



VINÍCIUS ALVES PEREIRA

**ADEQUAÇÃO DE NÍVEIS DE REPOSIÇÃO DE
ÁGUA PARA CAFEIROS PROVENIENTES DE
EMBRIOGÊNESE SOMÁTICA E SEMENTES**

LAVRAS – MG

2014

VINÍCIUS ALVES PEREIRA

**ADEQUAÇÃO DE NÍVEIS DE REPOSIÇÃO DE ÁGUA PARA
CAFEEIROS PROVENIENTES DE EMBRIOGÊNESE SOMÁTICA E
SEMENTES**

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

Orientador

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Coorientadora

Dr^a. Myriane Stella Scalco

LAVRAS – MG

2014

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

Pereira, Vinicius Alves.

Adequação de níveis de reposição de água para cafeeiros
provenientes de embriogênese somática e sementes / Vinicius Alves
Pereira. – Lavras : UFLA, 2014.

64 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes.

Bibliografia.

1. *Coffea arábica*. 2. Irrigação. 3. Índice de área foliar. 4. Altura.
5. Diâmetro de copa. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.7387

VINÍCIUS ALVES PEREIRA

**ADEQUAÇÃO DE NÍVEIS DE REPOSIÇÃO DE ÁGUA PARA
CAFEEIROS PROVENIENTES DE EMBRIOGÊNESE SOMÁTICA E
SEMENTES**

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

APROVADA em 19 de fevereiro de 2014

Dra. Myriane Stella Scalco	UFLA
Dr. Virgílio Anastácio da Silva	UFLA
Dr. Carlos Henrique Siqueira de Carvalho	EMBRAPA

Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes
Orientador

LAVRAS – MG

2014

A Deus, por iluminar meus caminhos, me trazer paz, saúde e perseverança.

*Aos meus pais, Tarcísio Alves Pereira e Ivanete Carvalho Pereira,
pelo amor, atenção e companheirismo.*

A minha irmã Vitória, pela amizade e carinho

Aos meus avós, pessoas essenciais na minha vida.

*E a todos aqueles que acreditaram, torceram e me acompanharam
durante mais esta etapa de minha vida.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde, perseverança e coragem frente aos desafios da vida

Aos meus pais, Tarcísio Alves Pereira e Ivanete Carvalho Pereira, pelo grande apoio, dedicação, incentivo e pelo grande exemplo que são para a minha vida.

A minha irmã Vitória pela amizade e companheirismo.

À Dra. Myriane Stella Scalco, pela orientação, dedicação, disponibilidade, apoio e ensinamentos transmitidos, essenciais para a conclusão deste trabalho.

Ao professor Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, pela orientação, apoio e sugestões essenciais para a realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Alberto Colombo, pelos ensinamentos, apoio e sugestões sempre importantes neste trabalho.

Aos bolsistas, estagiários e funcionários do Setor de Cafeicultura, pela ajuda e pela amizade.

Aos amigos da cafeicultura irrigada, pela amizade e ajuda na condução do experimento, essencial para conclusão deste trabalho.

Aos amigos “irmãos” da República Veio Chico, pelo companheirismo, amizade e confiança.

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

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura (DAG), pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

A irrigação do cafeeiro tem se tornado prática cada vez mais frequente e necessária. Mesmo com tantas pesquisas e informações já consolidadas, o complexo planta-solo-atmosfera-água exige mais informações que possam contribuir para aperfeiçoar a eficiência da irrigação. Nesse contexto, diferentes métodos de propagação podem gerar necessidades hídricas e respostas diferenciadas ao longo do desenvolvimento vegetativo e produtivo do cafeeiro. Dessa maneira, conduziu-se esta pesquisa, com o objetivo de avaliar a adequação de plantas de cafeeiros provenientes de diferentes métodos de propagação (embriogênese somática e sementes) a diferentes níveis de reposição de água por irrigação, com base no padrão de resposta de características vegetativas. O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Lavras. Foram implantados quatro ensaios com mudas provenientes de diferentes métodos de propagação: (I) mudas do clone 3 do grupo Siriema obtidas por embriogênese somática (ES) com 12 meses de idade, (II) mudas da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 obtidas por sementes com 6 meses de idade e produzidas em saquinhos de polietileno (SC), tubetes convencionais (TB) e tubetes longos de PVC, com 50 cm de comprimento (TO). Os tratamentos foram compostos de seis manejos de irrigação baseados em frações do Kc, constituídos de 0,4 (L2); 0,7 (L3); 1,0 (L4); 1,3 (L5); 1,6 (L6) e não irrigado (L1), sendo os tratamentos irrigados pelo sistema de gotejamento O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, cada parcela experimental foi composta por oito plantas, sendo consideradas úteis as seis plantas centrais. Foram avaliadas altura, diâmetro de copa e diâmetro de caule. Com base nas medidas de altura e diâmetro de caule foi estimado o índice de área foliar. Os resultados indicaram que mudas do clone 3 do grupo Siriema propagadas por embriogênese somática e mudas da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 propagadas por sementes em diferentes recipientes apresentam resposta positiva para o cultivo irrigado na região do Sul de Minas Gerais.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. Irrigação. índice de área foliar. Altura. Diâmetro de copa.

ABSTRACT

Irrigation of the coffee tree has become an increasingly frequent and necessary practice. Even with so much research and already consolidated information, the plant-soil-water-atmosphere complex requires more information that may contribute to improving irrigation efficiency. In this context, different propagation methods may generate differential responses and water requirements during the vegetative and productive development of the coffee. Thus, the objective of this study was to evaluate the adequacy of coffee plants from different propagation methods (somatic embryogenesis and seed) to different levels of water replenishment with irrigation, based on the response pattern of vegetative characteristics. The experiment was conducted at the Universidade Federal de Lavras. Four trials were installed with seedlings derived from different propagation methods: (I) clone 3 seedlings of the Siriema group obtained by somatic embryogenesis (ES) with 12 months of age, (II) Catuaí cultivar Vermelho IAC-144 seedlings obtained from seeds with 6 months old and grown in polyethylene bags (SC), conventional tubes (TB) and long PVC tubes, 50 cm of length (TO). The treatments consisted of six irrigation managements based on Kc fractions, consisting of 0.4 (L2), 0.7 (L3), 1.0 (L4), 1.3 (L5), 1.6 (L6) and unirrigated (L1), using the drip irrigation system. The experimental design was randomized blocks with four replications, each plot consisting of eight plants, considering the six central plants useful. We evaluated height, crown diameter and stem diameter. Based on the height and stem diameter measurements, we estimated the leaf area index. The results indicate that clone 3 seedlings of the Siriema group, propagated by somatic embryogenesis, and Catuaí cultivar seedlings Vermelho IAC-144, propagated by seeds in different containers, presented a positive response to irrigated farming in southern Minas Gerais, Brazil.

Keywords: *Coffea arabica*. Irrigation. Leaf area index. Height. Crown diameter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Variáveis de arquitetura de parte aérea da planta de café.....	33
Figura 2	Precipitação mensal (mm) e lâminas de irrigação mensal (mm) aplicadas nos diferentes manejos da irrigação durante o ano de avaliação do experimento.....	38
Figura 3	Altura de plantas de cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em função de diferentes manejos de irrigação	40
Figura 4	Diâmetro de copa dos cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em função de diferentes manejos de irrigação	40
Figura 5	Diâmetro de caule dos cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em função de diferentes manejos de irrigação	41
Figura 6	Índice de área Foliar de cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em função de diferentes lâminas de irrigação	43
Figura 7	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para altura de mudas de cafeeiros propagados via sementes em função de diferentes manejos de irrigação.....	48
Figura 8	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados via sementes em função de diferentes manejos de irrigação.....	50

Figura 9	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados por embriogênese somática em função das épocas para cafeeiros não irrigados e irrigados nas frações de 1,0 e 1,6 do Kc.....	52
Figura 10	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados por sementes em diferentes recipientes (saquinho, tubete e tubetão) em função das épocas para cafeeiros não irrigados.....	53
Figura 11	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados por sementes em diferentes recipientes (saquinho, tubete e tubetão) em função das épocas para a lâmina aplicada na fração de 1,0 do Kc.....	54
Figura 12	Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados por sementes em diferentes recipientes (saquinho, tubete e tubetão) em função das épocas para a lâmina aplicada na fração de 1,6 do Kc.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização física do solo da área experimental ⁽¹⁾ . UFLA, Lavras-MG, 2013.....	26
Tabela 2	Caracterização química do solo da área experimental antes da diferenciação dos tratamentos. UFLA, Lavras-MG, 2013	27
Tabela 3	Valores de quadrados médios e respectivas significâncias da análise de variância para as características altura de plantas (cm), diâmetro de copa (cm), diâmetro de caule (mm) e índice de área foliar (IAF), de cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em diferentes manejos de irrigação (MI). Médias gerais e coeficiente de variação (CV)	39
Tabela 4	Valores de quadrados médios e respectivas significâncias da análise de variância para altura de plantas (AL - cm), diâmetro de copa (DCO – cm), diâmetro de caule (DCA - mm) e índice de área foliar (IAF) de cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 propagados por sementes em diferentes manejos de irrigação (MI). Média geral e coeficiente de variação (CV).....	45
Tabela 5	Valores médios de altura de planta (ALT), diâmetro de copa (DCO), diâmetro de caule (DCA) e índice de área foliar (IAF) de mudas de cafeeiros Catuaí 144 propagadas via semente produzidas em três recipientes diferentes (Saquinho, Tubete e Tubetão)	46
Tabela 6	Valores médios de altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico em relação ao solo para cafeeiros Catuaí 144 propagadas via semente produzidas em três recipientes	

diferentes (Saquinho, Tubete e Tubetão).....46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Cafeicultura Irrigada: efeitos no crescimento e produção	15
2.2	Propagação de mudas de cafeeiros	19
2.3	Índice de área foliar	22
2.4	Modelos exponenciais	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	Características da área experimental	25
3.2	Implantação, condução e tratos culturais	26
3.3	Tratamentos e delineamento experimental	27
3.4	Caracterização do clima, irrigação e umidade do solo	31
3.5	Características avaliadas	32
3.5.1	Altura das plantas	32
3.5.2	Diâmetro de copa	32
3.5.3	Diâmetro de caule	32
3.5.4	Altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico	33
3.5.5	Índice de Área Foliar	34
3.5.6	Análise dos resultados	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Lâminas aplicadas e precipitação acumulada	37
4.2	Embriogênese Somática: Altura (cm), diâmetro de copa (cm), diâmetro de caule (mm) e Índice de Área Foliar (m² m²) em função do manejo de irrigação	38
4.3	Mudas propagadas por sementes em diferentes recipientes (Tubete, Tubetão e Saquinho)	44
4.4	Índice de área foliar em função do tempo para mudas propagadas por embriogênese somática e sementes em diferentes recipientes (Saquinho, Tubete e Tubetão) para três manejos de irrigação	51
5	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas e uma das principais fontes de divisa para diversos países das regiões tropicais do mundo, tendo o Brasil como maior produtor do grão (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2013), ocupando uma área de aproximadamente 2,05 milhões de hectares, com cerca de 5,7 bilhões de covas, sendo que mais da metade dessa área (50,17%) encontra-se no estado de Minas Gerais. (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2013).

A produção brasileira de café na safra de 2013 atingiu a marca de 47,54 milhões de sacas (60 kg) beneficiadas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013). Apresentando um consumo de 19,9 milhões de sacas no período compreendido entre maio/2011 e abril/2012, consumo este 3,05% maior que o mesmo período do ano anterior (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ, 2012).

No mesmo ritmo de crescimento do mercado consumidor, cresce a necessidade de se implantar tecnologias na cadeia produtiva do café que gerem retorno econômico ao produtor. Dentre essas tecnologias, a irrigação se destaca permitindo a expansão das áreas cafeeiras para regiões consideradas marginais, ou seja, limitadas por altas temperaturas e escassez de chuvas e avançando ainda para grandes regiões produtoras, nas quais a ocorrência de veranicos é cada vez mais frequente.

Em razão das alterações climáticas dos últimos anos, especialmente àquelas referentes à temperatura e regime de chuvas, na maioria das regiões produtoras de café do estado de Minas Gerais, tanto naquelas com quantidade e distribuição suficientes de chuva quanto naquelas consideradas marginais, a irrigação vem sendo implantada como uma tecnologia que, além de suprir a

demanda de água da planta nas fases críticas da cultura, garante o sucesso e dá sustentabilidade à cafeicultura.

Porém, com o uso da irrigação na cafeicultura surgem questionamentos voltados para essa nova cafeicultura para a qual existe demanda tecnológica específica, mas que não pode e nem deve simplesmente obedecer às regras estabelecidas para a cafeicultura de sequeiro.

Os fenômenos climáticos estão cada vez mais frequentes, o que vem causando preocupação, e a irrigação aliada a um intenso e eficiente programa no campo da biotecnologia e melhoramento genético, surge como uma alternativa aos efeitos dessas variações climáticas nas regiões cafeeiras.

Mesmo com tantas pesquisas e informações já consolidadas, o complexo planta-solo-atmosfera-água exige mais informações que possam contribuir para aperfeiçoar a eficiência da irrigação, de forma a orientar o cafeicultor que utiliza essa tecnologia, transformando o conhecimento científico sobre o papel que a água desempenha no crescimento e desenvolvimento do cafeeiro em conselhos práticos que possam ajudar o produtor a planejar e utilizar a água de forma eficiente.

Diferentes métodos de propagação podem gerar necessidades hídricas e respostas diferenciadas ao longo do desenvolvimento vegetativo e produtivo do cafeeiro, uma vez que os diferentes tipos de muda têm características anatômicas e fisiológicas diferenciadas, principalmente em relação ao sistema radicular que é o responsável pela absorção de água e nutrientes.

Nos dias atuais, existem muitos trabalhos relacionados à produtividade e rendimento dos cafeeiros irrigados. Lima, Custodio e Gomes (2008) e Silva et al. (2008) mostraram que a irrigação aumentou a produtividade dos cafeeiros, porém o estabelecimento de níveis adequados de reposição de água ao cafeeiro em mudas provenientes de propagação vegetativa e sexuada em campo é inexistente. Assim, o correto manejo da irrigação é indispensável para o sucesso

da cultura, e o fornecimento de água no momento e com a quantidade ideal para a planta deve ser feito, levando em consideração as condições edafoclimáticas da região e as características da planta.

Conduziu-se este trabalho, com o objetivo de avaliar a adequação de plantas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) provenientes de diferentes métodos de propagação (embriogênese somática e sementes) a diferentes níveis de reposição de água por irrigação, com base no padrão de resposta de características vegetativas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cafeicultura Irrigada: efeitos no crescimento e produção

As mudanças que ocorreram na cafeicultura brasileira, na última década, potencializaram a busca de sistemas altamente tecnificados, que incorporam novos conhecimentos científicos e uma gestão empresarial, tanto para pequenos como para grandes cafeicultores (SOARES et al., 2005). Dentre esses avanços, destaca-se a utilização da irrigação, que pode proporcionar menores riscos, maior eficiência na utilização e aplicação de insumos, uniformização de floradas, além de maior produtividade e melhor qualidade do produto (CARVALHO, 2013). A cafeicultura irrigada tem recebido grande destaque nos últimos anos e este interesse se deve a fatores como a expansão da cafeicultura para novas fronteiras, onde a irrigação tem tomado grande impulso, em decorrência da expansão da atividade cafeeira para essas regiões que antes eram consideradas inaptas ao cultivo do café, mas que, posteriormente, se tornaram viáveis com a utilização dessa tecnologia.

Isso se deve ao fato de a água ser o elemento principal para o desenvolvimento de qualquer cultura, pois é responsável pelo transporte e absorção de nutrientes e fotoassimilados, além de atuar no controle térmico da planta.

Mesmo em regiões consideradas aptas para a cafeicultura, como a região sul do estado de Minas Gerais, o cultivo do cafeeiro, vem sendo realizado com o uso da irrigação, em razão da distribuição irregular de chuvas, com períodos de veranicos nas fases críticas de demanda de água pela cultura, promovendo redução significativa na produção e crescimento das plantas.

Alguns autores mostraram que a irrigação proporciona incrementos significativos na altura da planta, diâmetro do caule, diâmetro da copa, número de internódios e comprimento dos ramos primários. Carvalho et al. (2006) em um experimento realizado na Universidade Federal de Lavras, com diferentes regimes hídricos, lavouras irrigadas e não irrigadas, observaram que os tratamentos irrigados apresentaram uma maior altura de plantas, um maior diâmetro de copa e maior número de ramos plagiotrópicos que os não irrigados. O mesmo foi observado por Vilella e Faria (2003), Nazareno et al. (2003) e Gomes, Lima e Custódio (2007).

Arantes et al. (2009) visando à recuperação de uma lavoura recepada, submetida a diferentes lâminas de irrigação, (0, 40, 80 e 120% da ECA-Precipitação) verificaram que a maior lâmina proporcionou maior crescimento vegetativo do cafeeiro. Costa et al. (2010) verificaram em um experimento conduzido na área do Centro Técnico de Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM) que o número de ramos plagiotrópicos de duas cultivares, Obatã e IAPAR - 59 variou em diferentes cultivos (não irrigado, irrigado e fertirrigado). Eles constataram que o número de ramos plagiotrópicos aumentou nos tratamentos irrigados e fertirrigados para a cultivar Obatã, já, para a cultivar IAPAR - 59, não houve diferença significativa para o número de ramos plagiotrópicos nos diferentes tratamentos.

Em um ensaio realizado no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, Oliveira et al. (2003) avaliaram o desenvolvimento de diferentes cultivares de cafeeiro, enxertadas ou não, quando submetidas a diferentes níveis de reposição de água na fase de implantação da lavoura, utilizando quatro cultivares, Acaiá Cerrado MG1474, Icatu Amarelo IAC-3282, IAPAR-59 e Rubi MG-1192, dois tipos de mudas (pé franco e enxertadas) e cinco níveis de reposição de água (40%, 60%, 80%, 100% e 120% da evapotranspiração), com intervalos entre as irrigações de dois dias. Concluíram

que plantas oriundas de mudas enxertadas sobre Apoatã IAC-2258, desenvolvem-se menos que as oriundas de pé franco na fase de implantação da lavoura. Quando não há limitação hídrica pronunciada, as plantas oriundas de mudas em pé franco desenvolvem-se mais que as plantas provenientes de mudas enxertadas; porém, em condições de déficit pronunciado, ambas têm seu desenvolvimento igualmente prejudicado no período de implantação da lavoura. O mesmo foi verificado por Miranda et al. (2011), onde duas cultivares Catuaí IAC-99 e Topázio MG-1190 enxertadas sobre *C. canephora* 'Apoatã IAC-2258' submetidas a cinco níveis de reposição de água, com a testemunha sem irrigação, apresentaram menor crescimento inicial que as mudas de pé-franco. Quanto à irrigação, as mudas enxertadas respondem ao aumento na disponibilidade hídrica da mesma forma que as mudas em pé-franco.

Para cafeeiros Conilon (*Coffea canephora*), os resultados não são diferentes, cafeeiros dessa espécie, quando submetidos a déficit hídrico, apresentaram menor crescimento vegetativo quando comparados com a testemunha sem déficit hídrico (DARDENGO et al., 2009). O mesmo pode ser verificado em um estudo realizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES, onde duas cultivares de *Coffea canephora* (Robusta Tropical e Conilon Vitória clone número 5) foram submetidas a déficit hídrico. Foram avaliadas a altura de planta, diâmetro do caule e diâmetro da copa, onde verificou-se que o déficit hídrico foi prejudicial em qualquer momento que foi aplicado (ARAUJO et al., 2011). Em um trabalho realizado em Jimma, Sudoeste da Etiópia, também não foi diferente, plantas de seis cultivares de *Coffea arabica* L. quando submetidas a déficit hídrico por 15 e 30 dias, apresentaram redução na taxa de crescimento vegetativo (WORKU; ASTATKIE, 2010). O mesmo foi verificado por Tesfaye, Razi e Maziah (2008) ou seja, o déficit hídrico reduziu o crescimento dos cafeeiros jovens.

Ribeiro et al. (2009), utilizando água residuária do processamento do café, na irrigação do próprio cafeeiro, verificaram aumento no crescimento, em altura de planta e diâmetro do caule, resultados comparáveis ou até superiores àqueles obtidos com água de irrigação.

A irrigação, como descrito anteriormente, aumenta o crescimento vegetativo do cafeeiro, por meio do aumento do número de ramos plagiotrópicos, diâmetro de caule, diâmetro de copa, altura de planta, bem como também favorece o crescimento inicial de lavouras jovens na fase de formação. Para a produtividade, os resultados também são promissores.

Vilela (2004), avaliando o comportamento do cafeeiro sob lâminas diferenciadas de irrigação, verificou aumento de 230% na produção total de três colheitas consecutivas em lavouras de cafeeiros Rubi irrigadas por pivô central quando comparadas com a mesma cultivar em condições de sequeiro.

Paiva et al. (2011), na região Sul do estado de Minas Gerais, mostraram que a irrigação adequada no período crítico para o cafeeiro proporcionou ganhos da ordem de 27,5% na produtividade média de seis safras, quando comparado com o tratamento não irrigado.

Ganhos em produtividade também são relatados por Assis et al. (2009), Scalco et al. (2008) e Scalco et al. (2011), comprovando cientificamente que a irrigação é eficiente em regiões de grande destaque na produção de café como a região Sul de Minas Gerais.

Lima, Custodio e Gomes (2008) mostraram que uma lâmina de irrigação de 60% da ECA (Evapotranspiração do Tanque Classe A) apresentou uma produtividade de 119% a mais que a testemunha não irrigada. Silva et al. (2008) também mostraram que a irrigação aumentou a produtividade dos cafeeiros, com uma reposição de 164,1% da ECA obteve-se uma produtividade máxima de 115 sacas/ha, produção 447% maior que o tratamento não irrigado.

Buscando avaliar o efeito da irrigação em combinação com diferentes parcelamentos da adubação e épocas de irrigação, Coelho e Silva (2005), constataram, nesse experimento que a irrigação não eliminou o efeito do ciclo bienal da produtividade da cultura, mas concorreu para a sua redução.

Em outro ensaio, Coelho et al. (2009), parcelando as adubações em 4, 12, 24 e 36 aplicações, nas quais o fertilizante foi aplicado de forma manual e empregando três diferentes épocas de irrigação 01/06 a 30/09, 15/07 a 30/09, 01/09 a 30/09. Esses autores verificaram que o parcelamento das adubações não ocasionou efeito sobre a produtividade, porém a época de irrigação 01/06 a 30/09 proporcionou as melhores médias de produtividade.

Rezende et al. (2009), conduzindo um experimento em Lavras MG, em uma lavoura de café da cultivar Topázio MG1190 (*Coffea arabica*) submetida a uma severa poda aos 65 meses de idade e irrigada por gotejamento com uma lâmina de 100% ECA-P em seis períodos diferentes com a adubação parcelada em quatro aplicações feitas manualmente sob a copa. Os dados da safra 2002/2003 e 2003/2004 foram analisados e os resultados indicaram que a produtividade acumulada tende a ser maior nos tratamentos que receberam irrigação de abril a julho, esses autores constataram também que a irrigação aumentou o rendimento volumétrico dos grãos de café.

2.2 Propagação de mudas de cafeeiros

O desenvolvimento inicial de plantas perenes como o cafeeiro sofre influência de vários fatores, como climáticos, nutricionais e também aqueles ligados à qualidade das mudas utilizadas. Com relação à qualidade das mudas, poucos estudos têm contemplado os efeitos de recipientes e substratos, utilizados durante a produção destas, no desenvolvimento de cafeeiros após o plantio no local definitivo (VALLONE, 2010).

A espécie *Coffea arabica* L. é autógama, apresentando cerca de 10 a 15% de fecundação cruzada, sendo que a propagação em escala comercial ocorre quase que na totalidade via sementes, porém, existem técnicas de propagação vegetativa, como a estaquia e embriogênese somática, que são consideradas eficientes para a produção de mudas em larga escala (CARVALHO et al., 2011).

Apesar das novas técnicas de propagação, o método tradicional de reprodução por sementes ainda persiste na maioria das lavouras cafeeiras. Diversos tipos e tamanhos de recipientes podem ser utilizados para a produção de mudas, sendo que os recipientes mais utilizados para a produção de mudas de cafeeiros são os saquinhos de polietileno e tubetes de polietileno rígido, com capacidade volumétrica inferior à dos saquinhos, entre 50 e 500 mL. Os saquinhos de polietileno apresentam dimensões de 9 a 11 cm de largura, por 18 a 22 cm de comprimento e são providos de furos na metade inferior para drenagem (GUIMARÃES; MENDES, 1998).

De acordo com Mello (1999), os tubetes normalmente usados para a produção de mudas de café apresentam tamanho de 14 cm de altura, 3,5 cm de diâmetro interno na abertura superior e 1,5 cm de diâmetro na abertura inferior da extremidade afunilada e possuem um volume aproximado de 120 ml, sendo que a produção de mudas de cafeeiros em tubetes apresenta algumas vantagens, tais como formação do sistema radicular sem envelhecimento, além do rápido crescimento inicial das mudas após o plantio (CUNHA et al., 2002).

Existem poucos resultados na literatura sobre produção de mudas em recipientes alternativos. Cunha et al. (2002), estudando a influência de tamanhos de recipientes (50, 120 e 275 mL) e tipos de substratos na produção de mudas de cafeeiro em tubetes, verificaram que dos três tamanhos de tubetes testados, o que apresentou o melhor desenvolvimento das mudas foi o de 120 mL utilizando substrato plantmax adicionado de osmocote.

Gervásio (2003), avaliando o efeito de lâminas de irrigação, associadas a diferentes volumes de tubetes (60 e 120 cm³), na produção de mudas de cafeeiro no período de quatro meses, concluiu que para o bom desenvolvimento da muda são necessárias lâminas de irrigação superiores a 600 mm, associadas à utilização de tubetes de 120 cm³. Vallone et al. (2010), utilizando diferentes recipientes (tubetes de 50 ml, tubetes de 120 ml e saquinhos de 700 ml) e substratos (substrato alternativo, substrato comercial e substrato padrão) na produção de mudas, verificaram que 20 meses após o transplante para o campo sem irrigação suplementar, as mudas provenientes de saquinhos de 700 ml e tubetes de 120 ml são superiores às de tubetes de 50 ml.

Uma técnica de propagação vegetativa que vem sendo muito utilizada em cafeeiros é a embriogênese somática. Esta consiste no desenvolvimento de embriões a partir de células somáticas haplóides ou diplóides, sem que haja fusão de gametas, possibilitando a multiplicação de plantas elite *in vitro* em larga escala (CARVALHO et al., 2010). As pesquisas relacionadas com o comportamento de plantas obtidas por embriogênese somática sob condições de baixa disponibilidade de água no solo ainda são poucas.

Almeida et al. (2007) verificaram que plantas propagadas por embriogênese somática apresentaram maior crescimento vegetativo, durante os 13 primeiros meses de cultivo em relação às plantas provenientes de propagação sexuada. A resposta das plantas ao excesso ou falta de água no solo foi semelhante em ambos os tipos de propagação.

Com relação às características agrônômicas e morfológicas de cafeeiros propagados por embriogênese somática, Carvalho et al. (2011) verificaram que este método propicia ao cafeeiro Catuaí Vermelho um desenvolvimento inicial mais rápido em relação às plantas obtidas de sementes. Aos 30 meses após o plantio no campo, as plantas propagadas vegetativamente apresentaram diâmetro de copa superior ao de plantas originadas por sementes. Além disso, o

desempenho agronômico de plantas de *C. arabica* produzidas por embriogênese somática foi semelhante ao de plantas de origem seminal, não havendo restrições agronômicas para a sua utilização.

Menendez-Yuffa et al. (2010), comparando o desenvolvimento em viveiro de plantas de *C. arabica* cultivares Caturra e Costa Rica 95 (Catimor), provenientes de sementes e de embriogênese somática verificaram que, ao final de 21 semanas, as plantas clonadas apresentavam maior massa seca de parte aérea, o que comprova a superioridade do desenvolvimento inicial de mudas propagadas por embriogênese somática. Almeida et al. (2011), verificaram que plantas de café arábica (*Coffea arabica* L.) da cultivar Catuaí Vermelho IAC 44, obtidas por embriogênese somática, apresentam crescimento vegetativo semelhante ou superior ao de plantas da mesma cultivar obtidas por sementes, em diferentes níveis de disponibilidade de água no solo.

Dessa maneira, os diferentes métodos de propagação podem gerar necessidades hídricas e respostas diferenciadas ao longo do desenvolvimento vegetativo e produtivo do cafeeiro, uma vez que, como já descrito, o tipo de muda tem características anatômicas e fisiológicas diferenciadas principalmente em relação ao sistema radicular que é o responsável pela absorção de água e nutrientes.

2.3 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$) é a relação funcional existente entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura. Considerando que o rendimento agrícola é expresso pela quantidade de matéria colhida por unidade de área, é válido expressar a área foliar sobre a mesma base do rendimento (WATSON, 1952).

É uma importante variável para a estimativa dos fluxos de água, carbono e energia e é determinante para a produção primária. Além disso, o IAF é relevante em estudos de interesse de conhecimento de fenômenos em diferentes escalas, como da folha ao dossel, fornecendo informações importantes para a parametrização de modelos de base fisiológica, e também o conhecimento dessa variável é necessário para a validação de dados de produção e cobertura vegetal, obtidos por técnicas de sensoriamento remoto (LUNZ, 2006; SASAKI et al., 2008).

O conhecimento da área foliar da planta permite uma estimativa da perda de água, pois as folhas são responsáveis pela troca gasosa com o ambiente e afetam a definição de estratégias de manejo da irrigação (FAVARIN et al., 2002).

Santana, Oliveira e Quadros (2004), trabalhando com cafeeiros da cultivar IAPAR 59 e Obatã verificaram que a área foliar das plantas, a partir dos 226 dias após transplante, apresentou índice de área foliar de 0,737 e 0,936 m² m⁻² respectivamente. Em plantas da cultivar Mundo Novo IAC 388-17 enxertada em cultivar Apatã IAC 2258, Favarin et al. (2002) estimaram IAF, aos 450 e 510 dias, iguais a 0,27 e 0,58 m² m⁻². Esses resultados sugerem um comportamento específico para cada cultivar ou mesmo combinação de enxerto e porta-enxerto utilizada e práticas culturais.

2.4 Modelos exponenciais

Os modelos exponenciais são exemplos de modelos não lineares que não apresentam comportamento sigmoidal. Eles podem ser côncavos para cima ou para baixo.

Os modelos exponenciais têm sido muito utilizados em estudos de crescimento, onde a taxa de crescimento num dado tempo X é proporcional à

quantidade de crescimento restante (final) que ocorre com o aumento do tempo. Porém, para cafeeiros esses resultados não constam da literatura. Normalmente, modelos lineares ou quadráticos são utilizados, Carvalho et al. (2006) verificaram que o número de ramos plagiotrópicos de cafeeiros da cultivar Rubi MG 1192 podem ser descritos pelo modelo linear simples. Costa et al. (2010) trabalhando com cafeeiros das cultivares Obatã e IAPAR 59 em função de diferentes doses de NPK, verificaram que o número de ramos plagiotrópicos foi descrito por um modelo linear simples, considerando a cultivar Obatã e, por um linear quadrático, considerando a cultivar IAPAR 59.

Rodrigues et al. (2010) verificaram que o número de ramos plagiotrópicos, altura e diâmetro de copa de cafeeiros arábica, podem ser descritas por modelos quadráticos.

Para descrever o crescimento inicial do cafeeiro enquanto na fase de produção, pesquisadores têm lançado mão de modelos como logístico e de Gompertz (PEREIRA, 2013). Essa busca por modelos que apresentam menor número de parâmetros é interessante e pode ser mais eficiente na representatividade dos parâmetros biológicos e agrônômicos, no manejo da espécie no seu crescimento. Em se tratando de métodos de propagação, esses resultados ainda se tornam mais relevantes. Algumas características do crescimento das plantas, tais como altura, peso, diâmetro de frutos entre outros, geralmente é definido por uma curva sigmoideal, onde as taxas de crescimento vão aumentando até atingir um valor máximo, e, posteriormente, vão decrescendo e tendendo a zero (PEREIRA, 2013). A descrição dessas curvas pode ser explicada por modelos de regressão lineares e não lineares, sendo os modelos não lineares os que mais se destacam, por representarem melhor o comportamento sigmoideal das curvas de crescimento e por apresentarem parâmetros com interpretação biológica (MAZZINI et al., 2005).

Entretanto, outros modelos não lineares também são usados na descrição e análise de crescimento vegetal como o modelo exponencial, pois, em plantas em fase inicial de crescimento, os modelos sigmoidais podem não ser adequados, uma vez que a tendência é a planta se desenvolver até um máximo e a partir daí se estabilizar, a não ser que ocorram efeitos externos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características da área experimental

O experimento foi instalado e conduzido no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, localizada na cidade de Lavras, sul de Minas Gerais. A área experimental se encontra a 910 metros de altitude, localizada a 21° 14' 06" de latitude Sul e a 45° 00' 00" de longitude Oeste. O clima da região é classificado como Cwa, temperado com inverno seco e verão chuvoso, sendo a precipitação média anual de 1460 mm, com a maior e menor precipitação mensal normal, oscilando entre 321 mm em janeiro e 7 mm em julho. A temperatura média diária é de 20,4 °C, variando de 17,1 °C em julho a 22,4 °C em fevereiro. A evapotranspiração potencial (ETP) e a evapotranspiração real (ETR) variam de 899 a 956 mm e de 869 a 873 mm, respectivamente (DANTAS et al., 2007).

O solo da área é classificado como Latossolo vermelho escuro distroférico, de textura argilosa (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2006), e suas características físicas podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 Caracterização física do solo da área experimental⁽¹⁾. UFLA, Lavras-MG, 2013

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

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

3.2 Implantação, condução e tratos culturais

Na implantação do experimento, foram utilizadas mudas de cafeeiros provenientes de dois diferentes métodos de propagação. Mudas propagadas por sementes, oriundas da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 com seis meses de idade e mudas propagadas por embriogênese somática, utilizando-se o clone 3 do grupo Siriema com 12(doze) meses de idade.

O preparo do solo constou de aração e gradagem, sendo aplicado a lâço e, posteriormente, incorporado ao solo das áreas experimentais o equivalente a 2 (duas) toneladas ha⁻¹ de calcário dolomítico. A implantação dos experimentos ocorreu em fevereiro de 2012. O espaçamento utilizado foi de 3,60 m entre linhas e 0,6 m entre plantas. Com base nos resultados da análise de solo foram aplicados no plantio 80 gramas por cova de P₂O₅, tendo como fonte o

superfosfato simples. Foram feitas duas adubações com N e K₂O, via fertirrigação, aos 30 e 90 dias após o plantio, utilizando como fontes de N a ureia pecuária (45% de N) e nitrato de potássio (13% de N) que também forneceu o potássio (44% de K₂O). Os micronutrientes foram aplicados, via foliar (0,3% de ácido bórico, 0,3% de sulfato de zinco e 0,3% de cloreto de potássio). A adubação de primeiro ano após o plantio foi feita de acordo com a análise de solo (Tabela 2), e análise foliar, sendo realizadas via fertirrigação (SOBREIRA et al., 2011), utilizando as mesmas fontes já citadas para N e K₂O.

Tabela 2 Caracterização química do solo da área experimental antes da diferenciação dos tratamentos. UFLA, Lavras-MG, 2013

Características	0 - 20	20 - 40	Características	0 - 20	20 - 40
pH (H ₂ O)	5	4,8	Ca -/ T%	30,43	20,32
P- rem -(mg.L ⁻¹)	23,37	12,2	K-/ T%	2,84	2,67
P - (mg.dm ⁻³)	28,71	9,35	V - (%)	40,8	28,3
K - (mg.dm ⁻³)	88	76	m - (%)	8,48	19,54
Ca - (cmolc. dm ⁻³)	2,42	1,48	matéria Org - dag,kg ⁻¹	3,41	2,74
Mg - (cmolc.dm ⁻³)	0,6	0,39	Zn - (mg.dm ⁻³)	3,9	1,7
Al - (cmolc.dm ⁻³)	0,3	0,5	Fe - (mg.dm ⁻³)	29,8	25
H + Al - (cmolc. dm ⁻³)	4,7	5,22	Mn - (mg.dm ⁻³)	43,1	19,5
T - (cmolc. dm ⁻³)	7,94	7,28	Cu - (mg.dm ⁻³)	4,1	3,7
Mg - T%	7,54	5,29	B - (mg.dm ⁻³)	0,5	0,7

O controle de plantas daninhas na linha foi feito por meio de capina manual e química (aplicação de herbicida pré-emergente Oxifluorfen) e nas entrelinhas com roçadora costal e/ou mecanizada. O controle de pragas e doenças foi feito de acordo com a necessidade, utilizando-se produtos recomendados e registrados para tal finalidade.

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Foram implantados quatro ensaios com mudas provenientes de diferentes métodos de propagação: Embriogênese somática (ES), (I) mudas do clone 3 do grupo Siriema com 12 meses de idade, com resistência à ferrugem e ao bicho-mineiro. O clone é oriundo de um cruzamento entre *C. arabica* e *C. racemosa*, (II) sementes da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 em saquinho (SC), (III) sementes da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 em tubetes (TB) e (IV) sementes da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 em tubetes longos de PVC – 50 cm comprimento (TO) com capacidade volumétrica de 140 ml. Os 4 tipos de mudas foram combinados com 6 níveis de reposição de água, calculados com base em frações do Kc (coeficiente de cultura) estimado pelas características fitotécnicas do cafeeiro, segundo metodologia de Nova et al. (2001), correspondentes a (L1) testemunha não irrigada, (L2) 0,4; (L3) 0,7; (L4) 1,0 (L5) 1,3; (L6) 1,6.

O delineamento experimental é o de blocos casualizados com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por oito plantas, sendo consideradas úteis as seis plantas centrais.

A diferenciação dos níveis de reposição da irrigação, ou seja, a diferenciação dos tratamentos, ocorreu três meses após o plantio das mudas (maio de 2012). A irrigação foi aplicada através de um sistema de gotejamento, observando-se turnos fixos de irrigação com duas aplicações semanais (terça-feira e sexta-feira). Do plantio até a diferenciação dos tratamentos foi aplicada uma única lâmina de irrigação nas áreas experimentais, em turnos fixos de duas vezes por semana, de forma a garantir o pegamento das mudas.

Nos tratamentos irrigados, os valores das lâminas a serem aplicadas foram calculados pela expressão:

$$Li = (Et_0 Kc) \cdot Ki - PE,$$

Em que:

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

E_{to} = valor acumulado da Evapotranspiração de Referência calculado pelo método de Penman Monteith (ALLEN et al., 1998), no período entre duas irrigações sucessivas;

K_c = coeficiente de cultura do café com valor determinado pela metodologia de Nova et al. (2001) em função das variáveis fitotécnicas correspondentes à (i) altura das plantas (H_i), ao (ii) diâmetro de copa (D_i), à (iii) distância entre linhas (DL), à (iv) distância entre plantas nas linhas de plantio (DP) e ao (v) tipo de cobertura vegetal nas entre linhas;

K_i = fração da evapotranspiração ótima acumulada da lavoura estimada pela metodologia de Vila Nova et al. (2001) para cálculo de K_c de lavouras cafeeiras ($K_1=0,4$; $K_2= 0,7$; $K_3=1,00$; $K_4=1,30$ e $K_4=1,6$), testemunha não irrigada;

P_e = Precipitação efetiva acumulada ocorrida no período entre duas irrigações sucessivas.

O valor de K_c dos diversos tratamentos foi estimado, mensalmente, no primeiro ano, com base em valores obtidos nas curvas de evolução da altura (H_i) e do diâmetro de copa (D_i) das plantas de cada tratamento. Para efeito do cálculo das lâminas a serem aplicadas em cada tratamento (L_i) foi sempre selecionado o maior valor de K_c médio encontrado para os diversos tipos de mudas nos diversos tratamentos.

As curvas de evolução da altura média e do diâmetro médio de copa das plantas dos diversos tratamentos foram representadas por meio de equações logísticas com parâmetros ajustados aos dados observados de crescimento.

$$H_i = \frac{H_{\max_i}}{1 + e^{a_i - b_i t}} \qquad D_i = \frac{D_{\max_i}}{1 + e^{c_i - d_i t}}$$

Em que:

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

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

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

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

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

Com base na evolução dos valores de altura média e diâmetro de copa obtidos (H_i e D_i), estimou-se a evolução dos valores de área foliar do dossel, AF_i , em m^2 por planta, por meio da expressão proposta por Favarin et al. (2002), que é reproduzida abaixo:

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

Em que:

π = constante pi $\approx 3,14159...$;

D_i = diâmetro médio de copa, em metros, no tratamento i ;

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

Os valores de área foliar por planta (AF) foram introduzidos na equação proposta por Nova et al. (2001) para estimativa do valor do coeficiente de cultura (K_{ci}) de cada tratamento, por meio da expressão:

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

Em que:

AFi = área foliar do dossel em m²;

Di = diâmetro médio, em metros, da projeção da copa do cafeeiro no terreno;

DP = distância, em metros, entre as plantas na linha de plantio;

DL = distância, em metros, entre as linhas de plantio;

NP = número de plantas de café por hectare;

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

Os cálculos das irrigações foram realizados, usando - se o programa computacional excel, em planilhas específicas programadas de acordo com as características de clima da área experimental, onde eram inseridos dados de temperatura máxima e mínima (° C), umidade relativa (%), radiação solar (Watts), velocidade média do vento (m s⁻¹) e precipitação (mm).

3.4 Caracterização do clima, irrigação e umidade do solo

Os dados meteorológicos foram monitorados diariamente numa estação meteorológica (µmetos) instalada na área experimental que fornece as variáveis climatológicas necessárias para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), calculada pelo método de Hargreaves (BERNARDO, 2006).

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, PN 80, linhas de derivação de PVC, PN 40, linhas laterais com tubo flexível de polietileno, PN 40 e registros. Os gotejadores inseridos nas linhas laterais têm vazão de $4,0 \text{ L h}^{-1}$, espaçados uniformemente de 0,3 m na linha. O sistema foi avaliado no início do experimento quanto à uniformidade de distribuição de água.

3.5 Características avaliadas

Foram realizadas medidas de crescimento em altura, diâmetro de copa, diâmetro de caule e altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico.

3.5.1 Altura das plantas

Foram feitas medidas mensais de altura das plantas em centímetros, a partir da diferenciação dos tratamentos que ocorreu no mês de maio de 2012 até maio de 2013, com o uso de réguas em todas as parcelas de níveis de reposição de água para cada tipo de mudas.

3.5.2 Diâmetro de copa

Foram realizadas medições mensais do diâmetro de copa em centímetros (com o uso de réguas), a partir da diferenciação dos tratamentos que ocorreu no mês de maio de 2012 até maio de 2013, em todas as parcelas de níveis de reposição de água para cada tipo de mudas.

3.5.3 Diâmetro de caule

Foram feitas medidas mensais de diâmetro do caule em milímetros (usando paquímetro digital), a partir da diferenciação dos tratamentos que ocorreu no mês de maio de 2012 até maio de 2013, em todas as parcelas de níveis de reposição de água para cada tipo de mudas.

3.5.4 Altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico

Foi realizada a medição da altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico (cm), em relação ao solo com o uso de réguas, realizada no mês de maio de 2013, época da última avaliação.

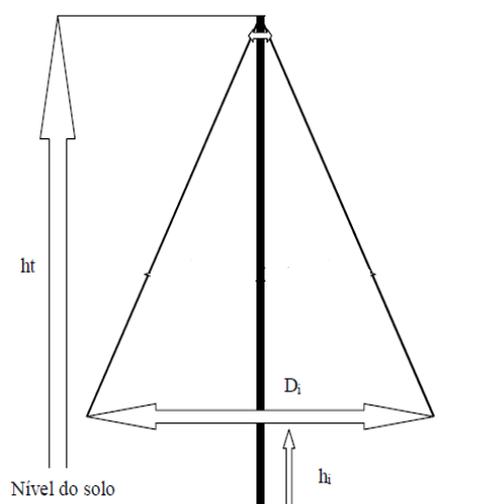


Figura 1 Variáveis de arquitetura de parte aérea da planta de café

Onde:

Ht = altura total em relação ao nível do solo (cm);

Hi = altura de inserção do primeiro plagiotrópico em relação ao nível do solo (cm);

Di = Diâmetro da seção inferior do dossel (cm).

3.5.5 Índice de Área Foliar

As medidas finais da altura (cm) e do diâmetro de copa das plantas (cm) referentes ao mês de maio de 2013, foram utilizadas para estimativa do índice de área foliar (IAF) segundo metodologia proposta por Favarin et al. (2002), utilizando a equação:

$$\text{IAF} = 0,0134 + 0,7276 \cdot \text{Di}^2 \cdot \text{Hd} \text{ (m}^2 \text{ m}^{-2}\text{)}$$
$$r^2 = 0,9893^{**}$$

Em que:

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

Hd = altura do Dossel (distância do primeiro ramo plagiotrópico ao ápice da planta, em metros).

3.5.6 Análise dos resultados

Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância, de acordo com Pimentel-Gomes (2009) para experimentos conduzidos no delineamento em blocos casualizados. Para os três experimentos com mudas da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 obtidas por sementes em diferentes recipientes (tubete, tubetão e saquinho de polietileno), foram realizadas análises conjuntas para todas as características avaliadas. As análises foram realizadas utilizando-se o programa computacional SISVAR (FERREIRA, 2011).

A representação gráfica do índice de área foliar (IAF) em função do tempo foi feita utilizando-se o programa estatístico R, considerando-se modelos estatísticos não lineares que, em muitas situações, necessitam de menos

parâmetros em relação aos modelos lineares, o que simplifica e facilita a interpretação.

Neste trabalho, foi utilizado o modelo não linear exponencial descrito da seguinte forma:

$$Y_i = A \exp (B, X_i) + E_i$$

Em que:

Y_i é o valor observado da área foliar no i -ésimo tempo;

A e B são os parâmetros do modelo; X_i são constantes conhecidas, representam o tempo;

E_i são os termos do erro, independentes, com distribuição normal de média 0 (zero) e variância σ^2 ;

X_i é o valor do i -ésimo tempo em dias após plantio.

Esses modelos exponenciais são utilizados em estudos de crescimento, nos quais a taxa de crescimento num dado tempo X é proporcional à quantidade de crescimento restante (final) que ocorre com o aumento do tempo, e A representa o crescimento máximo.

Em todas as situações, foi estimado o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), por meio da expressão:

$$R^2_{aj} = 1 - \left\{ \frac{(N-1)}{(N-P)} \right\} (1-R^2)$$

Sendo:

N = número de observações;

P = número de parâmetros do modelo ($P = 2$, no caso).

A escolha do modelo foi realizada com base na comparação entre o R^2 ajustado do modelo quadrático e o R^2 ajustado do modelo exponencial, sendo escolhido o modelo que apresentou maior R^2 ajustado. No caso, o modelo escolhido foi o exponencial.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Lâminas aplicadas e precipitação acumulada

As precipitações médias acumuladas (mm) e as lâminas médias aplicadas (mm) correspondentes aos diferentes manejos de irrigação durante cada mês do ano de avaliação são apresentadas na figura 2, sendo que os dados foram coletados por estação climatológica (Metos®) instalada no campo onde se encontram os experimentos.

Pode-se verificar na figura 2 que as maiores lâminas foram aplicadas no mês de agosto de 2012, lâminas estas com valores de 11,56; 20,24; 28,91; 37,58 e 46,26 mm, correspondentes as frações 0,4; 0,7; 1,0; 1,3 e 1,6 Kc respectivamente, período no qual a precipitação acumulada foi de 2,6 mm. A média obtida é menor que a registrada para a cidade de Lavras-MG no mesmo período em anos anteriores.

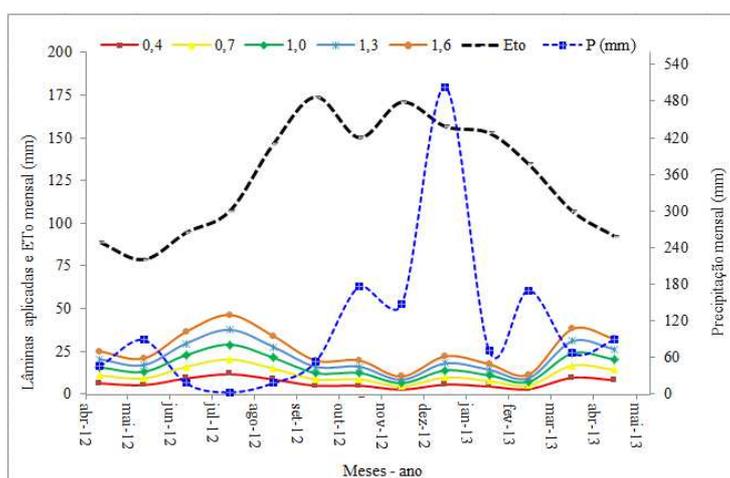


Figura 2 Precipitação mensal (mm) e lâminas de irrigação mensal (mm) aplicadas nos diferentes manejos da irrigação durante o ano de avaliação do experimento

Com base na Figura 2 verificou-se ainda que durante o ano de avaliação do experimento a precipitação média acumulada foi de 1359,22 mm, ficando um pouco abaixo da média esperada para a cidade de Lavras – MG que é de 1460 mm.

No período de avaliação maio/2012 a maio/2013, o valor de K_c , com base nas características fitotécnicas do cafeeiro (VILA NOVA et al., 2001) variou de 0,5 a 0,6

4.2 Embriogênese Somática: Altura (cm), diâmetro de copa (cm), diâmetro de caule (mm) e Índice de Área Foliar ($m^2 m^{-2}$) em função do manejo de irrigação

A partir dos dados coletados no experimento em campo, foram realizadas as análises de variância de modo a verificar a significância dos fatores.

Tabela 3 Valores de quadrados médios e respectivas significâncias da análise de variância para as características altura de plantas (cm), diâmetro de copa (cm), diâmetro de caule (mm) e índice de área foliar (IAF), de cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em diferentes manejos de irrigação (MI). Médias gerais e coeficiente de variação (CV)

FV	GL	Características			
		Altura de Planta	Diâmetro de Copa	Diâmetro de Caule	IAF
MI	5	143,84**	111,42*	17,08**	0,09**
Blocos	3	21,46	22,03	3,29	0,55
Reg. linear	1	407,97	353,99	40,42	0,28
Reg. quad.	1	167,34**	137,46*	29,71**	0,09*
Desvios	2	0,69	30,08	0,51	0,01
Erro	15	14,33	30,96	2,22	0,02
Média		107,84	129,55	34,44	1,09
CV (%)		3,51	4,30	4,33	11,82

*significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste f

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste f

Por meio da análise de variância, foi possível verificar que houve significância do fator manejo de irrigação para altura, diâmetro de copa, diâmetro de caule e índice de área foliar das plantas. Nesses parâmetros a análise de regressão indicou um polinômio de segundo grau como sendo a equação que melhor descreveu o crescimento (Figuras 3, 4, 5 e 6).

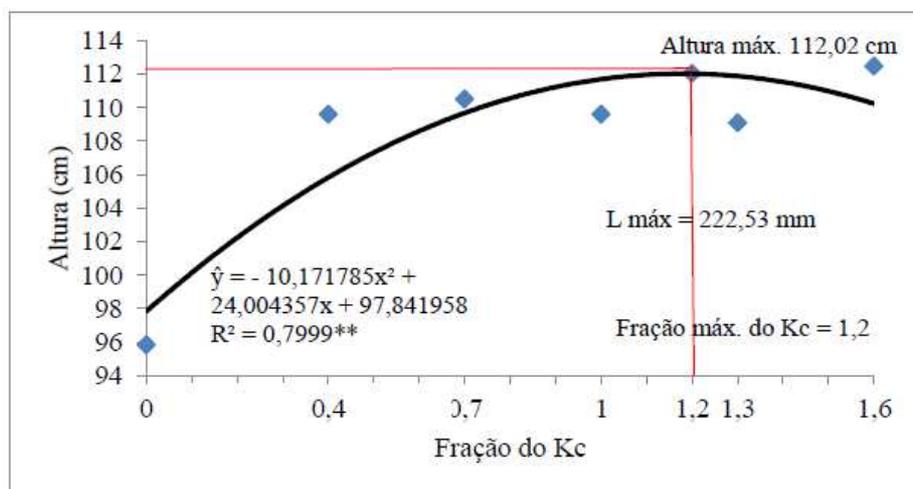


Figura 3 Altura de plantas de cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em função de diferentes manejos de irrigação

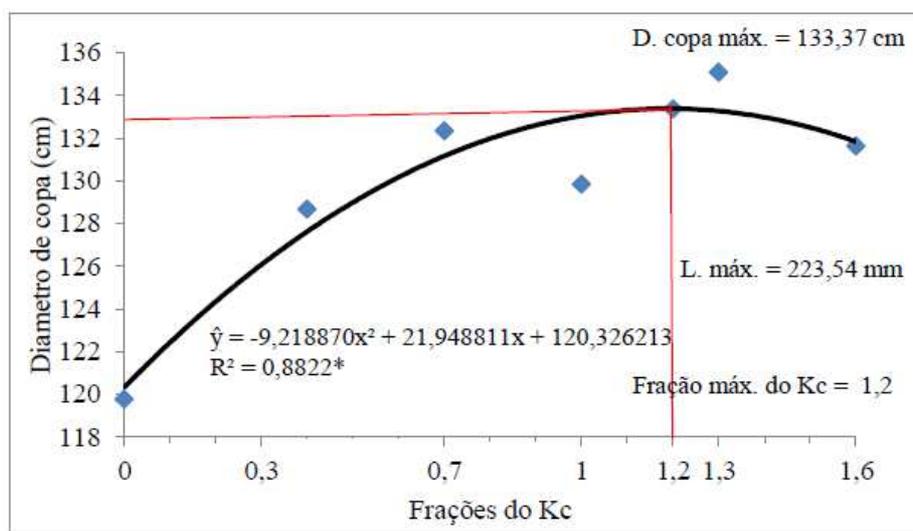


Figura 4 Diâmetro de copa dos cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em função de diferentes manejos de irrigação

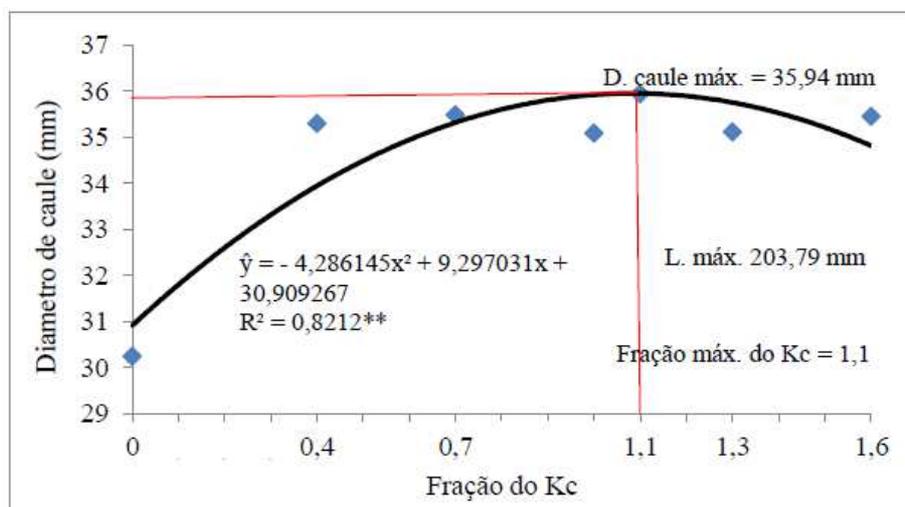


Figura 5 Diâmetro de caule dos cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em função de diferentes manejos de irrigação

De acordo com a figura 3, a altura dos cafeeiros propagados por embriogênese somática aumentou, à medida que se aumentou a fração do Kc, até o valor de 1,2 que correspondeu a uma altura máxima de 112 cm e uma lâmina aplicada ótima de 222,53 mm. A partir desse valor, a altura das plantas tende a diminuir, mostrando que lâminas excessivas de água correspondentes a valores de Kc acima de 1,2 podem ser prejudiciais para a formação do cafeeiro. A mesma tendência pode ser observada para o diâmetro de copa (figura 4) onde o mesmo aumentou até a fração de 1,2 do Kc com a aplicação de uma lâmina máxima de 223,54 mm, atingindo um diâmetro máximo de 133,37 cm. Para o diâmetro de caule, o maior valor observado foi de 35,94 mm, com o valor de Kc de 1,1 correspondente a aplicação de uma lâmina de 203,79 mm. Para cafeeiros no primeiro ano após plantio esses resultados indicaram que os maiores valores em altura, diâmetro de copa e diâmetro de caule foram encontrados sempre para manejos de irrigação correspondente a frações de Kc entre e 1,1 e 1,2 do Kc e lâminas compreendidas entre 203 e 224 mm, respectivamente. Tal fato pode ser

um indicativo de que a necessidade hídrica das mudas da cultivar Siriema propagadas via embriogênese somática nas condições de clima e solo da região do sul de Minas, na qual as plantas apresentaram maior crescimento (média de 223 mm e fração de 1,2 do coeficiente de cultura) e que aplicações acima podem resultar em desperdício de água e até mesmo prejuízo ao crescimento. Resultados semelhantes foram encontrados por Almeida et al. (2011), que avaliaram o crescimento vegetativo de cafeeiros propagados por embriogênese somática em diferentes níveis de disponibilidade de água no solo. Esses autores verificaram que a altura de plantas de Catuaí Vermelho IAC 144 propagadas por embriogênese somática, aumentou linearmente com o aumento nos níveis de irrigação até uma lamina de 30% acima da lamina considerada ótima. Esses mesmos autores, entretanto, verificaram que não houve resposta ao aumento da água de irrigação para diâmetro e massa seca do caule, diferindo dos resultados encontrados neste trabalho, presumivelmente por envolver a cultivar Siriema, que segundo Matiello et al. (2004) e Paglis et al. (2009) apresenta grande tolerância à seca e também por serem propagada por embriogênese somática que, segundo Almeida (2007), plantas propagadas por esse método apresentaram maior desenvolvimento vegetativo que as plantas propagadas por sementes, fazendo com essas plantas apresentem um consumo de água crescente até atingirem um ponto de máximo crescimento, e, a partir desse ponto, o consumo de água passa a ser um consumo de luxo. Vieira et al. (2000), trabalhando com cafeeiros em formação da cultivar Oeiras em Viçosa-MG (mudas provenientes de sementes) e sob diferentes níveis de reposição de água (tubos gotejadores) avaliaram as mesmas características e observaram que tanto o déficit como o excesso hídrico podem ser prejudiciais ao desenvolvimento do cafeeiro.

Na figura 6, estão representados os resultados do índice de área foliar (IAF) observados para os diferentes manejos de irrigação para cafeeiros do clone de Siriema, propagados por Embriogênese Somática.

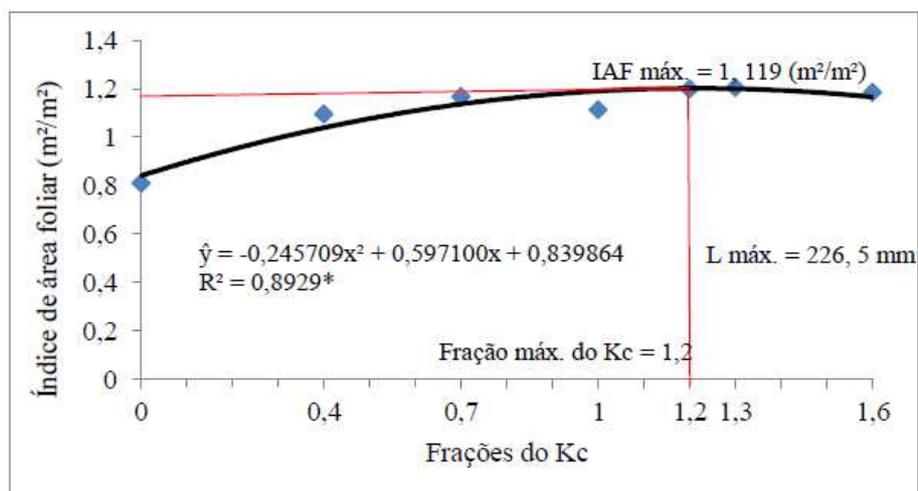


Figura 6 Índice de área Foliar de cafeeiros do clone de Siriema propagados por embriogênese somática em função de diferentes lâminas de irrigação

O comportamento do IAF em função do aumento nos níveis de reposição da irrigação foi descrito por um modelo quadrático. Nas parcelas sem irrigação, o IAF foi menor (média de 0,81m). A irrigação favorece o desenvolvimento inicial do cafeeiro, conforme relatado por Carvalho et al. (2006) e Rezende et al. (2010) que observaram maior diâmetro de copa e altura de plantas em cafeeiros irrigados, o que, conseqüentemente, implica em um maior índice de área foliar (IAF). Sob condições de restrição de água e/ou déficit hídrico, os processos metabólicos de crescimento das plantas podem ser afetados (CARVALHO et al., 2006. MOREIRA et al., 2004). O ajuste quadrático ainda demonstrou que com o aumento da lâmina de irrigação, o IAF também aumentou até a aplicação de uma lâmina de 226,5 mm, correspondente a 1,2 da fração do Kc. O máximo valor do IAF foi de 1,12 m² m⁻², o que representou um aumento de 38,27%, em relação ao IAF de cafeeiros não irrigados. Resultados semelhantes foram encontrados por Nazareno et al. (2003) em um ensaio realizado no campo experimental da Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária

dos Cerrado, onde o IAF aumentou em 75% nos tratamentos irrigados em comparação com os não irrigados. Com o aumento nos níveis de reposição de água em função do aumento nas frações do Kc, pode-se verificar que frações do Kc acima de 1,2 correspondente a lâminas acima de 226,5 mm, podem não promover aumento de crescimento ou, até mesmo serem prejudiciais, o que certamente refletirá na produção futura de frutos. Essa redução nos valores de IAF quando se aplicou cerca de 40 mm a mais do que seria recomendado com base na fração de 1,0 do Kc pode caracterizar um excesso de água para a fase de formação de cafeeiros propagados por embriogênese somática. Uma das prováveis causas é a de que com irrigações nesses níveis pode ocorrer a lixiviação de nutrientes, antes mesmo que sejam utilizados pelo cafeeiro (MARTINS et al., 2007). Por outro lado, pode ser um indicativo de menor necessidade hídrica em mudas propagadas por embriogênese somática em campo na fase inicial de crescimento ou formação da lavoura.

4.3 Mudanças propagadas por sementes em diferentes recipientes (Tubete, Tubetão e Saquinho)

Na Tabela 4, está apresentado o resumo da análise de variância conjunta para as características avaliadas. Observou-se que houve efeito significativo entre os tipos de mudas para altura de plantas, diâmetro de caule e índice de área foliar e entre manejos somente para altura de plantas e IAF. Não houve efeito significativo para a interação tipos de mudas x manejos para as quatro características consideradas.

Tabela 4 Valores de quadrados médios e respectivas significâncias da análise de variância para altura de plantas (AL - cm), diâmetro de copa (DCO - cm), diâmetro de caule (DCA - mm) e índice de área foliar (IAF) de cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 propagados por sementes em diferentes manejos de irrigação (MI). Média geral e coeficiente de variação (CV).

FV	GL	Características			
		Altura	Copa	Caule	IAF
Tipos de Mudanças	2	490,39*	165,81	24,85*	0,030*
Bloco (Mudas)	9	48,29	59,56	3,63	0,007
MI	5	148,41*	202,69*	11,43 ns	0,023*
Mudas*Lâminas	10	29,2 ns	28,23 ns	2,41 ns	0,003 ns
erro 2	45	47,37	98,01	6,18	0,01
Média		73,59	90,13	24,09	0,31
CV 1 (%)		9,44%	8,56%	7,90%	26,90%
CV 2 (%)		9,35%	10,90%	10,30%	31,20%

ns e *Não significativo e significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

Comparando-se os tipos de recipientes usados para a propagação de mudas por sementes, pode se observar na tabela 5 que as mudas produzidas em tubetes convencionais e tubetões (tubetes longos de 50 cm, confeccionados em PVC), apresentaram maior altura e maior diâmetro de caule em comparação com as mudas de saquinho, enquanto que para o diâmetro de copa e IAF os três tipos de mudas apresentaram comportamento semelhante, não diferindo entre si significativamente.

Tabela 5 Valores médios de altura de planta (ALT), diâmetro de copa (DCO), diâmetro de caule (DCA) e índice de área foliar (IAF) de mudas de cafeeiros Catuaí 144 propagadas via semente produzidas em três recipientes diferentes (Saquinho, Tubete e Tubetão)

Recipientes	Características			
	ALT	DCO	DCA	IAF
Saquinho	69,049 b	87,262 a	22,999 b	0,276 a
Tubetão	73,653 a	90,700 a	24,276 a	0,321 a
Tubete	78,089 a	92,426 a	25,010 a	0,342 a

As médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

As mudas de tubete e tubetão apresentaram maior altura em relação às mudas de saquinho, uma vez que as de tubete apresentaram maior altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico, em relação ao solo, o que nem sempre implica em dizer que maior altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico vai resultar em maior altura de planta, pois as mudas no tubetão apresentaram maior altura que as de saquinho, entretanto exibiram menor altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico em relação ao solo (tabela 6).

Tabela 6 Valores médios de altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico em relação ao solo para cafeeiros Catuaí 144 propagadas via semente produzidas em três recipientes diferentes (Saquinho, Tubete e Tubetão)

Recipientes	Altura de inserção do primeiro ramo plagiotrópico em relação ao solo
Tubete	27,82 a
Saquinho	22,80 b
Tubetão	22,21 c

As médias seguidas da mesma letra diferem entre si pelo teste de Scott- Knott a 5% de probabilidade

Porém, no cálculo do IAF, segundo a metodologia de Favarin et al. (2002), essa altura de inserção deve ser descontada da altura total. Assim, quando subtraíu esses valores, todas as mudas passaram a ter altura e diâmetro de copa muito próximos, fazendo com que não houvesse diferença significativa no IAF.

Em termos práticos, as plantas formadas nos três diferentes recipientes apresentam o mesmo valor de IAF, ou seja, apesar de o tubete e tubetão apresentarem maiores alturas em relação às plantas do saquinho, elas têm o mesmo IAF, o que significa que mesmo com alturas diferentes elas apresentam a mesma capacidade de produção para esse primeiro ano de avaliação, uma vez que o IAF ($m^2 m^2$) é a relação funcional existente entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura. Considerando que o rendimento agrícola é expresso pela quantidade de matéria colhida por unidade de área, é válido expressar a área foliar sobre a mesma base do rendimento (WATSON, 1952).

Dessa maneira, do ponto de vista prático, pode-se inferir que para a implantação de lavouras irrigadas por sistema de gotejamento na região do sul de Minas, as mudas propagadas por tubetes, apesar de terem apresentado crescimento em altura e DCA estatisticamente igual ao tubetão, e não apresentarem diferença no DCO e IAF em relação aos demais tipos, elas podem ser uma opção viável, pois menor quantidade de substrato é utilizado na produção além da maior facilidade no plantio em relação ao tubetão. Porém, é necessário um maior período de avaliação, incluindo análise do crescimento e da produtividade, pois o sistema radicular das mudas formadas em tubetão, era mais profundo por ocasião do plantio, presumivelmente poderá resultar em maior eficiência no uso da água em lavouras em produção. Silva et al. (2003), estudando diferentes recipientes na formação de mudas em viveiro, verificou que mudas produzidas em tubetes de 120 ml e saquinhos de polietileno, foram melhores que os demais. Gervásio (2003), avaliando o efeito de lâminas de

irrigação e doses de condicionador, associadas a diferentes volumes de tubetes (60 e 120 cm³), na produção de mudas de cafeeiro no período de quatro meses, concluiu que para o bom desenvolvimento da muda são necessárias lâminas de irrigação superiores a 600 mm, associadas à utilização de tubetes de 120 cm³. Embora em vaso e ambiente protegido, esse valor de lâmina aplicada é superior aos valores de lâminas aplicados neste experimento, no período de 12 meses mesmo na maior fração de Kc de 1,6 (301 mm durante 12 meses).

Nas figuras 7 e 8, estão apresentadas as equações de ajuste da altura de plantas e índice de área foliar de cafeeiros propagados via sementes em três diferentes recipientes (saquinho, tubete e tubetão) em função das lâminas de irrigação.

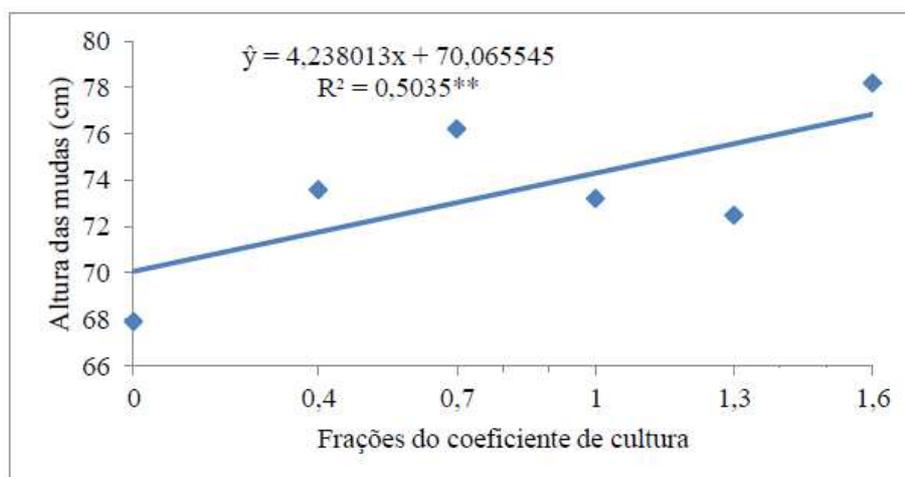


Figura 7 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para altura de mudas de cafeeiros propagados via sementes em função de diferentes manejos de irrigação

Observa-se, na figura 7, que a altura das plantas aumentou linearmente, em função do aumento dos valores de Kc empregados como critério para

quantificar as lâminas aplicadas, ou seja, para cada milímetro que se aumenta na lâmina de irrigação, ocorre um incremento de 0,022 cm na altura das plantas ou para cada nível que se aumenta na fração do K_c (coeficiente de cultura) a altura das plantas aumenta 4,23 cm, independente do recipiente em que a muda foi produzida. Vilella e Faria (2003), trabalhando com diferentes lâminas de irrigação (0, 40, 60, 80 e 100% da ECA), verificaram que a altura de plantas de cafeeiros também aumentou de forma linear, e a maior altura foi encontrada quando foi aplicada uma lâmina correspondente 100% da ECA. O mesmo foi verificado por Almeida et al. (2011), trabalhando com dois métodos diferentes de propagação (Embriogênese somática e sementes) e lâminas diferentes de irrigação (40, 70, 100 e 130% da capacidade de campo), em vasos. Esses autores verificaram que a altura das plantas aumentou de forma linear, e a maior altura foi encontrada para a maior lâmina, correspondente a 130% da capacidade de campo. Os resultados obtidos confirmam as afirmações de

Gervásio (2003) que observou o mesmo efeito positivo da irrigação sobre a altura de cafeeiros, quando estes foram comparados a cafeeiros não irrigados. Porém, é importante frisar que a resposta pode ser diferente dependendo do método de propagação, uma vez que na embriogênese somática nem sempre aumento da lâmina implica em maior crescimento.

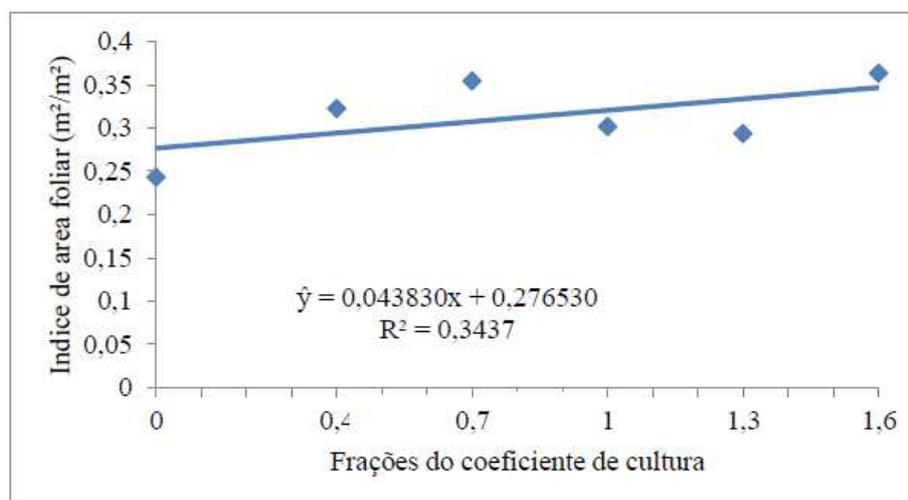


Figura 8 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados via sementes em função de diferentes manejos de irrigação

A mesma tendência foi observada para o índice de área foliar (IAF), (figura 8), onde para cada milímetro que se aumentou na lâmina aplicada, houve um incremento de $0,0002 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, ou também para cada nível que se aumentou na fração do K_c (coeficiente de cultura) tem-se um incremento da ordem de $0,044 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ no IAF. Essa mesma tendência pode ser explicada, pelo fato de que o IAF foi calculado com base nas características fitotécnicas de altura das plantas e do diâmetro de copa, segundo metodologia descrita por Favarin et al. (2002). Como o diâmetro de copa não apresentou diferença significativa, a curva de crescimento do IAF apresentou a mesma tendência da curva de altura.

4.4 Índice de área foliar em função do tempo para mudas propagadas por embriogênese somática e sementes em diferentes recipientes (Saquinho, Tubete e Tubetão) para três manejos de irrigação

Na figura 9, são apresentadas as curvas de ajuste de regressão para índice de área foliar em função do tempo para mudas de cafeeiros do clone de Siriema propagadas por embriogênese somática para cafeeiros não irrigados e irrigados em frações correspondentes a 1,0 e 1,6 do Kc. Nas figura 10, 11 e 12 são apresentadas as curvas de resposta para mudas da cultivar catuaí vermelho IAC 144, propagadas por sementes em diferentes recipientes (tubete, tubetão e saquinho) de cafeeiros não irrigados (Figura 10) e irrigados em lâminas correspondentes às frações de 1,0 do Kc (Figura 11) e 1,6 do Kc (Figura 12).

Observa-se que, para todos os tipos de muda e em todos os manejos da irrigação, o modelo exponencial descreveu o índice de área foliar com coeficientes de determinação significativos. Optou-se por esse modelo uma vez que, quando comparado ao quadrático, o mesmo apresentou melhor ajuste.

Na embriogênese somática, o índice de área foliar inicial para plantas não irrigadas (Figura 9) apresentou menores acréscimos até, aproximadamente, os 180 dias quando é possível observar que os ganhos no crescimento se tornam maiores a cada intervalo de 30 dias.

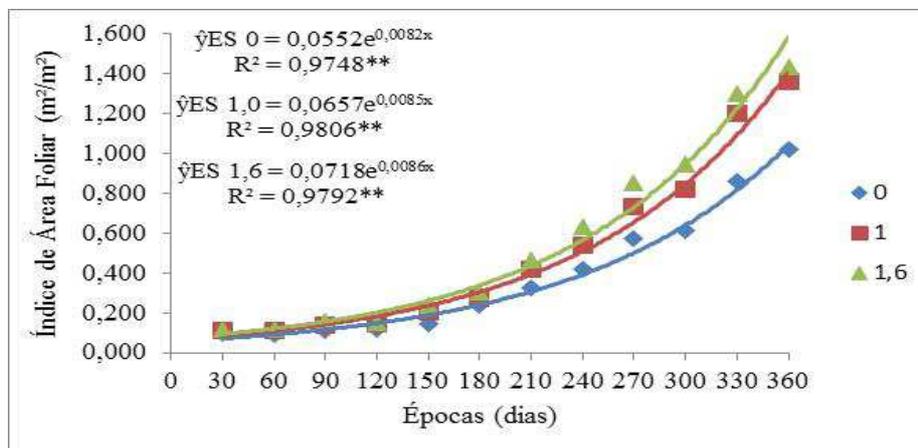


Figura 9 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados por embriogênese somática em função das épocas para cafeeiros não irrigados e irrigados nas frações de 1,0 e 1,6 do Kc

As mudas propagadas por sementes (figura 10, 11 e 12) independentemente do método empregado apresentaram comportamento semelhante, porém os incrementos no IAF são mais discretos em relação à embriogênese somática (figura 9). Mas, em ambos os casos o crescimento descrito pelo modelo exponencial com valores de R² acima de 0,8900 permite inferir sobre a eficácia desse modelo para descrever o crescimento de mudas de cafeeiros em campo até a idade de um ano. Embora não seja o objetivo comparar nos gráficos a diferença de crescimento em cada avaliação é possível observar a manutenção de um maior IAF em mudas de embriogênese somática em todas as épocas de avaliação (Figura 9). Levando-se em consideração que o mesmo comportamento é observado também em plantas irrigadas, essa ocorrência pode ser explicada pelo fato de que foram utilizadas mudas de dois anos para a embriogênese somática, enquanto as de semente foram de seis meses. Ainda

podem existir diferenças inerentes às cultivares utilizadas que foram Siriema e Catuaí Vermelho IAC 144, respectivamente.

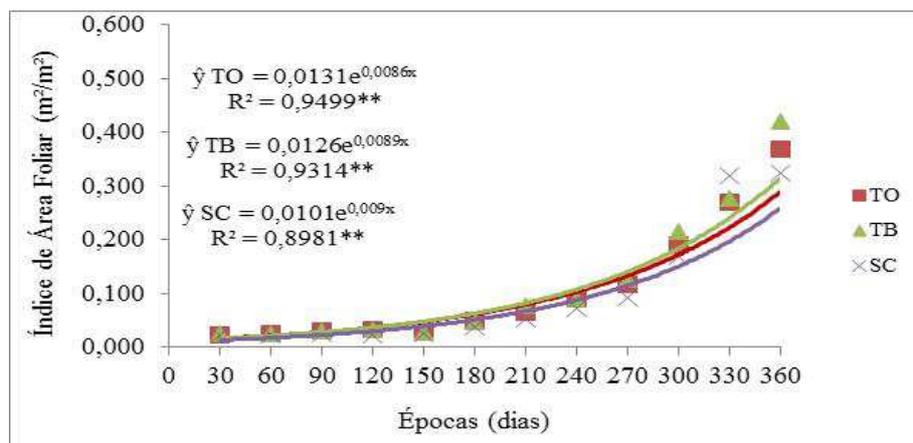


Figura 10 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados por sementes em diferentes recipientes (saquinho, tubete e tubetão) em função das épocas para cafeeiros não irrigados

Para plantas irrigadas com reposições de água iguais a evapotranspiração computada (fração de 1,0 do Kc) ou com 60% (fração de 1,6 do Kc) a mais desse valor, o IAF também foi descrito por um modelo exponencial (Figuras 11 e 12). O estudo acerca do crescimento do cafeeiro apresenta grande aplicação na pesquisa agropecuária, pois permite ao pesquisador comparar o comportamento das plantas perante diversas situações (MAIA et al., 2009), podendo, a partir dessas curvas de crescimento, planejar um programa de tratos culturais que melhor atenda a lavoura cafeeira nesta fase de desenvolvimento (lavoura em formação).

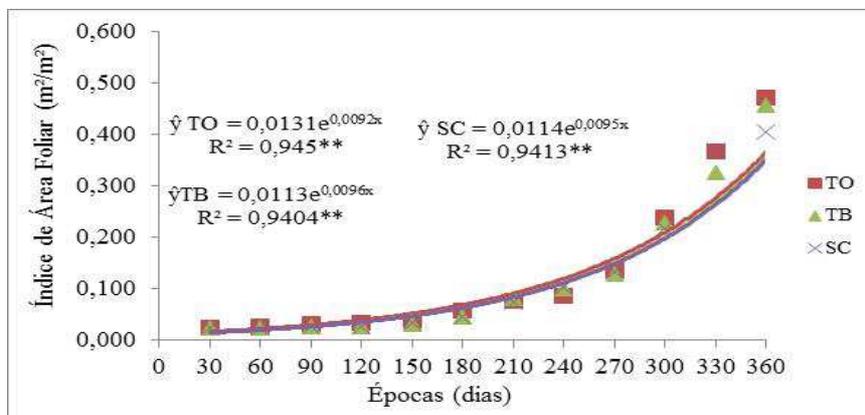


Figura 11 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados por sementes em diferentes recipientes (saquinho, tubete e tubetão) em função das épocas para a lâmina aplicada na fração de 1,0 do Kc

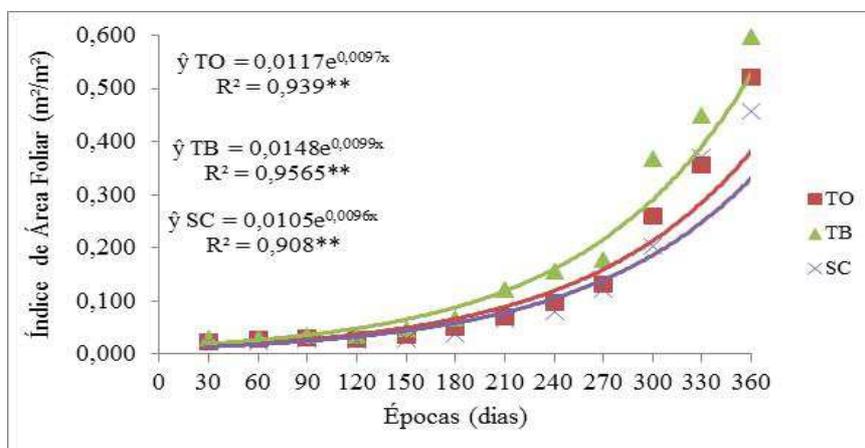


Figura 12 Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação para índice de área foliar de mudas de cafeeiros propagados por sementes em diferentes recipientes (saquinho, tubete e tubetão) em função das épocas para a lâmina aplicada na fração de 1,6 do Kc

Os gráficos das figuras 9, 10, 11 e 12 apresentaram melhor ajuste para o modelo estatístico não linear exponencial, em razão do R^2 ajustado desse modelo ser maior que o R^2 ajustado do modelo quadrático. O mesmo foi verificado por Urchei, Rodrigues e Stone (2000), avaliando o crescimento de feijoeiros. Os autores verificaram que o acúmulo de matéria seca em função do tempo, pode ser descrito por modelos exponenciais. Fayad et al. (2001) também verificaram que a altura de plantas e o acúmulo de matéria seca em plantas de tomateiro cultivar Santa Clara e EF 50 também podem ser descritos por modelos não lineares exponenciais.

5 CONCLUSÃO

Para cafeeiros em primeiro ano após plantio, irrigados por sistema de gotejamento e nas condições deste experimento, concluiu-se que:

Em plantas do clone 3 de Siriema propagado por embriogênese somática, lâminas de irrigações correspondentes a frações do K_c de 10 a 20% acima do valor médio usado neste estudo ($K_c=0,55$) resultam em maior crescimento, enquanto que para a cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 lâminas de irrigações correspondentes a frações de até 60% acima desse valor resultam em crescimento linear.

Plantas do clone 3 de Siriema propagadas por embriogênese somática e mudas da cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 propagadas por sementes em diferentes recipientes apresentam resposta positiva para o cultivo irrigado na região do sul de Minas Gerais.

O modelo exponencial representa adequadamente o desenvolvimento do IAF de mudas de cafeeiros propagadas por embriogênese somática e sementes (tubete, tubetão e saquinho) no primeiro ano após plantio.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.
- ALMEIDA, G. R. R. et al. Comportamento de cafeeiros propagados via Embriogênese Somática em diferentes níveis de água no solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 114-119, 2011.
- ALMEIDA, G. R. R. et al. Resposta a estresse hídrico e comportamento em condições de campo de cafeeiros propagados por embriogênese somática. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2007.
- ALMEIDA, W. C. de. **A água na agricultura: algumas considerações sobre o uso da água na agricultura**. Goiânia: Associação Brasileira de Direito Agrário. Disponível em: <<http://www.abda.com.br/palestraalmeida.htm>>. Acesso em: 28 nov. 2013.
- ARANTES, K. R. et al. Recovery of coffee tree (*Coffea arabica* L.) after pruning under different irrigation depths. **Acta Scientiarum-Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 313-319, Apr./June 2009.
- ARAÚJO, G. L. et al. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café Conilon. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 115-124, 2011.
- ASSIS, G. A. et al. Padrões de rendimento do cafeeiro em função do regime hídrico, densidade de plantio e bienalidade de produção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISAS EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 11., 2009, Araguari. **Anais...** Uberaba: ACA/UNIUBE, 2009. 1 CD ROM.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Indicadores da indústria de café no Brasil-2012. Rio de Janeiro: ABIC, 2012. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61#1910>>. Acesso em: 10 dez. 2013.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 2006.

CARVALHO, A. D. et al. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 269-275, mar. 2010a.

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

CARVALHO, C. H. M. **Viabilidade técnica e margem de contribuição da irrigação para cafeeiros em diferentes densidades de plantio**. 2013. 86 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

CARVALHO, C. H. S. et al. Características agronômicas e morfológicas de cafeeiro 'Catuaí Vermelho' propagado por embriogênese somática. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 4, p. 378-383, abr. 2011.

CARVALHO, C. H. S. et al. Produção de clones de café arábica. In: ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T.; ZAMBOLIM, E. M. (Ed.). **Estratégias para a produção de café com qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: Editora UFV, 2010. p. 13-31.

CHRISTOFÍDIS, D. **Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2006.

COELHO, G. et al. Effect of times of irrigation and splitting of fertilizer on the productivity of 'Catuai' coffee plant. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./feb. 2009.

COELHO, G.; SILVA, A. M. da. Irrigation seasons and splitting fertilizer effects on coffee plant productivity of three crops consecutive. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 400-408, mar./apr. 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Avaliação da safra Agrícola Cafeeira 2013: terceira estimativa–setembro/2013. Brasília: Conab, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_09_09_15_34_48_boletim_cafe_-_setembro_2013.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2013.

CONEJO, J. G. L. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. **Cadernos de Recursos Híbridos**, Brasília, p. 1-112, maio 2005.

COSTA, A. R. da et al. Number of primary branches and productivity of two cultivars of coffee using drip irrigation. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 571-581, Oct./Dec. 2010.

COSTA, E. L. et al. Irrigação. In: REIS, P. R.; CUNHA, R. L. (Ed.). **Café arábica do plantio a colheita**: volume 1. Lavras: EPAMIG, 2010. p. 451-517.

CUNHA, R. L. et al. Avaliação de substratos e tamanhos de recipientes na formação de mudas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 7-12, jan./fev. 2002.

DANTAS, A. A. A. et al. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, dez. 2007.

DARDENGO, J. D. et al. Influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro Conilon. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 6, p. 1-14, nov./dec. 2009.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Água: sem ela seremos o planeta Marte de amanhã**. Brasília: Embrapa, 2011. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/down_hp/464.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Um terço de café consumido no mundo é produzido no Brasil**. Brasília: Embrapa Café, 2013. Disponível em: <[http://www.sapc.embrapa.br/index.php/ultimas-noticias/um-terco-do-cafe-consu mido-no-mundo-e-produzido-no-brasil](http://www.sapc.embrapa.br/index.php/ultimas-noticias/um-terco-do-cafe-consu-mido-no-mundo-e-produzido-no-brasil)>. Acesso em: 03 fev. 2014.

FALKENMARK, M. **Population, environment and development: a water perspective**. New York: United Nations, 1994.

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

FAYAD, J. A. et al. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 232-237, jul./set. 2001.

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

FERREYRA, R. et al. Effect of applied water on water relations and productivity of 'Crimson Seedless' table grapes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 7, p. 1109-1118, July 2006.

GERVÁSIO, E. S. **Efeito de lâminas de irrigação e doses de condicionador, associadas a diferentes tamanhos de tubetes, na produção de mudas de cafeeiro**. 2003. 105 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

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

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Produção de mudas de cafeeiro**. Lavras: Editora da UFLA, 1998.

JOHN, L. **Água e agricultura**. São Paulo: Associação Guardiã da Água, 2004. Disponível em: <http://www.agua.bio.br/botao_d_N.htm>. Acesso em: 29 nov. 2013.

LIMA, L. A.; CUSTODIO, A. A. de P.; GOMES, N. M. Coffee yield and production during the initial five harvests under irrigation with center pivot in Lavras, MG. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, nov./dec. 2008.

LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006. 143 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.

LUZ, M. J. S.; BEZERRA, J. R. C.; FARIAS, J. C. S. **Fator limitante para a expansão da agricultura no Século XXI: recursos hídricos**. Campina Grande: Embrapa, 2005.

MAIA, E. et al. Métodos de comparação de modelos de regressão não lineares em bananeiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1380-1386, ago. 2009.

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

MATIELLO, J. B. et al. Maior vigor e resistência a seca em cafeeiros Siriema. **Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira**, Varginha, v. 1, n. 2, p. 29-30, jul./ago. 2004.

MAZZINI, A. R. A. et al. Curva de crescimento de novilhos Hereford: heterocedasticidade e resíduos autorregressivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 422-427, mar./abr. 2005.

MELLO, B. **Estudos sobre produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes**. 1999. 119 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

MENÉNDEZ-YUFFÁ et al. A comparative analysis of the development and quality of nursery plants derived from somatic embryogenesis and from seedlings for large scale propagation of coffee (*Coffea arábica* L.). **Plant Cell Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 102, n. 3, p. 297-307, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Informe estatístico do café**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2013. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatisticas>>. Acesso em: 15 fev. 2013.

MIRANDA, W. L. et al. Vegetative development of arabica coffee plants grafted onto robusta coffee, subjected to water replacement. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1618-1624, Dec. 2011.

MOREIRA, R. C. et al. Espaçamentos para cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com e sem o emprego de irrigação. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 73-78, 2004.

NAZARENO, R. B. **Crescimento inicial da parte aérea do cafeeiro rubi influenciado por NPK e regime hídrico**. 2002. 64 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Agroambiente)-Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

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

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

OLIVEIRA, A. L. de et al. Desenvolvimento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) enxertados submetidos a diferentes níveis de reposição de água. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1291-1298, nov./dec. 2003.

PAGLIS, C. M. et al. Sistema radicular do café siriema cultivado sob restrição hídrica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 2009, Vitória. **Anais...** Vitória: SBICafé, 2009.

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

PEREIRA, A. A. **Descrição do crescimento do cafeeiro utilizando modelos de regressão**. 2013. 72 p. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

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

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985.

REYNOLDS, A. G. et al. Influence of irrigation on vine performance, fruit composition, and wine quality of Chardonnay in a cool, humid climate. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 58, n. 2, p. 217-228, 2007.

REZENDE, F. C. et al. Cafeeiro recepado e irrigado em diferentes épocas: produtividade e qualidade. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 229-236, 2010.

REZENDE, F. C. et al. Efeitos do potencial de água da folha na indução da floração e produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 2, p. 126-135, 2009.

RIBEIRO, M. S. et al. Effects of processing coffee wastewater on first year coffee plants growth. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 569-577, Oct./Dec. 2009.

RODRIGUES, S. et al. Desenvolvimento do café arábica (*Coffea arábica*) submetido a diferentes lâminas de irrigação, nas condições do estado de Rondônia. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 1, p. 44-49, 2010.

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

SASAKI, T. et al. Estimation of leaf area index and canopy openness in broadleaved forest using an airborne laser scanner in comparison with high-resolution near-infrared digital photography. **Landscape and Ecological Engineering**, Tokyo, v. 4, n. 1, p. 47-55, May 2008.

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

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

SHIKLOMANOV, I. A. Appraisal and Assessment of word water resources. **Water International**, Urbana, v. 25, p. 11-32, 2000.

SILVA, C. A. da et al. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, 2008.

SILVA, J. I. et al. Efeito de diferentes substratos e recipientes na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea canephora*). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 2003, Porto Seguro, 2003. **Anais...** Porto Seguro: SBICafé, 2003.

SOARES, A. R. et al. Irrigação e fisiologia da floração em cafeeiros adultos na região da zona da mata de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 1, p. 117-125, jan./mar. 2005.

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

SUPERINTENDÊNCIA DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Água no planeta**. São Paulo: SABESP, 2013. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=97>>. Acesso em: 03 de dez. 2013.

TESFAYE, S. G.; RAZI, I. M.; MAZIAH, M. Effects of deficit irrigation and partial rootzone drying on growth, dry matter partitioning and water use efficiency in young coffee (*Coffea arabica* L.) plants. **Journal of Food Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 6, n. 3-4, p. 312-317, July/Oct. 2008.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 497-506, mar. 2000.

VALLONE, H. S. et al. Efeito de recipientes e substratos utilizados na produção de mudas de cafeeiro no desenvolvimento inicial em casa de vegetação, sob estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 320-328, mar./abr. 2010.

VENEZIANO, W.; FONSECA, A. F. A.; FAZUOLI, L. C. Avaliação de clones de café conilon em Rondônia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DE CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: Consórcio Brasileiro de Pesquisas e Desenvolvimento do Café, 2003. p. 219.

VIEIRA, G. H. S. et al. Influência de diferentes lâminas de irrigação nos parâmetros de crescimento do cafeeiro na região de Viçosa, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, Poços de Caldas, 2000. **Anais...** Poços de Caldas: SBICafé, 2000.

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

VILELLA, W. M. da C.; FARIA, M. A. de. Crescimento de cafeeiros submetidos a cinco lâminas de irrigação e três parcelamentos de adubação. **Irriga**, Botucatu, v. 8, p. 168-177, 2003.

WATSON, D. J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 4, p. 101-144, Sept. 1952.

WORKU, M.; ASTATKIE, T. Growth responses of arabica coffee (*Coffea arabica* L.) varieties to soil moisture deficit at the seedling stage at Jimma, Southwest Ethiopia. **Journal of Food Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 8, n. 1, p. 195-200, Jan. 2010.

WORLD WATER VISION. A Water Secure World. **Vision for water, life and environment**: world water comission report. Inglaterra: Thames Press, 2000.