânico, estabilidade de agregados, retenção de água e diminuição de Al tóxico, uma vez que proporciona maior aproveitamento da água e nutrientes, diminuindo as perdas e melhorando a eficiência do uso de fertilizantes (AUGUSTO et al., 2007).

Outros autores concordam com diversas vantagens do sistema adensado sobre o convencional ou largo, como Guarçoni (2009) e Santos (2005), que afirmam que no plantio adensado, ocorre maior proteção das raízes absorventes superficiais e menor lixiviação dos minerais, pois as exigências minerais não são proporcionais ao aumento da população em função da utilização mais eficiente dos fertilizantes, em razão do maior número de raízes por volume de solo.

Porém, Augusto et al. (2007) alertam para que os níveis nutricionais até a primeira safra para plantios adensados, não devem ser reduzidos e a aplicação do adubo deve ser calculada por planta, ou por metro de sulco, independentemente do espaçamento utilizado, para que haja melhor desenvolvimento inicial da planta.

Os cultivos tradicionais de café têm até 3.000 plantas ha⁻¹, os adensados, entre 3.000 e 7.000 plantas ha⁻¹, e os superadensados, mais de 7.000 plantas ha⁻¹ (THOMAZIELLO, 2001). É sabido que o aumento na população de plantas acarreta um acréscimo na produção de café por unidade de área nas primeiras safras. No entanto, a densidade ideal para máxima produção apresenta valores bastante diferenciados de acordo com a região e o tipo de condução, manual ou mecanizado, variando desde 3.333 covas ha⁻¹ em Porto Rico até 14.740 plantas ha⁻¹ na Colômbia. Já no Brasil e no Kenya, foram observados ser aproximadamente de 5.000 covas ha⁻¹ a densidade mais produtiva (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2007).

Apesar das muitas vantagens do sistema adensado em relação ao convencional (ou livre crescimento) aqui levantadas, não se deve perder de vista as muitas condições que podem ser encontradas em cada propriedade, como as citadas por Guimarães, Mendes e Souza (2002), lembrando-se ainda que dependendo dessas, o espaçamento mais largo pode ser o mais econômico pelo uso da mecanização dos tratos culturais e da colheita.

Vale lembrar também que na escolha do espaçamento ideal para cada situação deve-se atentar para o arranjo ideal de espaçamentos entre-linhas e na linha, pois para um mesmo número de plantas por hectare pode-se ter espaçamentos diferentes. No caso de mecanização da lavoura, por exemplo, deve-se diminuir o espaçamento na linha para que, com o mesmo número de plantas por hectare, se tenha um maior espaço entre as linhas.

2.2 Funções de produção na agricultura

A qualidade na agricultura está associada a certas manifestações físicas mensuráveis ou características detectáveis sensorialmente, capazes de atestar algum efeito benéfico ou positivo ao produto. O conceito moderno envolve um conjunto integrado pelo produto e seu contexto, incluindo todo o sistema produtivo correspondente num sentido amplo e não apenas algumas manifestações isoladas (NAGUMO, 2005).

A função de produção água/cultura descreve a relação entre a variação da produção da cultura em função da variação da quantidade de água aplicada. Segundo Liu et al. (2002) diversos pesquisadores têm demonstrado o uso de função de produção, objetivando avaliar as implicações técnicas e econômicas de diferentes níveis de água aplicada às culturas.

Segundo Frizzone (2005), as variáveis da função de produção água/cultura podem ser expressas de diferentes maneiras. A variável

independente “água” pode ser transpiração, evapotranspiração, lâmina de água aplicada durante o ciclo da cultura, estado da água no solo, principalmente. Porém, ao usuário da irrigação é mais interessante utilizar como variável independente a lâmina de água aplicada à parcela, mesmo que apenas parte desta seja utilizada no processo de evapotranspiração. Ainda segundo o autor, em geral, a variável dependente refere-se à produtividade agrícola comercial: grãos, frutos, matéria verde e matéria seca total, principalmente.

O uso eficiente da água é um índice bastante utilizado para a avaliação da eficiência na utilização da água pelas culturas. Ele normalmente é determinado pela relação entre a produtividade (kg ha^{-1}) e a quantidade de água utilizada pela planta (mm). Dentre os meios e técnicas adotadas para aumentar o índice de eficiência no uso da água em agricultura irrigada, o emprego da irrigação por gotejamento com o fornecimento de água com alta frequência e em baixo volume, tem-se mostrado adequado na elevação desse índice (CARVALHO, 2008).

A contribuição dada pela irrigação no aumento de produção de alimentos é um fato inegável. Atualmente, estima-se que 18% da área agrícola do mundo seja irrigada, a qual é responsável pela produção de aproximadamente 42% do montante de alimentos (CHRISTOFIDIS, 2001).

Em contrapartida, a crescente necessidade de água nas cidades e indústrias ameaça a utilização desse insumo nas atividades agrícolas. Pela constituição brasileira a ordem de prioridade para o uso da água tem em primeiro lugar o consumo humano, depois a indústria e por fim a agricultura (CARVALHO, 2008). Ainda assim o autor ressalta que o índice de eficiência no uso da água pode ser melhorado quando se consegue aumentar a produtividade sem aumentar a quantidade de água aplicada

A irrigação é uma metodologia utilizada não só em regiões com déficit hídrico, mas também em regiões tradicionais como o caso do sul de Minas

Gerais, uma vez que oferece garantia de produção em anos de baixa precipitação ou quando ocorrem veranicos nas fases críticas de desenvolvimento dos frutos. Devido à importância do sistema de irrigação na produção agrícola é imprescindível o planejamento adequado deste, tendo como base a necessidade de conhecimento de parâmetros edafoclimáticos locais, assim como características inerentes à cultura, de modo a minimizar os riscos de perda de produção por deficiência hídrica e promover o uso racional da água (KOBAYASHI, 2007).

Em torno de 1,54 bilhões de hectares de solos são utilizados para produção agrícola no planeta, dos quais cerca de 277 milhões estão sob o domínio de infraestrutura hídrica de irrigação. A área de 18,0% sob cultivo irrigado produz aproximadamente 44% da produção total agrícola, enquanto a agricultura de sequeiro responde pelo restante. Estima-se que o máximo possível de crescimento de forma sustentável da superfície irrigada seja de mais 195 milhões de hectares (CHRISTOFÍDIS, 2006).

É de relevância comentar que a água é fundamental na produção vegetal, uma vez que a mesma constitui 90% da massa da planta, atuando em seus processos fisiológicos e bioquímicos. Sendo assim, alterações na quantidade de água na planta afetam diretamente a produção agrícola (NOBEL, 1980).

As lâminas de irrigação fixas representam um método no qual a irrigação é realizada sempre que a evapotranspiração da cultura acumulada (ETca) atinge um valor pré-estabelecido, que vai depender, principalmente, do tipo de solo. Quanto maior a capacidade de retenção de água apresentada pelo solo, maior poderá ser o valor de ETca. Para fins práticos, esse valor pode variar entre 10mm, para solos com alto teor de areia e baixa capacidade de retenção de água; até 30mm, em solos que apresentem uma maior capacidade de armazenar água. Quanto maior o valor de ETca adotado, maior será o intervalo de irrigação (EMBRAPA, 2005).

Em vários experimentos, notam-se as respostas de produtividade do cafeeiro irrigado, porém, a lâmina ótima de irrigação tem variado muito, dependendo da região e da cultivar de café (SANTOS, 2005). Verifica-se, para a cultura do café, a alternância de altas e baixas produções, a qual é atribuída principalmente à alta utilização das reservas das plantas, em anos de safra alta, o que faz com que a produção, no ano seguinte, seja baixa (LAMBERT, 2009).

2.3 Efeitos do déficit hídrico no cafeeiro

De acordo com Soares et al. (2005), há três estádios em que a falta de água pode afetar com maior intensidade a produtividade do cafeeiro. São eles: estádio da pré-florada, normalmente entre os meses de junho a setembro, quando a falta de chuvas pode provocar a má formação dos botões florais, bem como a queda destes; estádio de expansão do fruto, entre os meses de outubro a dezembro, podendo haver queda de frutos ou pequeno crescimento do pergaminho, limitando o tamanho do grão; estádio de enchimento de grãos que vai do mês de janeiro a março, período em que o déficit hídrico causa a má formação dos grãos, apresentando grãos pequenos e frutos com lóculos vazios, os chamados grãos chochos.

Em consequência da falta de água no solo, o cafeeiro tem seu metabolismo alterado, sendo que ocorre depleção do fluxo de vapor e da transpiração, bem como da absorção de água e de nutriente pelo sistema radicular, especialmente pelas raízes absorventes e, conseqüentemente, diminuição da produção. Com a falta de água limitam-se as necessidades da planta, assim como sua taxa fotossintética e respiratória e o crescimento vegetal, embora seus efeitos na formação e maturação dos grãos dependam da duração, intensidade e estágio fenológico. Quando a deficiência de água ocorre após a abertura das flores, o cafeeiro predispõe-se à atrofia, abscesso e redução do

tamanho médio dos frutos, afetando adversamente a produtividade do café (CAMARGO et al., 1984; FREIRE; MIGUEL, 1984; KOBAYASHI, 2007; RENA; MAESTRI, 1986).

Em situação de baixa disponibilidade de água no solo as plantas reduzem a perda de água ao reduzir a condutância estomática. Ocorrem ajustes no metabolismo celular, por exemplo, via o acúmulo de substâncias orgânicas, tais como a prolina, o que contribui para a osmorregulação, em prol de favorecer a turgescência celular em situações de estresse hídrico (COSTA; MARENCO, 2007; SILVA et al., 2004).

O suprimento de água para a cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. As influências recíprocas entre esses componentes básicos tornam o sistema dinâmico e fortemente interligado, de tal forma que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da combinação desses três segmentos. À medida que o solo seca, as plantas absorvem água com mais dificuldade, porque aumenta a força de retenção e diminui a disponibilidade de água no solo. Entretanto, quanto maior a demanda evaporativa da atmosfera, mais elevada será a necessidade de fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera (CAVALCANTE; CAVALLINI; LIMA, 2009).

A inibição da expansão foliar é uma resposta precoce adaptativa ao déficit hídrico. Com a diminuição do conteúdo de água da planta, suas células tipicamente contraem-se e as paredes afrouxam. Esse decréscimo de volume celular resulta em pressão de turgor menor e na subsequente concentração de solutos nas células. A membrana plasmática torna-se mais espessa e mais comprimida, pois ela cobre uma área menor do que antes. Por ser a redução do turgor o mais precoce efeito biofísico significativo do estresse hídrico, as atividades dependentes do turgor, como a expansão foliar e o alongamento de raízes, são mais sensíveis aos déficits hídricos. A expansão foliar é um processo

movido pelo turgor e é extremamente sensível ao déficit hídrico (CAVALCANTE; CAVALLINI; LIMA, 2009).

Quando o déficit hídrico na planta é rápido, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se à nova situação de forma rápida. Desta forma, as plantas conduzidas em condições de irrigação, normalmente, apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico no solo. Entretanto, plantas submetidas ao déficit hídrico gradual ou deficiência do conteúdo de água no solo, no início do seu ciclo, mais facilmente se adaptam a esta condição. Já foi demonstrado que, durante um déficit hídrico na planta, os diversos ajustamentos fisiológicos determinam as respostas adaptativas anatômicas e morfológicas. Porém, essas respostas sofrem variações de acordo com a espécie, a cultivar, o estado de desenvolvimento das plantas e duração com a intensidade do déficit hídrico (SIMÕES, 2007).

O cafeeiro é uma planta perene, com a peculiaridade de completar o seu ciclo de produção em dois anos, sendo que no primeiro ano ocorre a emissão de ramos que serão os responsáveis pela formação das flores e frutos no ano seguinte. Portanto, no mesmo ano ocorre a emissão de novos ramos, e de flores e frutos nos ramos formados no ano anterior. Dessa forma, a deficiência hídrica pode afetar a safra atual e a do ano seguinte, o que torna imprescindível o conhecimento e a identificação da magnitude desse déficit no crescimento e, principalmente, na produção de café (CARVALHO, 2008).

No Brasil, o cafeeiro sempre foi cultivado em regiões onde o suprimento hídrico proveniente da chuva é suficiente para manter o crescimento e a produtividade das plantas. No entanto, a partir da década de 80 essa cultura tem ganhado novas áreas, as quais possuem características bem diferentes das tradicionais (CARVALHO, 2008).

As características vegetativas ou parâmetros de crescimento estão relacionados a aspectos do desenvolvimento das plantas, sendo os mais

importantes: o porte das plantas, no qual é avaliada a altura da mesma; a arquitetura da copa, sendo um dos pontos mais avaliados o diâmetro de copa; e o vigor, o qual pode ser medido pelo diâmetro do caule das plantas (MATIELLO et al., 2005).

Uma irrigação não é facultada e não deve ser conceituada apenas como um procedimento artificial para atender às condições de umidade de solo, visando à melhoria da produção agrícola, tanto em quantidade como em qualidade ou oportunidade. A mesma constitui um conjunto de operações necessárias ao atendimento das necessidades de água para as plantas, bem como eliminar seus excessos, que transcendem à relação solo-água-planta, agregando-se aí, o clima, o homem, além de outros campos do conhecimento da humanidade (SANTOS, 2006).

A prática da irrigação deve ser entendida, também, como uma técnica que pode gerar condições para que o material genético em campo expresse todo o seu potencial produtivo. Além disso, se bem utilizada, a irrigação é um instrumento muito eficaz no aumento da rentabilidade dos empreendimentos, permitindo a racionalização dos insumos, por exemplo, através da fertirrigação (HERNANDEZ, 2011).

2.4 Influência da irrigação nos parâmetros de produção do cafeeiro

Segundo Faria e Siqueira (2005), a irrigação não reduz o efeito bienal da produtividade, mas propicia aumentos na produtividade, tanto em regiões onde a deficiência hídrica coincide com estágio de frutificação, como em regiões aptas ao cultivo. Silva, Teodoro e Melo (2008), também afirmam que a irrigação não ameniza a bienalidade de produção do cafeeiro em relação às plantas cultivadas em sequeiro.

A produtividade e a renda são alguns dos parâmetros mais importantes relacionados às características produtivas do cafeeiro. A primeira é a principal delas quando se visa à seleção de variedades cultivadas, pois a quantidade de frutos produzida pelo cafeeiro, associada a um número adequado de plantas por área, resultará em safras mais rentáveis (MATIELLO et al., 2005).

O plantio de mudas de boa qualidade é essencial, pois condiciona ao cafeeiro uma carga genética adequada e influi, decisivamente, na formação da estrutura do sistema radicular e da parte aérea da planta com reflexos de longo prazo, o que influencia, positivamente ou negativamente, na produtividade (MATIELLO et al., 2005).

Em pesquisas realizadas por Lambert (2009), a aplicação de diferentes lâminas de irrigação influencia, significativamente, a produtividade do cafeeiro Rubi MG-1192, em 2003, 2004, 2005, 2006 e 2008. Esses resultados reforçam os encontrados por Karasawa (2001), que observou que o tratamento com reposição de água, equivalente a 120% da evaporação da água, produziu quase 15 vezes mais que a testemunha.

2.5 Cultivo do cafeeiro sob irrigação

Para o cafeicultor, a irrigação é uma prática que, além de incrementar a produtividade, pode proporcionar a obtenção de um produto diferenciado, de melhor qualidade e com perspectiva de bons preços no mercado (SILVA; FARIA; REIS, 2003).

Alves (1999), assim como Antunes et al. (2000) concordam perante a constatação de que há efeitos benéficos da irrigação, em relação ao aumento significativo da produtividade em cafeeiros irrigados, quando comparados aos não irrigados, além desse processo propiciar maior produtividade, possibilita a obtenção de um melhor tipo de produto e bebida.

Em períodos prolongados de seca ocorre aumento do déficit hídrico da planta, o cafeeiro começa a apresentar sintomas como murcha, desfolha, secamento dos ramos, morte das raízes e aparecimento de deficiências induzidas de nutrientes, acarretando em decréscimo de produtividade (JORDÃO; OLIVEIRA JÚNIOR, MENDONÇA, 1996).

Os principais fatores que afetam o sucesso da irrigação no cafeeiro são: o tipo de sistema utilizado, o dimensionamento adequado do sistema e o manejo adequado da irrigação. Dentre os sistemas de irrigação existentes, destacam-se a irrigação por aspersão convencional, pivô central e o gotejamento, sendo que os sistemas, preferencialmente, utilizados são os pressurizados por aspersão ou localizados (PAIVA, 2006).

Inovações na irrigação têm trazido resultados significativos nos últimos anos com o uso de tecnologia aplicada ao cultivo do cafeeiro. O pivô central com irrigação dirigida é uma adaptação do sistema tradicional, sendo um exemplo de tecnologia que está sendo desenvolvida. As linhas da lavoura são dispostas de forma circular e a irrigação é feita somente sobre os pés de café, racionalizando e economizando a distribuição de água, fertilizantes e defensivos. A irrigação localizada também deixou de focalizar, exclusivamente, a aplicação de água e passou a considerar mais a nutrição completa e a realização de alguns tratamentos fitossanitários da planta através da própria irrigação. A utilização de novas tecnologias na irrigação permite a racionalização no uso dos recursos e possibilita ganhos de produtividade, qualidade e padronização das culturas, e também, na eficiência energética e rentabilidade das atividades agrícolas (SOUZA, 2001).

2.6 Manejo da irrigação

A irrigação das culturas agrícolas consiste no suprimento de água para as plantas, na quantidade necessária e no momento adequado, para se obter economicamente, a produção ótima e melhor qualidade do produto (SOUZA; FRIZZONE, 2003).

A irrigação do cafeeiro tem sido realizada, preferencialmente, com uso de sistemas pressurizados por aspersão ou localizada (SOARES, 2001). Os sistemas de irrigação que aplicam água de forma localizada se caracterizam pela pequena utilização de mão de obra, pela automatização, manutenção de elevados níveis de água no solo para melhorar o desenvolvimento das culturas, capacidade de se adequar às condições de solos pedregosos, rasos e topografia acidentada, possibilidade de aplicação de produtos químicos em solução na água de irrigação e pela redução dos riscos de contaminação das culturas, sendo que todas essas razões contribuem para o crescimento desse processo no Brasil (MARTINS et al., 2007).

Considerando os diferentes estádios de desenvolvimento da planta e suas densidades de plantio, os benefícios da irrigação só podem ser alcançados em toda a sua plenitude para uma determinada cultura, quando o sistema de irrigação for utilizado com critérios de manejo que resultem em aplicações de água em quantidades compatíveis com as necessidades de consumo da cultura (PAVAN; CHAVES, 1996; SANTANA; OLIVEIRA; QUADROS, 2004).

Ponderando, a respeito de que em cafeeiros cultivados com densidades de 5.000 plantas por hectare ocorre a inexistência de problemas com deficiência hídrica, desde que se esteja em uma região recomendada para a cultura. Esse fato se dá devido ao sistema radicular atingir maior profundidade, à menor temperatura média do solo e ao melhor controle natural das plantas invasoras, o que resulta em menor evapotranspiração (KOBASHI, 2007).

O manejo da irrigação com aplicações frequentes condiciona o solo a manter-se com teor adequado de água, favorecendo o desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, possibilitando maior produtividade (SOUSA; COELHO; SOUZA, 1999).

Existem diferentes procedimentos que podem ser adotados como critérios apropriados para realização do manejo da água de irrigação, sendo a maioria baseada em medidas do "status" da água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera. O manejo racional da água de irrigação pode ser realizado via planta, solo, clima ou pela combinação destes (SILVA, 1999).

Os métodos que concernem o estado hídrico da planta avaliam: temperatura foliar, potencial de água nas folhas, resistência estomática, grau de turgescência das plantas, fluxo de seiva, dentre outros. Estes métodos são promissores, entretanto, devido à complexidade envolvida e também à falta de informações mais específicas, eles ainda não têm sido usados em grande escala (PEREIRA, 2006).

O manejo da irrigação via clima pode ser realizado pela reposição da água consumida pela cultura desde a última irrigação, ou ainda, por meio do balanço hídrico. O balanço hídrico considera todos os fluxos de água que entram e saem do volume de solo explorados pelas raízes. A irrigação, a precipitação e a ascensão capilar são as componentes de entrada no balanço hídrico e as perdas por percolação profunda, escoamento superficial e consumo de água pelas plantas são as componentes de saída (MARTINS et al., 2007).

O manejo de irrigação via solo pondera a umidade do solo, onde o sistema radicular da cultura está se desenvolvendo e pode ser feito usando tensiômetros, mas requerem manutenção adequada e frequente. Há ainda outros métodos, tais como sensores eletrométricos e por dissipação térmica, sonda de nêutrons, sonda enviroscan, TDR (reflectometria no domínio do tempo), tomografia computadorizada e atenuação de raios gama (SOARES, 2010).

Para o cafeicultor, a irrigação é uma prática que, além de aumentar a produtividade, pode proporcionar a obtenção de um produto diferenciado, de melhor qualidade (especial) e com perspectiva de bons preços no mercado (SOUZA, 2001).

2.6.1 Teor de umidade do solo

A qualidade do solo pode ser definida como a capacidade de produzir alimento em longo prazo, de forma sustentável, e de contribuir para o bem-estar dos seres vivos, sem deteriorar os recursos naturais básicos ou prejudicar o ambiente e os animais. Assim, uma boa qualidade do solo constitui-se no mais importante elo entre as práticas agrícolas e a agricultura sustentável (SANTANA; BAHIA FILHO, 2003).

A reserva de água no solo pode ser calculada pela diferença entre capacidade de campo ($C_c \text{ dm}^3/\text{dm}^3$) e ponto de murcha permanente ($P_{mp} \text{ dm}^3/\text{dm}^3$). A avaliação da capacidade de campo é feita por meio de sucção (tensão) de 0,03 a 0,05 MPa, em solos argilosos e de 0,006 a 0,01 Mpa em solos arenosos. Já a análise do ponto de murcha permanente é feita por meio de sucção (tensão) de 0,5 a 1,5 Mpa (GOMES; FILIZOLA, 2006).

2.6.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração é a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas. A evapotranspiração é importante para o balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, que poderá envolver o cálculo da necessidade de irrigação. O solo, as plantas e a atmosfera são componentes de um sistema fisicamente inter-relacionado e dinâmico, no qual os vários processos de fluxo estão interligados

como uma corrente. Neste sistema, é valioso e aplicável o conceito de potencial hídrico, ou seja, o fluxo de água ocorre dos pontos de maior potencial para os de menor potencial (o fluxo ocorre em direção do gradiente de potencial negativo) (OLIVEIRA, 2007).

Quando o solo se encontra com baixa disponibilidade de água, a evapotranspiração é restringida e a maior parte da energia disponível é utilizada para aquecimento do ar, da planta e do solo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

A evapotranspiração ocorre em função das condições meteorológicas, e através da mesma, vários parâmetros podem ser averiguados, tais como: evapotranspiração de referência (E_{To}), evapotranspiração máxima ou potencial (E_{Tm}) e, evapotranspiração real (E_{Tr}):

- a) Evapotranspiração de referência (E_{To}): é a evapotranspiração de uma cultura bem adaptada, selecionada para propósitos comparativos, em condições hídricas apropriadas para a cultura e região;
- b) Evapotranspiração máxima (E_{Tm}): é aquela a qual a quantidade de água que evapotranspira ocorre numa cultura verde, baixa, de altura uniforme, em que nenhum momento lhe falta água.
- c) Evapotranspiração real (E_{Tr}): ocorre em uma cultura bem adaptada, sob dadas condições meteorológicas, com adequada bordadura, com condições hídricas apropriadas, utilizada também para propósitos comparativos (MARCHIORI, 2006).

A evapotranspiração das culturas pode ser determinada através de lisímetros, calculada a partir de observações micrometeorológicas do sistema solo-planta-atmosfera ou estimada a partir de observações meteorológicas. O

modelo Penman-Monteith utiliza dados de observações meteorológicas e parâmetros da cultura para estimar a evapotranspiração (FERNÁNDEZ, 2008).

O consumo de água pelo cafeeiro, para melhor definição da lâmina de irrigação a ser aplicada, tem sido quantificado, principalmente, pelo uso de variáveis climatológicas como a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultura (OLIVEIRA, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização geral do experimento

O ensaio com cafeeiros, sob diferentes critérios de irrigação e diferentes densidades de plantio foi conduzido em área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras/MG. As coordenadas geográficas da área são: latitude de 21°15'S, longitude de 45°00'W e altitude média de 918 m. O clima do município é do tipo Cwa segundo Köppen (mesotérmico com verões brandos e suaves e estiagem de inverno). A precipitação e a temperatura média anual são de 1.460 mm e 20,4°C, respectivamente (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

3.2 Instalação, condução e tratos culturais

O plantio foi realizado em três de janeiro de 2001, utilizando-se mudas sadias de cafeeiro, cultivar “Rubi” MG-1192. O solo, um Latossolo Vermelho-Escuro Distroférico, foi analisado quanto às suas características físico-hídricas e químicas para instalação da cultura no campo. As características físicas, químicas e de fertilidade do solo, por ocasião do plantio, estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 Resultado da análise física do solo da área experimental⁽¹⁾

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

⁽¹⁾ DS = densidade do solo, MAC = macroporosidade, MIC = Microporosidade.

Tabela 2 Resultados da análise química do solo da área experimental⁽¹⁾

Características	Camada (m)			Características	Camada (m)		
	0-20	20-40	40-60		0-20	20-40	40-60
pH em água 1:2,5	5,8	5,2	4,9	Cobre (mg/dm ³)	2,7	2,0	2,2
P (mg/dm ³)	41,0	33,0	5,0	Mn (mg/dm ³)	2,2	1,5	1,0
K (mg/dm ³)	62,0	42	33,0	Ferro (mg/dm ³)	36,9	35,3	20,8
Ca (cmolc/dm ³)	4,9	2,3	1,5	S. B. (cmolc/dm ³)	7,2	3,5	2,3
Mg (cmolc/dm ³)	2,1	1,1	0,7	t (cmolc/dm ³)	7,2	3,8	2,9
Al (cmolc/dm ³)	0,0	0,3	0,6	T (cmolc/dm ³)	11,2	9,8	8,6
H + Al (cmolc/dm ³)	4,0	6,3	6,3	m (%)	0,0	7,9	20,8
S-sulfato (mg/dm ³)	97,3	161,8	201,0	V (%)	64,2	35,5	26,6
Boro (mg/dm ³)	0,4	0,4	0,3	M. O. (dag/Kg)	3,5	2,7	2,2
Zinco (mg/dm ³)	1,3	0,7	0,3				

⁽¹⁾ Análise realizado no laboratório do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. S = soma de bases, t = C. T. C. efetiva, T = C. T. C. a pH 7,0, m = saturação por alumínio, V = saturação por bases, M. O. = matéria orgânica.

Tratos culturais como desbrotas, foram realizados conforme a necessidade, durante o desenvolvimento da cultura. Não houve poda até a realização deste trabalho. A lavoura foi mantida livre de plantas daninhas, por meio da associação de métodos de manejo, durante as diferentes fases da cultura e tipo de espécies infestantes. O tratamento fitossanitário abrange a aplicação de fungicidas para controle da ferrugem e outras doenças, inseticidas e acaricidas para o controle do bicho-mineiro, broca, lagartas e ácaros. A calagem e adubações foram realizadas de acordo com análise de solo e de planta, seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999) para o cafeeiro. Considerou-se também a recomendação de Malavolta e Moreira (1997) de acordo com os diferentes sistemas de plantio e Santinato e Fernandes (2002) para a cultura irrigada. Anualmente, ao longo do período de avaliações foram realizadas análises do estado nutricional das plantas segundo critérios descritos em Malavolta (1981) e análises químicas do solo. Os micronutrientes foram fornecidos via adubação foliar. Os dados meteorológicos foram monitorados diariamente por meio de uma estação meteorológica local (μ Metos[®]).

3.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As cinco densidades de plantio localizadas nas parcelas e os cinco critérios de irrigação e a testemunha sem irrigação nas subparcelas, perfazendo um total de 25 tratamentos. O número de plantas na subparcela foi de 10 e cada parcela com 240 plantas. Entre cada subparcela de irrigação do tratamento do espaçamento de 1,0 x 0,5 m foi plantada uma linha de plantas de bordadura. O objetivo foi evitar uma possível interferência de um tratamento de irrigação sobre o outro, uma vez que neste menor espaçamento tal fato pode ocorrer, dependendo do tipo de gotejador (vazão), volume de água à aplicar e tipo de solo. Nas extremidades de cada parcela foram utilizadas linhas de dez plantas como bordadura lateral. O total de plantas na área experimental foi de 1530 plantas, sendo que o número de plantas úteis em cada subparcela foi de oito e nas parcelas de 192.

3.4 Tratamentos

Foram estudados quatro diferentes critérios determinantes do momento de irrigação em cinco densidades de plantio do cafeeiro, sendo os tratamentos: irrigações quando a tensão de água no solo atingiu valores próximos a 20 kPa (T1), 60 kPa (T2), 100 kPa (T3) e 140 kPa (T4), testemunha não irrigada (T0) estudados em densidades de plantio de 2500 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 4,0 x 1,0 m (D1); 3333 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 3,0 x 1,0 m (D2); 5000 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 2,0 x 1,0 m (D3); 10000 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 2,0 x 0,5 m (D4) e 20000 plantas ha⁻¹ no espaçamento de 1,0 x 0,5 m (D5).

3.5 Irrigação

O sistema de irrigação constou de uma unidade central de controle (sistema de bombeamento, filtros de areia e tela, injetor de fertilizantes, manômetros e conexões), linha principal de tubos PVC, PN80, linhas de derivação de PVC, PN 40, linhas laterais com tubo flexível de polietileno, PN 40, gotejadores e registros. O sistema foi avaliado, periodicamente, quanto à uniformidade de distribuição de água. A irrigação de cada tratamento em cada densidade foi controlada por meio de registros referentes às quatro repetições instalados numa caixa de alvenaria. Foram utilizados gotejadores de vazão 3,78L/h, espaçados de 0,3m nas linhas.

3.6 Manejo da irrigação

A umidade do solo foi indiretamente monitorada, através do uso de tensiômetros e blocos de resistência elétrica porosos. A descrição, princípios de funcionamento, forma de utilização dos tensiômetros são relatadas por Gomide (1998) e Silveira e Stone (1994) e dos blocos porosos por Gomide (1998).

Nos tratamentos em que as tensões aplicadas superam àquelas indicadas para o uso do tensiômetro (80 kPa) foram utilizados os blocos de resistência porosos (Water Mark-Irrrometer®), que foram, previamente, calibrados para as condições de solo específicas do experimento. De acordo com Gomide (1998), Marouelli, Silva e Silva (1996) e Silveira e Stone (1994), acima de 80 kPa pode ocorrer entrada de ar na cápsula do tensiômetro, acarretando erro na leitura. Os tensiômetros e os blocos porosos foram instalados às profundidades de 10, 25, 40, 60, 80 e 100 cm. A irrigação de cada subparcela ocorreu quando a leitura de tensão de água à profundidade de 25 cm indicou a tensão de irrigação relativa àquele tratamento. As leituras para tensões até 80 kPa foram feitas através de um

tensímetro digital e acima desse valor através de um leitor digital de resistência elétrica, devidamente calibrado para as tensões estudadas. A correspondência entre tensão de água no solo e umidade foi obtida através das curvas características de umidade do solo, determinadas em laboratório para as diferentes profundidades consideradas (Tabela 3).

Tabela 3 Equações da curva característica de retenção da água no solo, segundo o modelo de van Genuchten (1980), para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm

Camada de solo (cm)	Equação da curva característica	R ²
0-20	$\theta = 0,232 + \frac{0,449}{\left[1 + (0,044752 \cdot \psi_m)^{1,583143}\right]^{0,368345}}$	0,993
20-40	$\theta = 0,232 + \frac{0,498}{\left[1 + (0,065647 \cdot \psi_m)^{1,561641}\right]^{0,359648}}$	0,991
40-60	$\theta = 0,206 + \frac{0,446}{\left[1 + (0,135556 \cdot \psi_m)^{1,506160}\right]^{0,336060}}$	0,988

Os tensiômetros e os blocos porosos, para avaliação dos diferentes valores de tensão, foram instalados na fileira de plantas cerca de 10 cm afastados da base do caule. As lâminas de irrigação foram calculadas considerando-se as leituras obtidas nos tensiômetros e blocos porosos, nas profundidades de 10, 25, e 40 cm até as plantas atingirem pleno desenvolvimento vegetativo e a partir daí considerou-se ainda as leituras na profundidade de 60 cm.

3.7 Características avaliadas

3.7.1 Produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹)

A colheita foi feita quando restavam no máximo cerca de 20% de frutos ainda verdes, por meio de derrixa no pano, em cada subparcela. A produção do café colhido por varrição também foi quantificada na análise, separadamente. Ao final foi obtida a produtividade em sacas ha⁻¹ para cada tratamento de irrigação nas diferentes densidades de plantio.

3.8 Modelo de análise

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (BANZATTO; KRONKA,1988) utilizando o programa SISVAR® (FERREIRA, 2000). Quando significativo, as médias foram ajustadas a um modelo de regressão não linear de segunda ordem (HEXEM; HEADY, 1978), que permitiu obter as funções de produção (FRIZZONE, 1998), estabelecendo uma relação técnica entre os fatores estudados “lâminas de irrigação aplicadas pelos diferentes critérios” versus “produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹)” e “densidades de plantio” versus “produtividade de café beneficiado (sacas ha⁻¹)”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Consumo de água por irrigação nas diferentes densidades de plantio

As lâminas médias de água aplicadas (mm) em cinco anos agrícolas e correspondentes a cada critério de irrigação estão representadas na Tabela 4. Esses valores decresceram em função do aumento da tensão de água do solo, adotado para irrigações e em função da redução do número de plantas na área. Embora, o volume de água aplicado por planta seja menor é necessário considerar (MARIN, 2003) as diferenças de área foliar entre sistemas de plantio em espaçamento largo e reduzido, pois os plantios adensados geram um aumento no consumo de água por unidade de área, a despeito das alterações micrometeorológicas. Por outro lado, embora existam afirmativas de que umidade relativa no interior da lavoura tende a aumentar com o incremento na densidade de plantio, possivelmente devido à aerodinâmica mais suave do dossel nos plantios adensados há uma diminuição na taxa de evapotranspiração nestes sistemas (SANTOS, 2003). Assim, não necessariamente o critério de irrigação, no qual se aplica maior lâmina de água é aquele que proporciona maior desenvolvimento e produção nos plantios adensados.

As reduções das lâminas aplicadas proporcionadas pelo aumento gradativo nos valores da tensão da água do solo, dentro de cada densidade de plantio, (Tabela 4) de certa forma eram previsíveis. Em irrigações mais frequentes (20 e 60 kPa) foram aplicadas lâminas menores em relação a irrigações mais espaçadas (100 e 140 kPa), porém quando contabilizadas ao final de um ciclo representaram um maior consumo de água para irrigação. Nas densidades de 2500, 5000 e 20000 plantas ha⁻¹ observou-se comportamento atípico em relação às lâminas aplicadas nas tensões de 60 e 100 kPa. Nessas densidades foram aplicadas maiores lâminas em tensões de 100 kPa em relação a

tensão de 60 kPa. Tal comportamento se explica pela diferença entre instrumentos utilizados para medir a tensão da água do solo. Para tensões de 20 e 60 kPa foram utilizados tensiômetros, enquanto que para tensões de 100 e 140 kPa foram utilizados blocos porosos WaterMark®. Esse último, embora alguns pesquisadores indiquem para monitoramento de umidade do solo em uma faixa mais ampla de umidade do solo (HANSON et al., 2000), com valores variando de 0-200 kPa (VIELMO, 2008) e inclusive maiores valores de tensão de até 600 kPa (ALLEN, 2000), outros trabalhos relatam que esse instrumento apresenta melhor precisão na mesma faixa de tensão do tensiômetro (THOMPSON et al., 2005), ou seja, até 80 kPa.

Para análise técnica dos critérios de irrigação utilizados para manejo das lavouras cafeeiras irrigadas, além da lâmina de aplicação, que pode representar economia no consumo de água e energia é necessário analisar sob o ponto de vista de maximização da produtividade, sem prejuízo as características qualitativas que pesam na comercialização final do produto.

Tabela 4 Lâminas aplicadas nos anos agrícolas (mm) (junho de um ano a junho do ano seguinte) em diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio (plantas ha⁻¹)

Densidade de plantio (plantas ha ⁻¹)	Lâminas aplicadas em cada critério (mm)			
	20 kPa	60 kPa	100 kPa	140 kPa
20000 - (1,0 x 0,5 m)	737,6	477,5	566,5	279,6
10000 - (2,0 x 0,5 m)	409,8	250,8	194,1	115,6
5000 - (2,0 x 1,0 m)	347,4	177,4	209,2	91,7
3333 - (3,0 x 1,0 m)	214,9	126,0	124,7	90,0
2500 - (4,0 x 1,0 m)	154,9	97,6	108,3	56,4
Precipitação (mm)	Anos Agrícolas			
	2003	2004	2005	2006 2007
	1326	1460	1526	1461 1429

4.2 Função de produção da irrigação

De acordo com a análise de variância da produtividade, em função das lâminas de irrigação aplicadas nos diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio (Tabela 5), observa-se que houve influência do critério de irrigação em função do número de plantas na área. Essa interação entre os fatores estudados pode ser explicada em função da alteração no microclima que ocorre em cada sistema de plantio, e conseqüentemente interfere na evapotranspiração da cultura e demanda hídrica. A partir daí as mudanças no padrão de desenvolvimento vegetativo e produção são esperadas.

Tabela 5 Análise de variância para produtividade média de café beneficiado (saca ha⁻¹) em função de diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Densidade	4	32836,97	8209,24	131,12	0,00**
Bloco (Densidade)	15	1107,56	73,83	1,18	0,31
Irrigação (Densidade)	20	7496,59	374,82	5,98	0,00**
erro	60	3756,48	62,60		
Total	99	45197,62		CV(%)= 13,28	

A redução do espaçamento de plantio em lavouras cafeeiras é uma prática que se tornou comum entre cafeicultores. Nos plantios adensados, ocorrem variações morfológicas e bioquímicas nas folhas, as quais aumentam a eficiência do aparelho fotossintético do cafeeiro (MARTINEZ et al., 2007), contabilizando ganhos em produtividade, com maior eficiência na utilização da radiação solar, da água e dos minerais e, possivelmente, melhor controle das plantas invasoras e algumas pragas como o bicho-mineiro, *Leucoptera coffeella*, (Guérin Menéville, 1842) (Lepidoptera:Lyonetiidae), (PEREIRA et al., 2007). Já, em plantios largos ou a pleno sol (ALVES; LIVRAMENTO, 2003), as folhas apresentam maior teor de cera epicuticular, o que proporciona maior capacidade de reflexão da luz representando uma característica benéfica de adaptação. Tal

comportamento evita o excessivo aumento de temperatura foliar ou foto-oxidação das moléculas de clorofila. Além, das peculiaridades de cada cultivar, condições de clima e solo, dentre outras, qualquer alteração no padrão de desenvolvimento vegetativo nos dois ambientes (espaçamentos largos e/ou adensados) podem ter reflexos no processo fisiológico, ligado à produção do cafeeiro.

Frente à influência observada procedeu-se, primeiramente, ao desdobramento do critério de irrigação dentro de cada densidade de plantio (Tabela 6), para o qual foi verificada significância apenas para os plantios de 10000 e 20000 plantas ha⁻¹.

Tabela 6 Desdobramento do critério de irrigação dentro de cada densidade de plantio

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Irrigação: 2500	4	377,97	94,492	1,51	0,21
Irrigação: 3333	4	194,88	48,72	0,78	0,54
Irrigação: 5000	4	488,60	122,15	1,95	0,11
Irrigação: 10000	4	2865,93	716,48	11,44	0,00**
Irrigação: 20000	4	3569,20	892,30	14,25	0,00**
Erro	60	3756,49	62,60		

No caso de plantios mais largos, com maior espaçamento, tanto na linha de plantio quanto entre linhas, a irrigação pode não ter influenciado a produtividade média das cinco safras em função da variabilidade de produção ocorrida, “bienalidade”. No período de cinco anos de avaliação foram computadas duas safras de baixa produtividade e três de alta produtividade. Porém, a queda de produção, especialmente nos maiores espaçamentos foi considerável (Tabela 1A), contribuindo para a queda da produtividade média de café beneficiado. A bienalidade em plantios mais largos ocorreu de forma mais acentuada, em função da alta produção por planta em anos de alta produtividade. Por outro lado, nas três primeiras safras de cafeeiros não irrigados ocorreu um

aumento gradativo de produtividade, enquanto plantas irrigadas produziram acima da média já na primeira safra, provocando redução drástica de produtividade na safra posterior e assim, sucessivamente. Portanto, o que muitos pesquisadores relatavam como um provável benefício da irrigação na cafeicultura, neste estudo não foi comprovado, ou seja, obtém-se aumentos de produtividade por meio do uso da irrigação, porém essas maiores produtividades, em anos de alta produção, levam também a maiores bienalidades nos anos de baixa. Pelo contrário, corroborando com estudos publicados por Silva et al. (2006) e outros (FARIA; SIQUEIRA, 2005; SILVA; TEODORO; MELO, 2008), ficou demonstrado que o fornecimento de água ao cafeeiro de forma ininterrupta, via irrigação, pode acentuar os efeitos da bienalidade e não minimizar como relatado por alguns autores (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007; LIMA; CUSTÓDIO; GOMES, 2008). Considerando que a tecnologia da irrigação já faz parte de um cenário promissor para dar sustentabilidade ao agronegócio café e que sua adoção já não se limita a regiões marginais quanto à deficiência hídrica, infere-se que: todas as limitações quanto ao seu uso devem ser focadas com interesse pela pesquisa, de forma que os benefícios já consolidados superem os obstáculos ainda existentes; o manejo da água e demais insumos utilizados nas lavouras cafeeiras irrigadas contabilizarão benefícios, não só de ordem econômica, mas principalmente de ordem ambiental que garantam um futuro, no qual predomine o equilíbrio no sistema agrícola.

Para as densidades de 10000 e 20000 plantas ha⁻¹ o uso da irrigação e o critério que define o momento de irrigar e proporcionam aplicações diferenciadas de água, também definem padrões de resposta diferenciados para a produção do cafeeiro.

O uso da análise de regressão para obtenção da função de produção permitiu verificar em qual lâmina ou faixa de lâmina aplicada a produtividade do cafeeiro foi maximizada pelo uso da irrigação (Figura 1). As produtividades

médias de café beneficiado em função das lâminas aplicadas para as densidades de 10000 e 20000 plantas ha⁻¹ (Figuras 1 e 2) foram adequadamente ajustadas a uma equação de segundo grau. Os coeficientes de determinação foram de 0,982 e 0,961 para ajuste das densidades de 10000 plantas ha⁻¹ e 20000 plantas ha⁻¹, respectivamente.

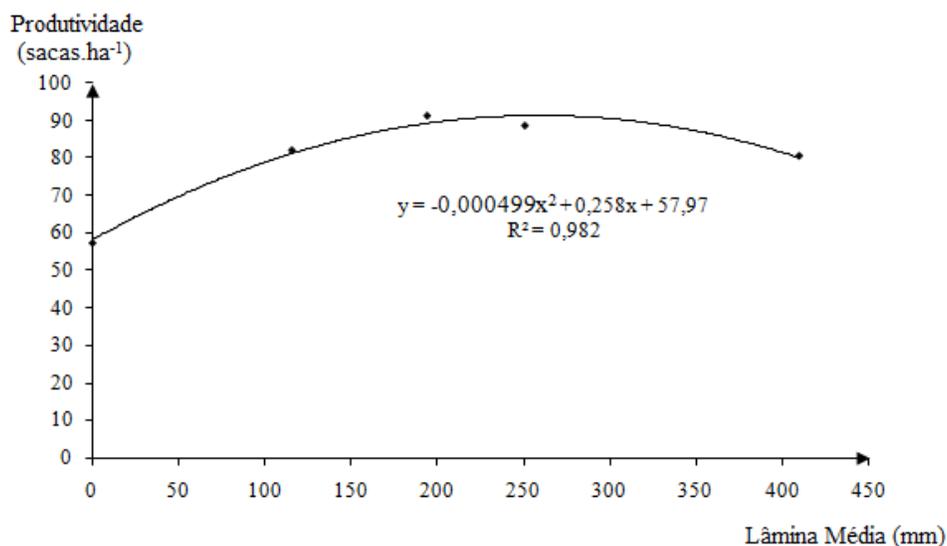


Figura 1 Representação gráfica da função de produção relativa ao aumento das lâminas aplicadas nos diferentes critérios de irrigação em lavouras cafeeiras com 10000 plantas ha⁻¹

A função de produção ilustrada na Figura 1 indica que a produtividade média aumentou de forma quadrática, atingindo um valor máximo de 91,3 sacas ha⁻¹ com a aplicação de uma lâmina média de 258,5 mm a partir da qual a aplicação de maiores lâminas já não promoveu acréscimos de produtividade. Ao contrário, lâminas acima deste valor podem provocar decréscimos de produção além de onerar os custos de aplicação de água e energia elétrica. A lâmina para a qual foi obtida a máxima produtividade corresponde a valores próximos da lâmina média aplicada nas cinco safras (250,8 mm) para o critério de irrigação baseado em tensões próximas a 60 kPa.

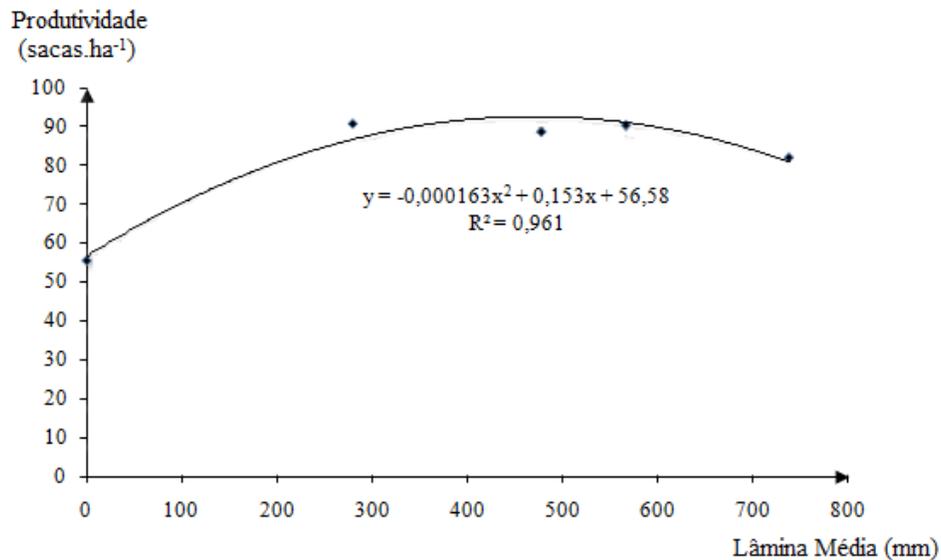


Figura 2 Representação gráfica da função de produção relativa ao aumento das lâminas aplicadas nos diferentes critérios de irrigação em lavouras cafeeiras com 20000 plantas ha⁻¹

Para a densidade de 20000 plantas ha⁻¹ também foi observado (Figura 2) que a produtividade aumentou de forma quadrática aplicando-se lâminas crescentes de água até 469,32 mm, lâmina de irrigação na qual a produtividade máxima obtida foi de 92,48 sacas ha⁻¹. A partir da de 469,32 mm de lâmina de irrigação, a produtividade sofre reduções, indicando que maiores aplicações de água podem ser prejudiciais à lavoura.

Como já relatado anteriormente, de acordo com os resultados obtidos percebe-se um aumento no consumo de água utilizada na medida em que se aumentou a densidade de plantio. Visando demonstrar a relação entre o aumento da produção e a lâmina de água aplicada elaborou-se a Tabela 7, com as três densidades de plantio que apresentaram maior influência do critério de irrigação (5000, 10000 e 20000 plantas.ha⁻¹). Para elaboração da Tabela 7 foram usados os valores de lâminas de irrigação correspondentes aos critérios de irrigação para produtividade máxima.

Tabela 7 Relação entre quantidade de água aplicada (Lâmina de irrigação necessária para obtenção de produtividade máxima – LPM) e produtividade máxima alcançada entre as densidades de plantio de 5000, 10000 e 20000 plantas ha⁻¹, aumento relativo da quantidade de água aplicada (AR) e porcentagem de aumento de produtividade - AP

Dens. (pls. ha ⁻¹)	LPM (mm)	Prod. Máx. (sacas.ha ⁻¹)	AR (%)	AP (%)
5000	181,83	61	-	
10000	258,51	91,31	42,17	49
20000	469,32	92,48	81,54	1,28

A partir das relações contidas na Tabela 7 observa-se que o aumento relativo da quantidade de água aplicada para produtividade máxima entre as densidades de plantio 5000 e 10000 foi de 42,17%, o que resultou em um aumento na produtividade de 49%. Já o aumento relativo da lâmina de água aplicada para a produtividade máxima entre a densidade de plantio 10000 e 20000 foi de 81,5%, o que resultou em um aumento de apenas 1,28% na produtividade. Em suma, a quantidade de água aplicada aumentou de forma bastante significativa entre as diferentes densidades de plantio, aumento este que não influenciou o ganho de produtividade entre as densidades de 10000 e 20000 plantas ha⁻¹. Assim, essa maior quantidade de água necessária para os cafeeiros em densidade de 20.000 poderia causar danos ambientais pela lixiviação de água e nutrientes abaixo da região do sistema radicular dos cafeeiros.

Algumas ponderações podem ser importantes em relação à escolha de um ou outro sistema de plantio, o emprego da técnica de irrigação e manejo adotados. Na prática, plantios superadensados de 20000 plantas ha⁻¹, em livre crescimento, apresentam limitações ao longo de um número maior de safras, tais como: maior custo de implantação da lavoura (ASSIS, 2010); exigência para implantação com um planejamento consistente, analisando fatores como estrutura da propriedade, declividade e exposição do terreno, tipo de solo, espaçamento e cultivar recomendada (CARVALHO et al., 2006); com um programa de poda (RENA et al., 1998); dificuldade de mecanização e condução

da lavoura (CARVALHO et al., 2006); queda de produtividade ocorrida após o fechamento da lavoura devido à morte de ramos do terço médio e inferior (MATIELLO et al., 2005) e diminuem a área útil produtiva de cada planta, representada pelo diâmetro e o comprimento da copa (THOMAZIELLO et al., 1998).

Portanto, neste tipo de sistema agrícola o uso da irrigação por gotejamento pode não ser uma alternativa adequada, pois pode se tornar onerosa e com consumo desproporcional de água. Plantios com populações tão altas podem ser uma alternativa na agricultura familiar e pequenas propriedades, ou ainda em área de difícil mecanização (CARVALHO et al., 2006). O uso da irrigação, neste caso, pode ser feito utilizando-se sistemas mais simples, como sulcos, dependendo da declividade. Isso não dispensa os cuidados para que a água seja fornecida no momento e na quantidade adequados.

Esse trabalho contribui na compreensão do comportamento do cafeeiro sob plantio superadensado e elucida muitos questionamentos, e ao mesmo tempo abre novas linhas de pesquisa quanto à fisiologia de desenvolvimento e produção do cafeeiro.

4.3 Função de produção da densidade de plantio

O aumento da densidade de plantio em cada critério de irrigação ajustou-se a um polinômio de segundo grau (Figura 3), indicando que esse aumento é viável em populações inferiores a 20000 plantas ha⁻¹, pois existe uma forte tendência de queda de produção neste ponto. Essa queda é facilmente explicada, pois com o fechamento da lavoura ocorre uma redução de fotossíntese.

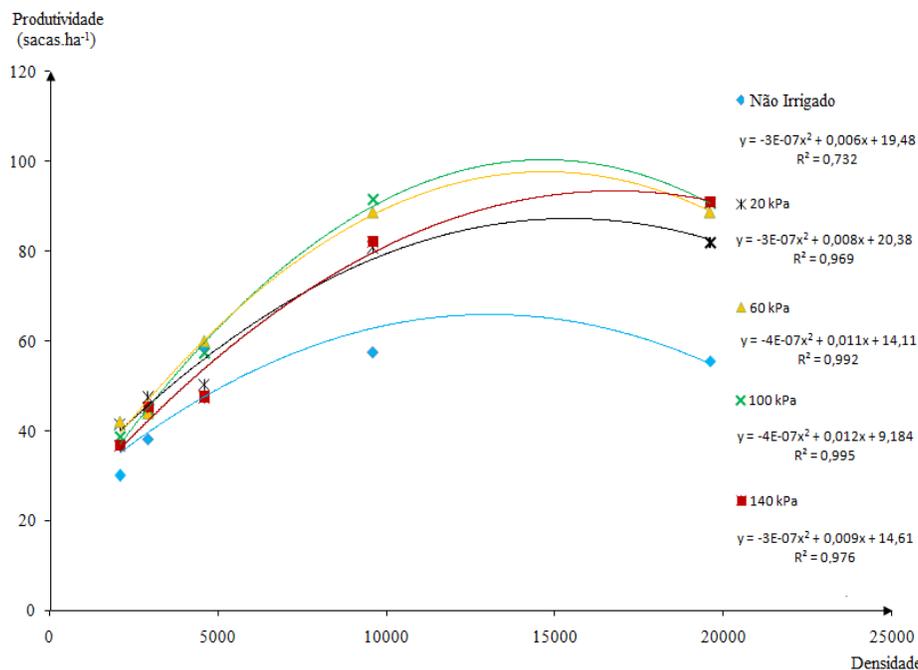


Figura 3 Representação gráfica das funções de produção relativas ao aumento na densidade de plantio para lavouras cafeeiras

A partir da derivação das equações que relacionam densidade de plantio e a produtividade de café beneficiado obteve-se a densidade de plantio na qual poderia ser obtida a máxima produtividade física. Assim, na Tabela 8 nota-se a relação entre a densidade de plantio e produtividade máxima para os critérios de irrigação utilizados.

A partir daí calculou-se o aumento relativo do número de plantas e da produtividade em cada critério de irrigação. Observou-se que o aumento no número máximo de plantas não mantém relação positiva ou mesmo proporcionalidade com o aumento da tensão de água no solo. A densidade de plantio na qual foi obtida a máxima produtividade física resultou no critério em que as irrigações foram realizadas na tensão de 100 kPa, seguido pela tensão de 60 kPa. O aumento relativo no número de plantas entre o sistema não irrigado e

quando irrigado na tensão de 60 kPa foi de 19,6% e a produtividade aumentou em 51,65%, indicando os benefícios do uso desta tecnologia. De 20 kPa para 100 kPa o aumento relativo no número de plantas foi de 8% para um aumento de produtividade de 27,15%. Para aumentos relativos no número de plantas de 1,8% para a tensão de 20 kPa em relação a de 60 kPa e de 1,4%, para a tensão de 140 kPa em relação a de 100 kPa ocorreram reduções de produtividade de 11,75% e 15,43%, respectivamente.

Tabela 8 Densidade de plantio para obtenção da produtividade máxima (DPM), produtividade máxima (PM), aumento relativo do número de plantas (ARNP) e aumento relativo de produtividade (ARP) em função do critério de irrigação utilizado

Critério de irrigação	DPM	PM (sacas ha ⁻¹)	ARNP (%)	ARP (%)
Não irrigado	11500	59.17		
60 kPa	13750	89.73	19.6	51.65
20 kPa	14000	79.19	1.8	-11.75
100 kPa	15125	100.69	8.0	27.15
140 kPa	15333	85.15	1.4	-15.43

Esses resultados permitem inferir que: o momento de irrigar pode determinar o número de plantas diferenciado para a lavoura interferindo na produtividade máxima do cafeeiro; o aumento no número de plantas de 14000 para 15125 plantas ha⁻¹ e a redução da lâmina aplicada pela adoção de maior valor de tensão de irrigação (de 20 para 100 kPa) pode proporcionar incrementos da ordem de 27% na produtividade; porém, um ganho mais expressivo de produtividade de 51,65% foi obtido com um aumento de 11500 (cultivo não irrigado) para 13750 plantas ha⁻¹ irrigado (19,6%). Nesse caso, sugere-se irrigações com base na tensão de 60 kPa que pareceu atender de forma satisfatória a demanda hídrica do cafeeiro ao longo das cinco safras avaliadas como relatado no item 4.2.

Aumentos de produtividade do cafeeiro sob irrigação na região sul de Minas Gerais têm sido verificados, tanto em áreas experimentais de cafeicultura irrigada quanto em lavouras comerciais irrigadas por pivô central (LIMA; CUSTÓDIO; GOMES, 2008) gotejamento (ASSIS, 2010; SOBREIRA et al., 2011; REZENDE et al., 2006). O uso do sistema do gotejamento em lavouras cafeeiras é mais frequente. A irrigação por gotejamento além de se adequar a arquitetura do cafeeiro, apresenta como uma das vantagens a economia de água e consequentemente, de energia elétrica (ASSIS, 2010); pode diminuir a perda de nutrientes pela maior eficiência na aplicação dos mesmos (BARRETO et al., 2006), além da economia de fertilizantes permite o emprego da água de irrigação para a aplicação de diversos produtos - quimigação (SOUZA et al., 2006). O fato de exigir água de boa qualidade físico-química e sanitária certamente contribui para que o cafeeiro tenha maiores cuidados com a preservação de fontes e nascentes reduzindo a contaminação do meio ambiente por agentes poluentes.

Com base nas curvas de resposta estudadas verificou-se que existem interações importantes a se considerar no sistema irrigado e adensado de cafeeiros. É importante enfatizar que tanto o número de plantas quanto combinações diferentes de espaçamentos na linha e entre linha podem alterar o padrão de resposta das funções de produção obtidas. Braccini et al. (2002) enfocam que a agricultura atual exige eficiência, qualidade, preservação e melhoria do ambiente e que é dentro desse padrão que deverão ser construídos os modelos tecnológicos de produção de café, pois os modelos atuais em uso não estão adaptados para as novas condições. Comentam sobre o pequeno número de plantas por área, responsáveis por baixas produtividades do café no mundo, e são extremamente vulneráveis às situações adversas de mercado e clima pela estreita margem de lucro, gerando instabilidade ao cafeeiro e menor capacidade de investimento para melhoria da qualidade do produto.

5 CONCLUSÕES

- a) O uso da irrigação proporciona aumentos expressivos de produtividade de café beneficiado em cultivos adensados de 10.000 a 20.000 plantas ha⁻¹.
- b) Irrigações baseadas entre tensões de 60 kPa a 100 kPa são suficientes para atender a demanda hídrica do cafeeiro em plantios adensados, respectivamente em 11.500 e 13.750 plantas.ha⁻¹.
- c) O aumento no número de plantas de 10.000 para 20.000 compromete a sustentabilidade do cultivo pelo aumento desproporcional do consumo de água para irrigação com pequenos incrementos de produtividade.
- d) Para a tensão de irrigação de 60 kPa, na qual o aumento relativo supera os benefícios das demais densidades de plantio, o número de plantas indicado é de 13750 plantas ha⁻¹.

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

- a) Apesar de boas precipitações, quando se considera o volume total de chuvas por ano, os resultados foram significativos, uma vez que esta chuva ao longo do ano não é bem distribuída, ocorrendo períodos de seca prolongados e também alguns períodos de veranicos.

- b) Embora não tenha sido o objetivo deste trabalho verificou-se que a bienalidade é um dos fatores que deve ser estudado com mais ênfase, uma vez que os resultados mostraram dados contraditórios em relação a outros trabalhos de pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. **Summary of M. K. Hansen AM400 and nset HOBO Datalogger and Watermark Sensor Demonstration and Testing near Twin Falls, Idaho during 2000**. Kimberly: University of Idaho, 2000. 15 p.

ALVES, J. D.; LIVRAMENTO, D. E. **Morfologia e fisiologia do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2003. 46 p. (Textos acadêmicos).

ALVES, M. E. B. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação**. 1999. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

ANTUNES, R. C. B. et al. **Influência da fertirrigação com nitrogênio e potássio nos componentes vegetativos do cafeeiro Arábica em formação**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2000, Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: [s. n.], 2000. p. 802-806.

ASSIS, G. A. **Irrigação para cafeeiros em diferentes densidades de plantio**. 2010, 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

AUGUSTO, H. S. et al. Concentração foliar de nutrientes em cultivares de *Coffea arabica* L. sob espaçamentos adensados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 973-981, 2007.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 41 p.

BARRETO, C. V. G. et al. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 641-647, 2006.

BARROS, U. V.; BARBOSA, C. M.; MATIELLO, J. B. Espaçamentos super adensado, adensado e largo em renque para o cafeeiro nas condições de solo LVH na Zona da Mata de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26., 2000, Marília. **Trabalhos apresentados...** Marília: [s. n.], 2.000. p. 57-58.

BRACCINI, M. C. L. et al. Produção de grãos, concentração e aproveitamento de nutrientes em resposta ao aumento na densidade de plantio do cafeeiro. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, p. 1205-1211, 2002.

CAMARGO, A. P. et al. Efeitos na produção de café de épocas de rega e de supressão de água, por meio de cobertura transparente (barcaça). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Resumos...** Londrina: [s. n.], 1984. p.62-64.

CARVALHO, G. R. et al. Avaliação e seleção de progênies resultantes do cruzamento de cultivares de café Catuaí com Mundo Novo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 844-852, set./out. 2006.

CARVALHO, H. P. **Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café**. 2008. 174 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMA, N. R. C. B. **Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras**. Sobral: Embrapa Caprinos e Ovinos, 2009. 47 p. Documentos Online. Disponível em: <<http://www.cnpq.embrapa.br/doc89.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2011.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Item**, Brasília, n. 49, p. 8-13, 2001.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da safra agrícola cafeeira**: 1ª estimativa. 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_52_41_boletim_cafe_1a_estimativa_safra_2011..pdf>. Acesso em: 4 mar. 2011.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aa/v37n2/v37n2a08.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2011.

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, nov./dez. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **A importância do café nosso de todos os dias**. Brasília: EMBRAPA Café, 2005. Disponível de <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2005/folder.2005-0502.0812958846/folder_noticia.2005-05-23.5121503068/noticia.2005-06-06.3817640251/>. Acesso em: 25 jan. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Comportamento de três cultivares de café submetidas a diferentes espaçamentos entre linhas e regimes hídricos no cerrado**. Planaltina, EMBRAPA Cerrados, 2007. 17 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento). Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/quadro/179>>. Acesso em: 26 jan. 2011.

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

FERNÁNDEZ, S. C. **Morfofisiologia da cultura de batata submetida a diferentes regimes hídricos**. 2008. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

FERREIRA, D. F. **SISVAR 4. 1**: sistema de análises de variância para dados balanceados. Lavras: UFLA, 2000.

FREIRE, A. C. F.; MIGUEL, A. E. Disponibilidade de água no solo no período de 1974 a 1984 e seus efeitos na granação, qualidade e rendimento do café nos anos de 1983 a 1984, na região de Varginha, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Resumos...** Londrina: [s. n.], 1984. p.113-114.

FRIZZONE, J. A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 371 p. (Série Didática, 17).

FRIZZONE, J. A. Função de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 1-45.

GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 8 p. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Gomes_Filizola_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf>. Acesso em: 29 de janeiro de 2011.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. 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, 2007.

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 133- 238.

GUARÇONI, A. M. **Densidade de plantio**: influência na fertilidade do solo e na adubação. 2009. Disponível em: <<http://www.revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=26913#axzz1ZLj48Xa5>>. Acesso em: 28 jan. 2011.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 289-3002.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Lavras. UFLA, 2002. 317p.

HANSON, P. et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. **Biogeochemistry**, Corvallis, v. 48, p. 115–146, 2000.

HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação em fruteiras**. 2011. 6 p. Disponível em: < <http://www.agr.feis.unesp.br/fruteiras>>. Acesso em: 31 jan. 2011.

HEXEM, R. W.; HEADY, E. O. **Water production function for irrigated agriculture**. Ames: The Iowa State University, 1978. 215 p.

JORDÃO, C.; OLIVEIRA JÚNIOR, O. R.; MENDONÇA, P. L. **Irrigação do cafeeiro**: recomendações gerais. Monte Carmelo: COOXUPÉ, 1996. 32 p.

KARASAWA, S. **Crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Topázio MG-1190) sob diferentes manejos de irrigação localizada**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

KOBAYASHI, E. S. **Consumo de água e produtividade de cafeeiros arábica na região de Mococa, SP**. 2007. 77 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

LAMBERT, R. A. **Lâminas de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro**. 2009. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, 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.

LIU, W. Z. et al. Interrelations of yield, evapotranspiration, and water use efficiency from marginal analysis of water production functions. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 56, p. 143-151, 2002.

MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Nutrição e adubação do cafeeiro adensado. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 80, p. 1-8, 1997. (Encarte técnico).

MALAVOLTA, E. **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 224 p.

MARCHIORI, L. A. C. **Avaliação da estimativa da evapotranspiração obtida através de modelo Brams visando o uso em modelo de estimativa de rendimento da soja no Rio Grande do Sul**. 2006. 85 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pelotas, 2006.

MARIN, F. R. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003. 118 p. Tese (Doutorado em Agronomia: Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, L. C.; SILVA, H. R. **Manejo de irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 1996. 72 p.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 481-489, 2007.

MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, abr./jun. 2007.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Fundação PROCAFÉ, 2005. 438 p.

NAGUMO, G. K. **Desdobramento da função qualidade (QFD) aplicado à produção de mudas de café (*Coffea arabica* L.)**. 2005. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NAZARENO, R. B. et al. Crescimento inicial do cafeeiro Rubi em resposta a doses de nitrogênio, fósforo e potássio e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 903-910, 2003.

NOBEL, P. S. Leaf anatomy and water use efficiency. In: TURNER, N. C.; KRAMER, P. J. (Ed). **Adaptation of plants to water and high temperature stress**. New York: J. Willey, 1980. p. 43-55.

OLIVEIRA, M. P. A. **Expressão de genes da biossíntese de cafeína em frutos e endospermas de *coffea arabica*: sem cafeína.** 2007. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2007.

PAIVA, C. L. **Periodicidade de crescimento do cafeeiro (*Coffea arábica* L) em diferentes tensões de irrigação e duas densidades de plantio.** 2006. 90 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Influência da densidade de plantio de cafeeiros sobre a fertilidade do solo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ, 1., 1996, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 87-105.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, J. B. A. **Avaliação do crescimento, necessidade hídrica e eficiência no uso da água pela cultura do pimentão (*Capsicum Annuum. L*), sob Manejo Orgânico nos Sistemas de Plantio com Preparo do Solo e Direto.** 2006. 112 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PEREIRA, S. P. et al. Crescimento vegetativo e produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) recepados em duas épocas. Conduzidos em espaçamentos crescentes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 643-649, maio/jun. 2007.

PIMENTA, C. J. **Qualidade de café.** Lavras: UFLA, 2003. 297 p.

RENA, A. B. et al. Plantios adensados de café: aspectos morfológicos, ecofisiológicos, fenológicos e agronômicos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.193, p. 61-79, 1998.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Potássio e do Fosfato, 1986. p. 13-85.

REZENDE, F. C. et al. Características produtivas 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.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C. Indicadores de qualidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Palestras...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. 1 CD ROOM.

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

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central**. Belo Horizonte: O lutador, 2002. 251 p.

SANTOS, E. A. **Controladores sensitivos para irrigação e para proteção dos mananciais de águas subterrâneas**. Salvador: [s. n.], 2006. Disponível em: <http://fotossintese.net/PROJETO_FOTOSSINTESE.pdf>. Acesso em: 16 maio 2011.

SANTOS, M. L. **Espaçamentos para cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com e sem irrigação em região de cerrado**. 2005. 44 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira, 2005.

SANTOS, M. V. F. et al. Produtividade e composição química de gramíneas tropicais na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 821-827, 2003.

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

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

SILVA, E. C. et al. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia**, Porto Alegre, v. 59, n. 2, p. 201-205, 2004.

SILVA, E. M. **Manejo de irrigação por tensiometria para culturas de grãos na região do Cerrado**. Planaltina: EMBRAPA Cerrado, 1999. 60 p. Circular técnica.

SILVA, R. F. et al. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 697-704, 2006.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: EMBRAPA, 1994. 46 p.(Circular técnica, 27).

SIMÕES, F. **Padrões de resposta do pessegueiro cv. Maciel a diferentes níveis de déficit hídrico**. 2007. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

SOARES A. R. **Efeito da lâmina de irrigação e da porcentagem de área molhada no desenvolvimento e produção do cafeeiro em Patrocínio, MG**. 2005. 63 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SOARES, A. R. **Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção em cafeeiros adultos na região da Zona da Mata de Minas Gerais**. 2001. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

SOARES, F. C. **Análise de viabilidade da irrigação de precisão na cultura do milho (*Zea mays L.*)**. 2010. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

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, V. F.; COÊLHO, E. F.; SOUZA, V. A. B. Frequência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 659-664, 1999.

SOUZA, C. F. **A utilização da reflectometria no domínio do tempo (TDR) na modelagem do bulbo molhado do solo irrigado por gotejamento**. 2002. 115 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SOUZA, J. L. M.; FRIZZONE, J. A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada: análise de risco econômico da cafeicultura em dois sistemas de irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, n. 2, p. 399-408, 2003.

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

SOUZA, L. S. et al. Efeitos das faixas de controle do capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial e na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Planta Daninha**, Londrina, v. 24, n. 4, p. 715-720, 2006.

THOMPSON, R. B. et al. **Aplicación de análisis rápidos de nitrato em savia, soluciones nutritivas y suelo a la mejora de la fertilización nitrogenada em sistemas hortícolas intensivos**. Córdoba: Sociedad Espanola de Ciencias Hortícolas, 2005.

THOMAZIELLO, A. R. O cultivo de cafeeiro em sistema adensado. **O Agrônomo**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 8-10, 2001.

THOMAZIELLO, E. A. et al. **Cultura do café**. Campinas: CATI, 1998. 57 p. (Boletim técnico, 193).

VIELMO, A. L. **Limite superior da retenção da água no solo: método de campo e método de estimativa**. 2008. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela 1A Produção de café beneficiado em cinco safras de cafeeiros sob diferentes densidades de plantio e critérios de irrigação

2500					
IRRI	2003	2004	2005	2006	2007
Si	15,8b	25,0b	56,6a	13,7b	38,7a
140	39,0b	14,7a	74,7a	6,1a	49,4b
100	50,5a	10,4b	74,7a	6,5b	51,0a
60	41,7b	26,5b	76,4a	27,9b	37,6b
20	51,4b	10,9c	86,4a	9,2c	49,5b
3333					
Si	23,5a	37,0a	57,5a	38,5a	33,7a
140	47,3b	28,0c	86,7a	7,1c	57,4b
100	56,9b	16,2c	93,0a	3,0c	53,8b
60	55,5b	12,4c	92,9a	1,9c	57,1b
20	61,6b	18,0c	96,0a	7,0c	54,3b
5000					
Si	35,5c	58,9b	91,7a	36,7c	70,5b
140	40,8c	27,9c	92,0a	11,4c	65,6b
100	84,8b	12,1c	115,7a	2,4c	71,0b
60	77,2b	19,8c	113,0a	8,2c	81,9b
20	57,7b	4,7c	119,5a	2,5c	66,5b
10000					
Si	25,0c	54,8b	96,4a	28,4c	82,4a
140	79,5b	62,7b	118,4a	50,8b	99,0a
100	88,3b	85,7b	131,4a	46,3c	104,5b
60	87,4b	72,1b	132,0a	30,7c	121,0a
20	112,4b	20,2c	146,6a	11,3c	112,5b
20000					
Si	18,4c	68,0b	94,6a	33,5c	63,1b
140	116,6a	81,7b	103,5a	67,0b	85,0b
100	84,0b	99,3b	108,9a	59,4c	100,5b
60	116,3b	83,0b	108,0a	52,2c	83,8b
20	105,5a	51,9b	108,5a	51,0b	93,4b

Tabela 2A Lâminas de Irrigação aplicadas durante o período de avaliação

Safra	20 kPa 1x0,5	60kpa x 1x0,5	100kpa x 1X05	140kpa x 1X05
	mm	mm	mm	mm
2003	1044,0	866,1	645,0	625,5
2004	696,3	452,6	464,2	243,3
2005	557,2	240,7	280,7	237,5
2006	621,7	319,7	531,6	147,9
2007	768,6	508,5	911,2	143,7
Safra	20 kPa 2x0,5	60kpa x 2x0,5	100kpa x 2X05	140kpa x 2X05
	mm	mm	mm	mm
2003	584,0	405,9	328,2	220,3
2004	434,2	329,2	227,7	145,1
2005	292,1	100,3	141,2	70,9
2006	314,4	180,5	116,8	49,1
2007	424,5	238,0	156,3	92,6
Safra	20 kPa 2x1	60kpa x 2x1	100kpa x 2x1	140kpa x 2x1
	mm	mm	mm	mm
2003	491,9	284,1	273,5	172,8
2004	358,7	178,4	210,7	97,4
2005	240,0	116,6	137,4	24,5
2006	268,9	175,2	185,3	95,6
2007	377,3	132,9	238,8	68,0
Safra	20 kPa 3x1	60kpa 3x1	100kpa 3x1	140kpa 3x1
	mm	mm	mm	mm
2003	259,6	205,6	167,5	148,0
2004	200,7	110,4	45,0	80,1
2005	190,4	81,6	77,6	63,3
2006	188,5	113,9	108,6	64,4
2007	235,1	118,5	225,0	94,2
Safra	20 kPa 4x1	60kpa 4x1	100kpa 4x1	140kpa4x1
	mm	mm	mm	mm
2003	226,0	163,7	150,7	85,9
2004	161,4	87,5	86,2	59,4
2005	122,7	45,4	45,4	48,3
2006	114,1	97,1	101,5	23,6
2007	150,4	94,3	157,5	65,0