

FUNÇÕES DE PRODUÇÃO DO CAFEIEIRO IRRIGADO EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO

Edilson Lopes Serra¹, Myriane Stella Scalco², Rubens José Guimarães³, Alberto Colombo⁴, Augusto Ramalho de Moraes⁵, Carlos Henrique Mesquita de Carvalho⁶

(Recebido: 27 de outubro de 2011; aceito: 17 de abril de 2012)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar critérios de irrigação e densidades de plantio mais adequados ao cultivo do cafeeiro que maximizem a produtividade das lavouras. O experimento foi conduzido em área do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras/MG, em delineamento de blocos casualizados com esquema de parcelas subdivididas (densidades de plantio nas parcelas e irrigações nas subparcelas), com quatro repetições. O plantio foi realizado utilizando-se mudas sadias de cafeeiro, cultivar Rubi MG-1192. Observou-se que o uso da irrigação proporcionou aumentos expressivos de produtividade de café beneficiado em cultivos adensados de 10.000 a 20.000 plantas ha⁻¹. Irrigações baseadas em tensões de 60 kPa a 100 kPa são suficientes para atender a demanda hídrica do cafeeiro em plantios adensados, porém 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 o aumento relativo de produtividade supera os dos demais critérios de irrigação, sendo o número de plantas indicado de 13750 plantas ha⁻¹.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L., sustentabilidade, plantio adensado.

PRODUCTION FUNCTIONS OF IRRIGATED COFFEE UNDER DIFFERENT PLANTING DENSITIES

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate criteria for irrigation and planting densities best suited to coffee growing to maximize yield. The experiment was conducted in an area of the Department of Agriculture, Federal University of Lavras, Minas Gerais, Brazil, in a randomized complete block design with split-plots and four replications. Planting was carried out using healthy coffee seedlings of the Ruby MG-1192 cultivar. It was observed that the use of irrigation provided for significant increases in processed coffee yield in high density planting from 10,000 to 20,000 plants ha⁻¹. Irrigations based on tensions from 60 kPa to 100 kPa are sufficient to meet the water requirements of coffee in dense plantings, but the increase in the number of plants from 10,000 to 20,000 compromises the sustainability of the crop through the disproportionate increase in water consumption for irrigation, with small increases in yield. For the irrigation tension of 60 kPa, the relative increase in yield outweighs the other criteria for irrigation, with 13,750 plants ha⁻¹ being the number of plants indicated.

Index terms: *Coffea arabica* L., sustainability, high density planting.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das cinco mais importantes atividades agrícolas do Brasil e a mais importante do estado de Minas Gerais. Com toda essa importância, as produtividades brasileira e mineira ainda são baixas para manter a sustentabilidade da atividade face às variações de preços no mercado internacional.

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 outra 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. No primeiro caso o uso do sistema adensado também pode melhorar a capacidade produtiva do solo por meio 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), podendo levar a um ganho de produtividade em relação a

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG edilsonserra@gmail.com

²Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Setor de Cafeicultura - Cx. P. 3037 - 37.200-000 Lavras-MG - mscalco@dag.ufla.br

³Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Setor de Cafeicultura - Cx. P. 3037 - 37.200-000 Lavras-MG - rubensjg@dag.ufla.br

⁴Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras-MG acolombo@deg.ufla.br

⁵Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciências Exatas/DEX - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras-MG armorais@dex.ufla.br

⁶Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras-MG carvalhoagronomia@gmail.com

sistemas tradicionais de plantio (PEREIRA et al., 2007). O espaçamento pode exercer efeito sobre a produção por unidade de área e dessa forma procura-se adequar densidades de plantio que proporcionem maiores produtividades e, ao mesmo tempo, permitam espaço para condução das práticas culturais (BRACCINI et al., 2005, 2008). No segundo caso, o uso da técnica da irrigação tem minimizado o efeito da seca e é uma das formas de mitigar os problemas de deficiência hídrica gerando incrementos à produção (ARRUDA; GRANDE, 2003). A irrigação na cafeicultura tem se expandido mesmo em regiões produtoras como o sul de Minas Gerais, consideradas aptas ao cultivo do café. Sobretudo pela utilização dos sistemas que aplicam água de forma localizada e que 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 de topografia acidentada, possibilidade de aplicação de produtos químicos em solução na água de irrigação e pela redução dos riscos de contaminação das culturas. Todas essas razões contribuem para o crescimento desse processo no Brasil (MARTINS et al., 2007). Dentro do método de irrigação localizada, um dos sistemas mais utilizados na cafeicultura é o gotejamento.

Coelho e Silva (2005), ao longo de três safras concluíram que a irrigação pode melhorar a média de produtividade do café. A resposta do café à irrigação tem sido positiva na maioria dos casos. Para o município de Lavras – MG, Oliveira et al. (2010) comentam que a irrigação por gotejamento da cultura do café é viável economicamente, pois o aumento de produtividade real de 33,48%, obtido com a irrigação gera maiores receitas. Dessa forma, a elevação do nível de produtividade ocasionada pela irrigação torna esse investimento um atrativo na produção do café, elevando consideravelmente os indicadores econômicos e reduzindo o tempo de recuperação do capital investido (ARÊDES; PEREIRA; SANTOS, 2010).

Um das formas de se estudar o efeito da aplicação de água nas culturas é o uso das funções de produção. 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 sendo que a variável independente “água” pode ser transpiração, evapotranspiração, lâmina de água aplicada

durante o ciclo da cultura, estado da água no solo, principalmente sendo a lâmina de água aplicada a de maior interesse para o usuário da irrigação (FRIZZONE, 2005). 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. Nesse estudo, a função de produção será utilizada também para descrever a relação entre a variação da produção em função da variação no número de plantas na área.

Objetivou-se, neste trabalho, estabelecer estratégias de irrigação e densidades de plantio mais adequadas ao cultivo do café que maximizem a produtividade das lavouras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em área do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras/MG, no período de 2003 a 2007. 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).

O plantio foi realizado em três de janeiro de 2001, utilizando-se mudas sadias de café Rubi MG-1192. O solo (Latosolo Vermelho-Escuro Distroférico) foi analisado por ocasião do plantio quanto as suas características físico-hídricas (Tabela 1) e químicas para instalação da cultura no campo.

Tratos culturais e tratamentos fitossanitários foram realizados conforme a necessidade, durante o desenvolvimento da cultura, porém sem podas até a realização desse trabalho, tendo sido a lavoura mantida livre de plantas daninhas por meio da associação de métodos de manejo, durante as diferentes fases da cultura. As correções do solo e adubações foram realizadas de acordo com análises de solo e de plantas (anualmente), seguindo as recomendações de Guimarães et al. (1999) e Santinato e Fernandes (2002), sendo que esses últimos fazem recomendações para a cultura irrigada. Os micronutrientes foram fornecidos via adubação foliar. Os dados meteorológicos foram monitorados diariamente por meio de uma estação meteorológica local (μ Metos[®]).

TABELA 1 – Resultado da análise física do solo da área experimental ⁽¹⁾.

Camada (cm)	Análise textural			DS g/cm ³	MAC (%)	MIC (%)
	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)			
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

DS = densidade do solo, MAC = macroporosidade, MIC = Microporosidade.

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 quatro critérios de irrigação mais a testemunha não irrigada nas subparcelas, perfazendo um total de 25 tratamentos. O número de plantas na subparcela foi de 10 e cada parcela com 200 plantas. O total de plantas na área experimental foi de 1000 plantas sendo que o número de plantas úteis em cada subparcela foi de oito.

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 (D1) 2500 plantas ha⁻¹ (4,0 x 1,0 m); (D2) 3.333 plantas ha⁻¹ (3,0 x 1,0 m); (D3) 5.000 plantas ha⁻¹ (2,0 x 1,0 m); (D4) 10.000 plantas ha⁻¹ (2,0 x 0,5 m) e (D5) 20.000 plantas ha⁻¹ (1,0 x 0,5 m).

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, registros e gotejadores com vazão de 3,75 L h⁻¹ espaçados de 0,3m nas linhas. O sistema foi avaliado periodicamente quanto à uniformidade de distribuição de água.

A umidade do solo foi indiretamente monitorada por meio do uso de tensiômetros (tensímetro digital) e blocos de resistência elétrica (Water Mark-Irrrometer[®]) que foram previamente calibrados para as condições de solo específicas do experimento. Os tensiômetros e os blocos porosos foram instalados às profundidades de 10, 25, 40, 60, 80 e 100 cm. Para tensões de 20 e 60 kPa foram utilizados

tensiômetros enquanto que para tensões de 100 e 140 kPa foram utilizados blocos porosos WaterMark[®]. 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 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.

A correspondência entre tensão de água no solo e umidade foi obtida por meio das curvas características de umidade do solo, determinadas em laboratório para as diferentes profundidades consideradas (Tabela 2).

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

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância. Quando significativas, as médias foram ajustadas a um modelo de regressão não linear de segunda ordem que permitiu obter as funções de produção 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)”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As lâminas médias de água aplicadas (mm) em cinco anos agrícolas e correspondentes a cada critério de irrigação estão apresentadas na Tabela 3.

TABELA 2 – Equações da curva característica de retenção da água no solo, segundo o modelo de Genuchten e Nielsen (1985), para as camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm.

Camada de solo (cm)	Equação da curva característica (Y em cm)	R ²
0-20	$\theta = 0,223181 + \frac{0,340456}{\left[1 + \left(0,027793 \cdot \psi_m \right)^{2,031813}\right]^{0,287954}}$	0,993
20-40	$\theta = 0,239476 + \frac{0,350076}{\left[1 + \left(0,035177 \cdot \psi_m \right)^{1,903507}\right]^{0,298648}}$	0,991
40-60	$\theta = 0,205741 + \frac{0,454637}{\left[1 + \left(0,141522 \cdot \psi_m \right)^{3,3333909}\right]^{0,150509}}$	0,988

TABELA 3 – Lâminas aplicadas (mm) em diferentes critérios de irrigação em cinco densidades de plantio (plantas ha⁻¹) e precipitações ocorridas no período de entressafras (de junho de um ano a junho do ano seguinte).

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	
	Anos agrícolas				
Precipitação (mm)	2003	2004	2005	2006	2007
	1326	1460	1526	1461	1429

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 a aerodinâmica mais suave do dossel nos plantios adensados há uma diminuição na taxa de evapotranspiração nestes sistemas (SANTOS; DUBEUX JUNIOR; SILVA, 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 3) eram esperadas. 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 2.500, 5.000 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 pode ser atribuído a 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 e inclusive maiores valores de tensão de até 600 kPa, 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 das características qualitativas que são importantes na comercialização final do produto.

A análise dos resultados indicou interação significativa entre os critérios de irrigação e número de plantas na área, indicando que com o aumento ou redução do espaçamento a resposta de produtividade pode ser alterada. Essa interação entre os fatores estudados pode ser explicada pela alteração no microclima que ocorre em cada sistema de plantio, e que conseqüentemente, interfere na evapotranspiração da cultura e demanda hídrica. A partir daí as mudanças no padrão de desenvolvimento vegetativo e produção são esperadas.

Frente à influência observada com o desdobramento do critério de irrigação dentro de cada densidade de plantio, foi verificada significância apenas para os plantios de 10000 e 20000 plantas ha⁻¹. Portanto, para as densidades de 10000 e 20000 plantas ha⁻¹ o uso da irrigação e o critério que define o momento de irrigar que

proporcionam aplicações diferenciadas de água também definem padrões de resposta diferenciados para a produção do cafeeiro. O aumento da lâmina da irrigação a partir de certo limite pode gerar aumentos de produtividade reduzidos e não compensatórios ao cafeeiro do ponto de vista financeiro.

O uso das funções de produção permitiu estimar o ponto de máxima produtividade tanto em função do incremento na lâmina de água aplicada por irrigação quanto em função do aumento no número de plantas por área.

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 para obtenção das funções de produção permitindo verificar em qual lâmina ou faixa de lâmina aplicada a produtividade do cafeeiro foi maximizada pelo uso da irrigação. 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.

Na função de produção ilustrada na Figura 1 fica demonstrado 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

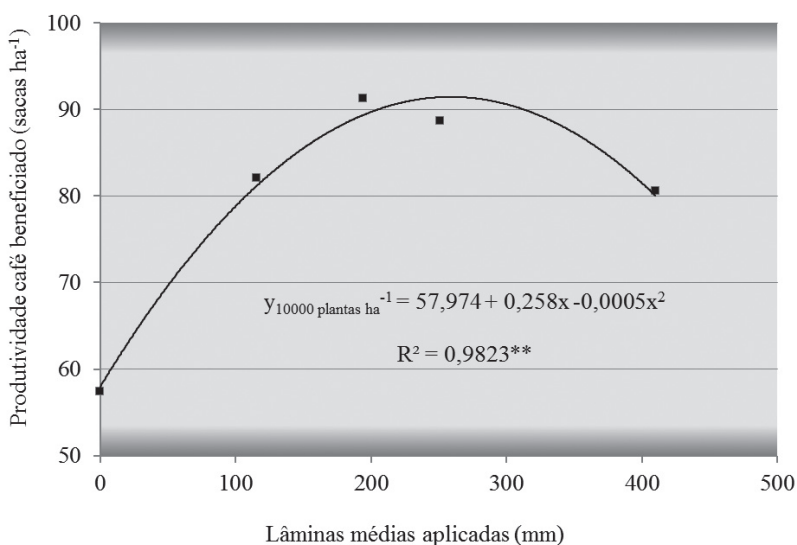


FIGURA 1 – Representação gráfica da função de produção relativa ao aumento das lâminas aplicadas nos diferentes critérios de irrigação em lavouras cafeeiras com 10000 plantas ha⁻¹.

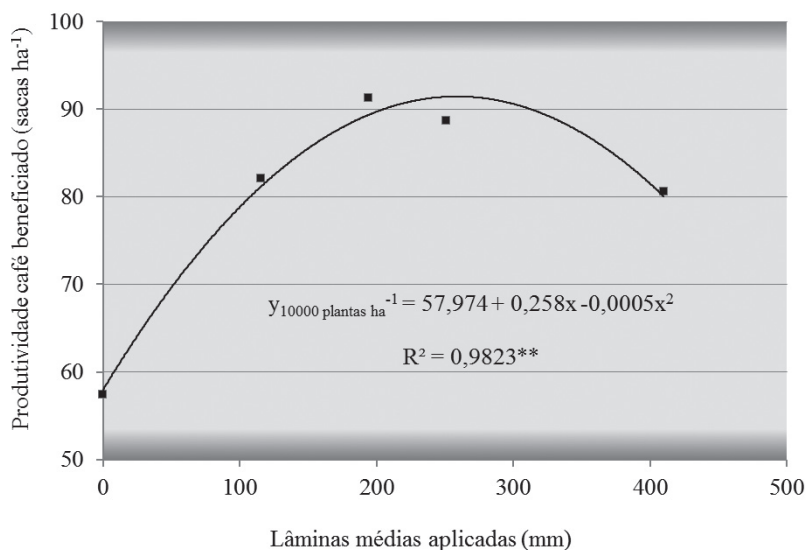


FIGURA 2 – Representação gráfica da função de produção relativa ao aumento das lâminas aplicadas nos diferentes critérios de irrigação em lavouras com 20000 plantas ha⁻¹.

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. Esses resultados estão coerentes com aqueles observados por Assis (2010) em relação ao crescimento em altura e número de ramos plagiotrópicos primários para os quais não foram detectadas diferenças significativas entre lâminas aplicadas com base nas tensões de 20 e 60 kPa.

Para a densidade de 20.000 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 de 469,32 mm de lâmina de irrigação (próxima àquela aplicada na tensão de 60 kPa), a produtividade sofreu reduções, indicando que maiores aplicações de água podem ser prejudiciais à lavoura.

Ainda com base nas figuras 1 e 2 é possível inferir, como já constatado anteriormente, (Tabela 3) sobre um aumento no consumo de água na medida em que se aumentou a densidade de plantio.

Ao se estabelecer relações entre lâminas aplicadas e as correspondentes produtividades máximas obtidas (Tabela 4) para as três maiores densidades de plantio (5000, 10000 e 20000 plantas ha⁻¹) observou-se que: o aumento relativo na lâmina aplicada para obtenção da produtividade máxima entre as densidades de plantio 5000 e 10000 foi de 42,17%, resultando em um aumento relativo na produtividade de 49%. Já o aumento

relativo na lâmina de água aplicada para obtenção da produtividade máxima na densidade de 20000 em relação à de 10000 plantas ha⁻¹ foi de 81,5%, resultando em um aumento de apenas 1,28% na produtividade. Diante destes resultados é possível afirmar que a maior lâmina aplicada para os cafeeiros em densidade de 20000 poderia causar danos ambientais pela lixiviação de água e nutrientes abaixo da região do sistema radicular dos cafeeiros. Nos sistemas adensados ocorre maior eficiência na utilização da radiação solar, da água e dos minerais podendo levar a um ganho de produtividade em relação a sistemas tradicionais de plantio (PEREIRA et al., 2007).

TABELA 4 – Relação entre lâmina de água aplicada (para obtenção da máxima produtividade - LPM) e produtividade máxima alcançada nas densidades de plantio de 5000, 10000 e 20000 plantas ha⁻¹, aumento relativo na lâmina aplicada (AR) e aumento percentual de produtividade (AP).

Densidade (plantas 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

Portanto, se existe uma maior eficiência na utilização da água em sistemas adensados de cafeeiro pode ser que o uso mais frequente da irrigação não represente uma proposta viável técnica e economicamente.

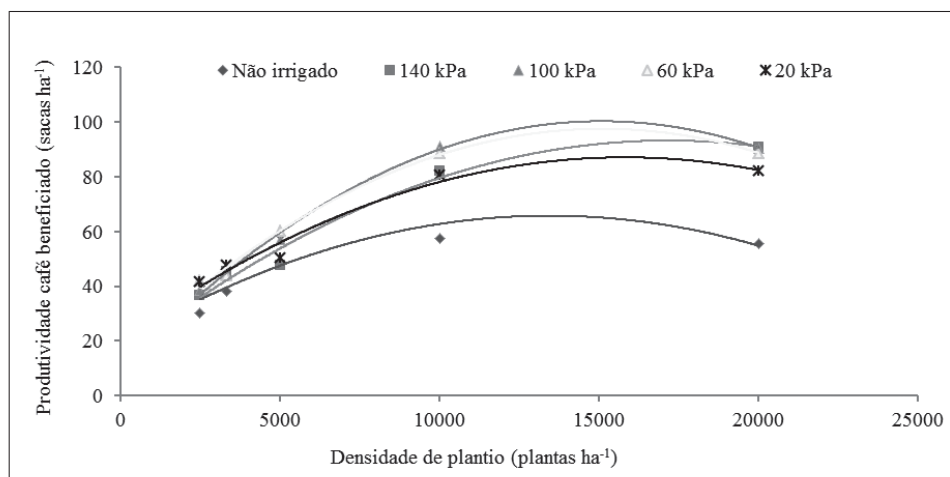
O aumento da densidade de plantio em cada critério de irrigação ajustou-se a um polinômio de segundo grau (Figura 3) indicando que esse aumento no número de plantas é viável quando a população de plantas é inferior a 20000 plantas ha⁻¹, pois nesta densidade existe uma forte tendência de queda de produção. Essa queda é facilmente explicada, em função do “fechamento” da lavoura e conseqüente redução da fotossíntese, pois com a diminuição do espaçamento entre linhas ou entre plantas ocorre morte mais intensa dos ramos plagiotrópicos no terço inferior dos cafeeiros portanto, as plantas adensadas teriam uma elevação da altura dos primeiros ramos plagiotrópicos, provavelmente em virtude do sombreamento excessivo dos ramos (PEREIRA et al., 2011).

Tal fato, conseqüentemente pode levar a perda progressiva de produtividade e inviabilizar a manutenção deste tipo de sistema de cultivo do cafeeiro. Em contrapartida, pesquisadores (PEREIRA et al., 2007) comentam que nos sistemas adensados ocorre maior eficiência na utilização da radiação solar, da água e dos minerais podendo levar a um ganho de produtividade em relação a sistemas tradicionais de plantio, além da bienalidade ser reduzida, pois o autosombreamento propicia menor floração por planta e conseqüentemente, uma razão folha/

fruto mais favorável, reduzindo o desgaste da mesma.

Derivando-se as equações que relacionam densidade de plantio e a produtividade de café beneficiado (Figura 3) obteve-se o número máximo de plantas na qual poderia ser obtida a máxima produtividade física para cada critério de irrigação estudado. As produtividades máximas poderiam ser obtidas com densidades de 13750 e 15125 plantas ha⁻¹, correspondente a irrigações feitas com base nas tensões de 60 e 100 kPa, respectivamente.

Com base nas relações estabelecidas entre a densidade de plantio e produtividade máxima para cada um dos critérios de irrigação utilizados (Tabela 5) observou-se que o aumento no número de plantas não mantém relação positiva ou mesmo proporcionalidade com redução da tensão indicadora do momento de irrigação. 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 deste critério para estabelecer o momento de irrigar. De 20 kPa para



$Y_{\text{Não irrigado}} = 19,483 + 0,0069x - 3E - 07x^2$	$R^2=0,7329^*$
$Y_{140\text{ kPa}} = 14,617 + 0,092x - 3E - 07x^2$	$R^2=0,9762^{**}$
$Y_{100\text{ kPa}} = 9,185 + 0,0121x - 4E - 07x^2$	$R^2=0,9958^{**}$
$Y_{60\text{ kPa}} = 14,118 + 0,011x - 4E - 07x^2$	$R^2=0,9926^{**}$
$Y_{20\text{ kPa}} = 20,387 + 0,0084x - 3E - 07x^2$	$R^2=0,9699^{**}$

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

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 5 – 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 (Tabela 5) permitem inferir que: o momento de irrigar pode determinar número de plantas diferenciado para a lavoura interferindo na produtividade máxima do cafeeiro; o aumento no número de plantas de 14.000 para 15.125 plantas ha⁻¹ e 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 11.500 (cultivo não irrigado) para 13.750 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.

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 cafeicultor e menor capacidade de investimento para melhoria da qualidade do produto.

4 CONCLUSÕES

1- O uso da irrigação proporciona aumentos de produtividade de café beneficiado em cultivos adensados sendo que as produtividades máximas podem ser obtidas com densidades de 13750 e 15125 plantas ha⁻¹, correspondente a irrigações feitas com base nas tensões de 60 e 100 kPa, respectivamente.

2- Irrigações baseadas em tensões de 60 kPa a 100 kPa são suficientes para atender a demanda hídrica do cafeeiro em plantios adensados.

3- 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.

4- Para a tensão de irrigação de 60 kPa o aumento relativo de produtividade supera os dos demais critérios de irrigação sendo o número de plantas indicado de 13750 plantas ha⁻¹.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café pelo apoio financeiro desde a implantação do projeto. Ao CNPq e Fapemig pelo apoio financeiro na aquisição de equipamentos essenciais a condução dos experimentos. A Universidade Federal de Lavras por ter proporcionado a logística adequada à implantação e condução dos trabalhos.

6 REFERÊNCIAS

- ARÊDES, A. F. de; PEREIRA, M. W. G.; SANTOS, M. L. dos. A irrigação do cafezal como alternativa econômica ao produtor. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 32, n. 2, p. 193-200, 2010.
- ARRUDA, B. F.; GRANDE, A. M. Fator de resposta da produção do cafeeiro ao déficit hídrico em Campinas. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 1, p. 139-145, 2003.
- 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, jul./ago. 2007.
- ASSIS, G. A. **Irrigação para cafeeiros em diferentes densidades de plantio**. 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

- BRACCINI, A. L. et al. Características agronômicas e produção de frutos e grãos em resposta ao aumento na densidade populacional do cafeeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 269-279, 2005.
- _____. Produtividade de grãos e qualidade de sementes de café em resposta à densidade populacional. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, p. 489-496, 2008.
- BRACCINI, M. do 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.
- COELHO, G.; SILVA, M. A. O efeito da época de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro em três safras consecutivas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 400-408, mar./abr. 2005.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.
- FRIZZONE, J. A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 371 p. (Série Didática, 17).
- GENUCHTEN, M. T. van; NIELSEN, D. R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. **Annales Geophysicae**, Paris, v. 3, n. 5, p. 615-628, 1985.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 289-302.
- HANSON, P. et al. Separating root and soil microbial contributions to soil respiration: a review of methods and observations. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 48, p. 115-146, 2000.
- 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.
- MARIN, F. R. **Evapotranspiração e transpiração máxima em cafezal adensado**. 2003. 118 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.
- 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, Apr./June 2007.
- OLIVEIRA, E. L. de 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, S. P. et al. Crescimento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) rececados em duas épocas, conduzidos em espaçamentos crescentes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 643-649, maio/jun. 2007.
- _____. Crescimento, produtividade e bionalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 152-160, fev. 2011.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central**. Belo Horizonte: O lutador, 2002. 251 p.
- SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SILVA, M. C. 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, jul./ago. 2003.
- 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.