

## TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO DE CAFEEIROS PRODUZIDOS POR ESTAQUIA E EMBRIOGÊNESE SOMÁTICA

Anderson William Dominghetti<sup>1</sup>, Antônio Jackson de Jesus Souza<sup>2</sup>, Helbert Rezende de Oliveira Silveira<sup>3</sup>, José Antônio do Vale Sant'Ana<sup>4</sup>, Kamila Rezende Dázio de Souza<sup>5</sup>, Rubens José Guimarães<sup>6</sup>, Jordana Reis Lacerda<sup>7</sup>

(Recebido: 29 de maio de 2015; aceito: 31 de julho de 2015)

**RESUMO:** A irrigação em lavouras cafeeiras é foco de pesquisas há muitos anos, porém as novas tecnologias de produção de mudas (embriogênese somática e estaquia) têm demandado novos estudos de comportamento dessas em campo e suas necessidades hídricas. Um experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, objetivando-se avaliar a tolerância ao déficit hídrico de cafeeiros oriundos de mudas obtidas por embriogênese somática e estaquia, na fase de implantação da cultura. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com cinco repetições, esquema fatorial 2 x 5 sendo dois tipos de mudas, produzidas por embriogênese somática e estaquia, além de cinco níveis de irrigação, baseados na manutenção da capacidade de campo (CC) do solo a 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da CC. Aos 153 dias após o início do experimento foram avaliados os teores foliares de prolina, potencial hídrico foliar, altura de plantas, diâmetro de caule, área foliar, peso seco de raízes e parte aérea. Constatou-se que cafeeiros oriundos de estaquia e embriogênese somática respondem positivamente e progressivamente à irrigação. Verificou-se também que a capacidade de campo do solo mantida abaixo de 74,6% e 100%, para cafeeiros oriundos de mudas de embriogênese somática e estaquia respectivamente, prejudicam o crescimento e desenvolvimento iniciais das plantas.

**Termos para indexação:** *Coffea arabica*, plantio de cafeeiro, irrigação, capacidade de campo.

## TOLERANCE TO DROUGHT OF COFFEE TREES PRODUCED BY CUTTINGS AND SOMATIC EMBRYOGENESIS

**ABSTRACT:** The irrigation in coffee plantations is the focus of research for many years, but the new seedling production technologies (somatic embryogenesis and cuttings) have demanded new behavioral studies of these in the field and their water needs. An experiment was carried out in a greenhouse at the Federal University of Lavras, Lavras - MG, Brazil, aiming at to evaluate the tolerance to drought of coffee coming from seedlings produced by somatic embryogenesis and cutting, the culture of the deployment phase. The experimental design was a randomized complete block design with five replicates, factorial 2 x 5 with two types of seedlings produced by somatic embryogenesis and cuttings, and five levels of irrigation, based on the maintenance of soil field capacity 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. At 153 days after beginning of the experiment were evaluated foliar contents proline, leaf water potential, plant height, stem diameter, leaf area, dry weight of roots and shoots. It was found that coffee originated from cuttings and somatic embryogenesis positively and increasingly respond to irrigation. It was also found that the field capacity maintained below 74.6% to 100% coffee derived somatic embryogenesis of seedlings and cuttings, respectively, harm the growth and initials development of plants.

**Index terms:** *Coffea arabica*, coffee planting, irrigation, field capacity.

### 1 INTRODUÇÃO

A propagação de plantas de cafeeiro da espécie *Coffea arabica* L., historicamente, foi realizada por meio de sementes, método esse consagrado como ideal para a cultura até então. Porém, um problema com esse método é o longo período necessário para obtenção de uma cultivar no processo de melhoramento genético. A obtenção de clones de híbridos com grande potencial produtivo, por meio da utilização de

técnicas de propagação vegetativa como estaquia e embriogênese somática, surgem como alternativa para o desenvolvimento de novas cultivares, em menor tempo.

Embora seja uma boa opção à produção de mudas de *Coffea arabica* L., poucos estudos têm sido realizados a respeito dessas novas técnicas de propagação, havendo necessidade de se conhecer o comportamento desses tipos de muda em condições ambientais adversas como é o caso do estresse hídrico.

<sup>1,2,3,6,7</sup>Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Setor de Cafeicultura - Cx. P. 3037 - 37.200-000 Lavras - MG - andersonwd10@yahoo.com.br, jacksonagro@gmail.com, herosrezende@yahoo.com.br, rubensjg@dag.ufla.br, jordanarlacerda@hotmail.com

<sup>4</sup>Universidade Federal de Uberlândia/UFU - Instituto de Ciências Agrárias/ICIAG - Cx. P. 593 - 38400-902 - Uberlândia - MG avsantana@iciag.ufu.br

<sup>5</sup>Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Setor de Fisiologia Vegetal - Cx. P. 3037 - 37.200-000 Lavras - MG - krdazio@hotmail.com

Em plantas originárias de estaquia não existe a presença de uma raiz pivotante, como acontece nas mudas de origem seminal, ou seja, nesse caso ocorre a formação de diversas raízes laterais adventícias (OLIVEIRA et al., 2004). Porém, apesar de não apresentarem uma raiz pivotante, as mudas produzidas por estacas possuem sistema radicular volumoso, como constataram Jesus, Carvalho e Soares (2005), onde o desenvolvimento do sistema radicular de mudas obtidas por estaquia foi maior do que o de mudas obtidas por sementes. Porém, não se sabe se esse maior desenvolvimento pode refletir em maior tolerância ao déficit hídrico.

O mesmo ocorre com mudas obtidas por embriogênese somática, onde observa-se a formação de duas ou mais raízes principais, que crescem predominantemente no sentido vertical descendente, com grande quantidade de raízes finas (ALMEIDA et al., 2011). Dessa forma, é possível que essas plantas explorem camadas mais superficiais de solo e estejam mais sujeitas a estresse por falta de água, contudo estudos a esse respeito ainda não são conclusivos.

Para se avaliar o comportamento das mudas produzidas por essas novas metodologias de propagação, em condições de estresses hídricos, ou mesmo encontrar a quantidade mínima de água na irrigação para o completo crescimento e desenvolvimento das plantas em campo, podem-se utilizar sinais indicativos nas plantas de ocorrência de estresse.

O acúmulo do aminoácido prolina nas folhas das plantas representa um sistema de defesa contra vários tipos de adversidades, aos quais ela é submetida (MARTINS et al., 2014). Segundo Szabados e Saviouré (2010), o acúmulo de prolina nos tecidos ocorre em condições de seca, alta salinidade, alta luminosidade e radiação ultravioleta, metais pesados, estresses oxidativos e como resposta a estresses bióticos. Uma das causas mais estudadas, atualmente do acúmulo de prolina no cafeeiro é o déficit hídrico. Acredita-se que esse aminoácido tenha função de regulador osmótico das células, fazendo com que a mesma mantenha sua turgescência (CAVATTE et al., 2012).

Outro parâmetro utilizado nesse tipo de avaliação é a determinação do potencial hídrico foliar medido no antemanhã, ou seja, antes do nascer do sol, sendo um bom indicativo do grau de hidratação dos tecidos, pois independe das condições da atmosfera. Assim como esses fatores,

o menor crescimento das plantas em altura, diâmetro de caule, área foliar e comprimento de raízes também são indicativos de anormalidades, refletindo o estado interno de estresse. Poucos são os conhecimentos sobre processos fisiológicos e metabólicos de tolerância ao déficit hídrico em cafeeiro, sendo a catalogação de plantas tolerantes, feita de forma empírica até o momento (MATTA; RAMALHO, 2006).

Em estudos dessa natureza, também é importante o conhecimento da capacidade do solo em armazenar água e fornecê-la às plantas. Segundo Andrade e Stone (2011), o manejo adequado da irrigação depende de características físicas e químicas do solo, que em interação com a água manifesta propriedades como o limite superior de umidade que determinado solo apresenta, também denominado capacidade de campo.

Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a tolerância ao déficit hídrico de cafeeiros (*Coffea arabica* L.), oriundos de mudas obtidas por embriogênese somática e estaquia, na fase de implantação da cultura.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Agência de Inovação do Café, na Universidade Federal de Lavras, município de Lavras, sul de Minas Gerais, no período de 01/05/2014 a 30/09/2014. As temperaturas mínimas, médias, máximas e umidade relativa do ar no interior do ambiente foram monitoradas por medidor eletrônico, ao longo do período do experimento (Tabela 1).

Para instalação do experimento, utilizaram-se vasos com capacidade de 20 litros, colocados sobre bancadas a 0,8m do solo. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, com as principais características químicas e físicas descritas na Tabela 2.

Realizou-se a correção do solo, visando à saturação por bases de 60% utilizando-se calcário com PRNT de 80%, 40 % de óxido de cálcio e 12 % de óxido de magnésio, misturado de forma uniforme ao solo seco que, depois, foi umedecido até ponto friável e armazenado sob lona plástica, por um período de 60 dias.

Foram utilizadas na instalação do experimento mudas sadias e aclimatadas, com média de seis pares de folhas, e produzidas em tubetes de 300 ml, com substrato comercial próprio.

**TABELA 1** - Variação da temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, durante o período de condução do experimento.

Mês	T Mín (°C)	T Méd (°C)	T Máx (°C)	UR Med (%)
Maio	9,8	20,4	37,5	68,8
Junho	10,5	20,2	39,0	69,7
Julho	9,2	19,0	38,3	69,2
Agosto	7,5	21,2	40,7	57,7
Setembro	8,9	23,5	45,1	56,5

**TABELA 2**- Descrição das principais características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.

Característica	Valores
pH em água (1:2,5)	5,2
P - Mehlich 1 (mg dm <sup>-3</sup> )	1,42
P - remanescente (mg L <sup>-1</sup> )	3,07
K (mg dm <sup>-3</sup> )	14
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,2
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,1
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	12,28
Soma de bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,34
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,34
Saturação por bases (%)	2,66
Saturação por alumínio (%)	74,63
Matéria orgânica (dag kg <sup>-1</sup> )	4,29
Teor de areia (g kg <sup>-1</sup> )	270
Teor de silte (g kg <sup>-1</sup> )	30
Teor de argila (g kg <sup>-1</sup> )	700

A aplicação dos fertilizantes foi realizada, conforme as recomendações de adubação para vasos de Malavolta (1981), utilizando-se monoamônio fosfato (11,9% de N e 60,8% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e nitrato de potássio (13% de N e 44% de K<sub>2</sub>O) no plantio.

Após o plantio, todos os vasos foram mantidos à umidade de 100% da capacidade de campo, por um período de trinta dias, para que houvesse pleno estabelecimento das mudas e a uniformização das mesmas. Após 30 dias do plantio, com a emissão de novas folhas nas plantas, foram iniciados os tratamentos.

As adubações de cobertura foram parceladas em três vezes, a intervalos de trinta dias a partir

do plantio, sendo utilizados ureia (45% de N) e cloreto de potássio (56% de K<sub>2</sub>O). Imediatamente após as adubações, foram realizadas irrigações, de acordo com o estabelecido em cada tratamento.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com cinco repetições, em esquema fatorial 2 x 5 (2 tipos de mudas e 5 níveis de irrigação). Cada repetição era representada por um vaso com uma planta. Os tratamentos foram compostos por dois tipos de mudas, sendo elas: produzidas por embriogênese somática (híbrido F1, cv. Acauã x cv. Catucaí 785 – 15), e por estaquia (cv. Siriema), utilizando-se ramos ortotrópicos semilenhosos. Como segundo fator, foram utilizados cinco níveis de irrigação,

mantendo o solo a 20%, 40%, 60%, 80% e 100% da capacidade de campo.

Para a manutenção da umidade do solo, fez-se a caracterização da curva de retenção de água do solo em laboratório, utilizando-se câmara de pressão de Richards, com amostras deformadas. Os dados de retenção obtidos foram ajustados, de acordo com a metodologia proposta por Genuchten (1980).

Para o monitoramento da umidade do solo, foram utilizados tensiômetros instalados nas parcelas correspondentes a umidade de 100% da capacidade de campo, que serviam como parâmetro para os demais níveis de irrigação. Foram instalados quatro baterias de tensiômetros (quatro vasos), sendo que cada bateria continha dois tensiômetros: um que representava a camada superior do vaso (metade superior), inserido a 9 cm de profundidade, e o outro representando a camada inferior (metade inferior), inserido a 27 cm de profundidade, sendo que os vasos possuíam 36 cm de altura, com preenchimento de solo.

Por meio das curvas de retenção de água foi determinada a lâmina a ser aplicada em cada parcela, utilizando-se planilha específica para os cálculos. As irrigações foram realizadas às segundas, quartas e sextas-feiras, feitas de forma manual, com auxílio de proveta graduada.

As quantidades de água aplicada, em cada tratamento estão dispostas na Tabela 3.

A final do experimento, realizou-se avaliação da área foliar das plantas, segundo metodologia de Gomide et al. (1977) em cm<sup>2</sup>; altura (cm), medida da superfície do solo até o último par de folha; diâmetro de caule (mm), medido no colo da planta; peso seco de raiz (g) e parte aérea (g). Para avaliação do peso seco de raiz e parte aérea, procedeu-se ao corte da parte aérea no colo da planta e, em seguida, à retirada do solo dos vasos com água, sobre peneira de malha de 3mm, para não haver perdas de raízes no processo de lavagem. Em seguida, as partes foram colocadas em estufa com circulação forçada de

ar a 60 °C até atingirem peso constante, quando foram pesadas em balança de precisão.

Realizou-se também a avaliação do potencial hídrico foliar, no período entre 4 e 6 horas da manhã, antes do amanhecer, utilizando-se câmara de pressão tipo Scholander (PMS Instruments - Plant Moisture - Modelo 1000), com nitrogênio gasoso. Para isso, foram utilizadas folhas totalmente expandidas e sem danos aparentes, que foram retiradas da planta para imediata avaliação do potencial de água.

Foi feita a determinação do teor foliar de prolina, utilizando-se folhas completamente expandidas crescidas após o início dos tratamentos, de acordo com a metodologia de Bates, Waldren e Teare (1973).

Os dados foram submetidos à análise de variância, no software Sisvar (FERREIRA, 2011), em que optou-se por realizar o estudo dos níveis de irrigação dentro de cada tipo de muda, individualmente, por se tratarem de cultivares diferentes, o que prejudicaria a comparação entre as mesmas. Detectadas diferenças significativas pelo teste F, utilizou-se análise de regressão dos níveis de irrigação, em cada tipo de muda.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

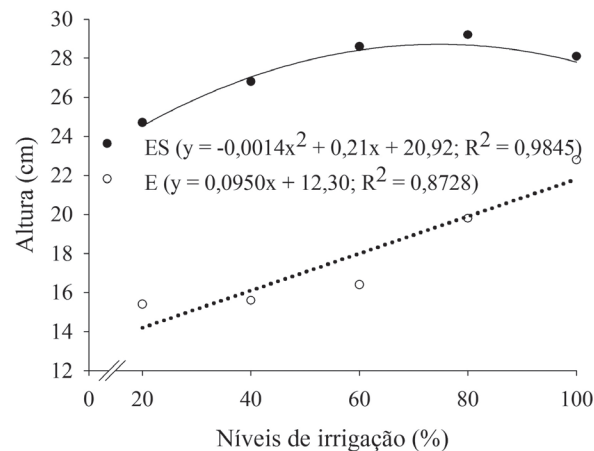
Foram observadas diferenças significativas para a maioria das características avaliadas ao nível de 5 % de probabilidade, pelo teste F, para os dois tipos de mudas. Exceção foi encontrada para as características peso seco de raízes ( $p = 7,1\%$ ) e potencial hídrico foliar ( $p = 8,7\%$ ) de mudas oriundas de embriogênese somática. Porém, mesmos esses níveis foram considerados satisfatoriamente significativos, para análise dos dados.

Avaliando o crescimento, observou-se que a altura de plantas oriundas de mudas de embriogênese somática apresentou um comportamento quadrático nos diferentes níveis de irrigação, aumentando com a umidade disponível, alcançando valor máximo a 74,6% da capacidade de campo (Figura 1).

**TABELA 3** - Quantidade de água aplicada nos tratamentos, durante o período de avaliação.

	Níveis de irrigação, a partir da capacidade de campo				
	100%	80%	60%	40%	20%
Lâmina total aplicada (mm) <sup>(1)</sup>	253,8	203,0	152,3	101,5	50,8
Lâmina média mensal (mm) <sup>(2)</sup>	50,8	40,6	30,5	20,3	10,2

<sup>(1)</sup> Volume acumulado de um vaso extrapolado para superfície do solo equivalente. <sup>(2)</sup> Média aplicada em cada mês, considerando cinco meses de avaliações.



**FIGURA 1** - Altura das mudas obtidas por embriogênese somática (ES) e por estaquia (E), em função dos níveis de irrigação, (percentuais em relação à capacidade de campo).

Já as plantas oriundas de mudas obtidas por estaquia, apresentaram efeito linear crescente à medida que se aumentava a água disponível, alcançando o valor máximo na maior quantidade de água disponível testada (100% da capacidade de campo).

Para a área foliar das plantas foi observada tendência de crescimento linear, para as mudas obtidas por embriogênese somática, aumentando à medida que se aumentou a umidade no solo, e tendência quadrática crescente, para plantas oriundas de mudas de estacas (Figura 2).

Tendência linear crescente no diâmetro de caule, à medida que se aumentava a lâmina de água disponível também foi verificada, para os dois tipos de mudas (Figura 3).

Com relação ao peso seco de parte aérea, efeito linear foi observado para mudas de embriogênese somática, aumentando o peso com aumento da disponibilidade hídrica do solo, e efeito quadrático para mudas de estaquia (Figura 4).

Efeito semelhante foi encontrado para peso seco de raízes, com efeito linear para as plantas oriundas de mudas de embriogênese somática e quadrático, para as de estaquia (Figura 5).

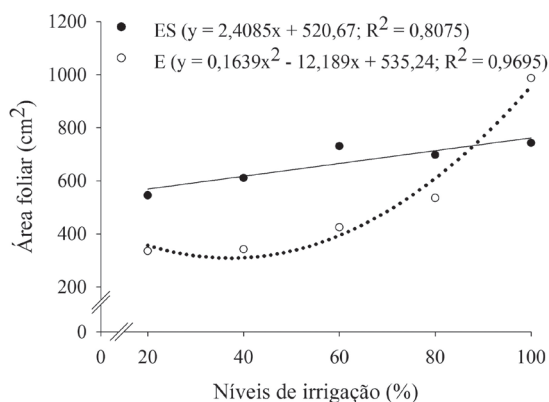
Alguns trabalhos feitos com cafeeiros obtidos por embriogênese somática, como o de Almeida et al. (2011), avaliando diferentes níveis de reposição de água ao solo (30%, 70%, 100% e 130% da capacidade de campo), em mudas de cafeeiro oriundas de sementes e embriogênese somática, observaram nos dois tipos de mudas efeito linear crescente em peso seco de folhas, área foliar e altura, à medida que se aumentaram os níveis de reposição de água ao solo.

Resultado semelhante também foi encontrado por Pereira (2014), que trabalhando com cafeeiros oriundos de embriogênese somática irrigados, em primeiro ano após o plantio, observou maior desenvolvimento vegetativo à medida que se aumentava a suplementação com água, chegando aos melhores resultados, quando se forneciam 10 a 20% a mais da quantidade de água, recomendada para cada fase da cultura.

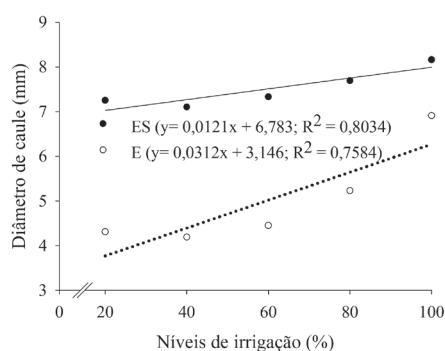
Os teores foliares de prolina apresentaram comportamento semelhante entre as mudas obtidas por estaquia e por embriogênese somática (Figura 6), sendo observado efeito quadrático decrescente nos dois casos.

Analisando-se o comportamento quadrático das plantas obtidas pelos dois métodos de propagação (Figura 6), as mudas oriundas de estaquia tiveram diminuição do teor de prolina, à medida que se aumentava a lâmina de água disponível no solo, até o nível de 80,3% da capacidade de campo do solo, quando o menor teor de prolina foi atingido. No caso das mudas provenientes de embriogênese somática, essas apresentaram o mesmo comportamento, ocorrendo diminuição do teor foliar de prolina até que o menor teor foi atingido a 82,5% da capacidade de campo.

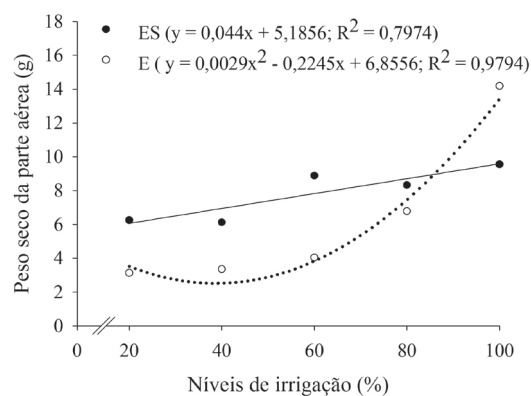
O ajuste osmótico das células, ocorrido com aumento do teor de prolina, ocorre em situações de acentuado déficit hídrico (SERRA; SINCLAIR, 2002). Esse ajustamento pode ser notado nas condições de déficit hídrico, provocado nas plantas oriundas dos dois métodos de propagação (Figura 6).



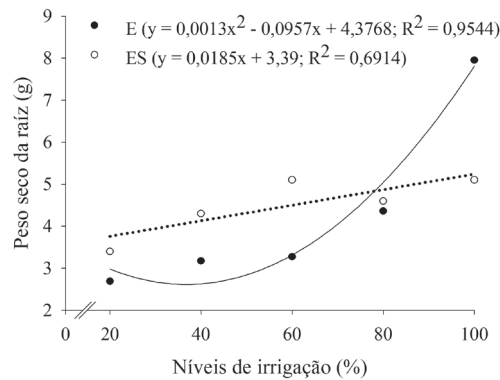
**FIGURA 2** - Área foliar das mudas obtidas por embriogênese somática (ES) e por estaquia (E), em função dos níveis de irrigação (percentuais em relação à capacidade de campo).



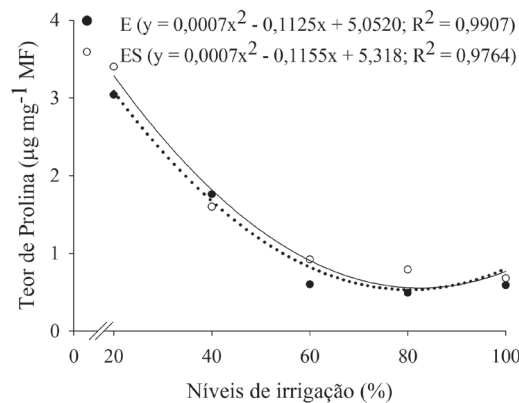
**FIGURA 3** - Diâmetro de caule das mudas obtidas por embriogênese somática (ES) e estaquia (E), em função dos níveis de irrigação (percentuais em relação à capacidade de campo).



**FIGURA 4** - Peso seco da parte aérea das mudas obtidas por embriogênese somática (ES) e estaquia (E), em função dos níveis de irrigação (percentuais em relação à capacidade de campo).



**FIGURA 5** - Peso seco de raízes das mudas obtidas por embriogênese somática (ES) e por estaquia (E), em função dos níveis de irrigação (percentuais em relação à capacidade de campo).



**FIGURA 6** - Teores foliares de prolina das mudas obtidas por embriogênese somática (ES) e estaquia (E), em função dos níveis de irrigação (percentuais em relação à capacidade de campo).

Os estresses sofridos pelas plantas obtidas pelos dois métodos de propagação abaixo de 80% da capacidade de campo, podem prejudicar o desenvolvimento, refletindo em mau desenvolvimento da lavoura e futuros prejuízos na produtividade.

Nascimento et al. (2008) observaram que o teor de prolina nas folhas de cafeeiro é mais pronunciado, quando ocorre déficit hídrico mais acentuado, o que está relacionado à diminuição do potencial hídrico foliar nessas plantas. Os autores relacionam esse fato aos períodos mais secos do ano, identificando diminuições nos teores de prolina com aumentos das precipitações.

Cavatte et al. (2012), avaliando a influência do sombreamento e do déficit hídrico em plantas de cafeeiro, também verificaram que as plantas submetidas a regimes de déficit (30% da água

disponível) apresentaram teores mais acentuados de prolina nas folhas, diferentemente dos regimes com 100% de água disponível no solo.

Outros trabalhos evidenciam o aumento do teor de prolina com aumento do déficit hídrico, como o de Santos e Mazzafera (2012) que, submetendo mudas de cafeeiro em vasos, a períodos de 9 a 12 dias sem irrigação, constataram aumento dos teores de prolina, tanto nas folhas como nas raízes, evidenciando o estresse hídrico nas plantas. Também Silva et al. (2010) afirmam que o acúmulo da prolina é mais intenso em folhas de clones de *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, resistentes à seca, do que aqueles mais susceptíveis, evidenciando seu papel de defesa no metabolismo da planta.

Na avaliação dos valores de potencial hídrico foliar, foi constatado efeito linear, para as plantas

oriundas de mudas de estacas e embriogênese somática (Figura 7). Em ambos os casos, foram observados aumentos nos valores de potencial, à medida que se aumentou a disponibilidade hídrica no solo.

Assim como nos teores de prolina, a avaliação do potencial hídrico foliar também pode indicar condição de estresse nas plantas, sendo nesse caso observada maior hidratação dos tecidos, quando o solo se encontra com 100% da sua capacidade de campo, ponto, onde as plantas apresentaram maiores valores de potencial hídrico.

Estudos de Brum e Melo (2013) constataram valores de -3,5 MPa em mudas de cafeeiro, submetidas a 30 dias sem irrigação, em condições de vaso, ou seja, uma condição de extremo déficit hídrico. Também trabalhando com condições extremas de déficit hídrico, porém dessa vez em campo, Marraccini et al. (2011) concluíram que cafeeiros suportam até -4,0 MPa, durante a estação seca. Na mesma linha de estudos com acentuados déficits hídricos, Santos e Mazzafera (2012) observaram que mudas de cafeeiro cultivadas em vasos alcançaram estado de murcha, quando o potencial de água na folha atingiu aproximadamente -2,15 MPa, após um período de 14 dias sem irrigação.

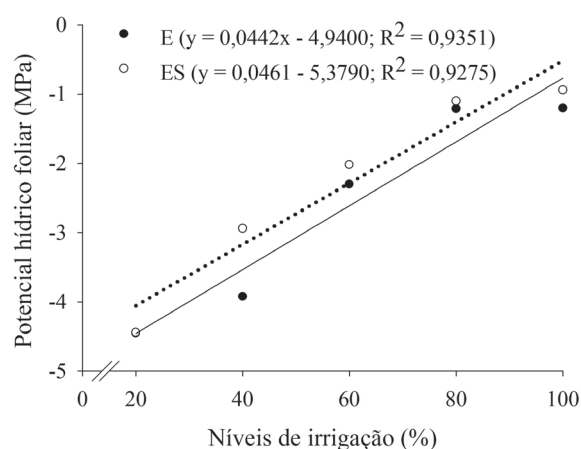
No presente trabalho, o menor potencial hídrico foliar encontrado foi de -4,06 MP, em plantas oriundas de mudas de estacas e de -4,46 MPa em plantas oriundas de embriogênese

somática, quando o nível de irrigação mantinha o solo a 20 % da capacidade de campo, (tratamento com o maior déficit hídrico proposto).

Alguns trabalhos realizados em campo permitem inferir valores de potencial hídrico que podem ser utilizados comparativamente, para se estabelecer limites sem que haja prejuízos ao cafeeiro. Silva et al. (2009), por exemplo, afirmam que valores abaixo de -2,5 a -2,8 MPa em cultivos não irrigados promovem redução na florada e, conseqüentemente, redução na produtividade, sendo necessária nesse caso suplementação de água ao solo.

Outros trabalhos (CASTANHEIRA et al., 2009; MATTA et al., 2007; REZENDE; FARIA; LISMAR, 2009) apontam valores máximos de -1,5 Mpa, para cafeeiros sem irrigação em campo em condições normais de clima, sugerindo ser esse um valor limite, para a não ocorrência de distúrbios fisiológicos na planta, em condições normais de cultivo.

Algumas diferenças encontradas entre os trabalhos realizados podem ser explicadas por diferenças entre as lavouras experimentais, pois plantas de menor porte com sistema radicular reduzido ficam mais propensas a estresse por seca e alcançam valores menores mais acentuados de potencial hídrico foliar com maior facilidade. Portanto, infere-se que plantas jovens de cafeeiro requerem manutenção da umidade do solo, com maior frequência.



**FIGURA 7** - Potencial hídrico foliar das mudas obtidas por embriogênese somática (ES) e estaquia (E), em função dos níveis de irrigação (percentuais em relação à capacidade de campo).



A manutenção da umidade do solo acima de 84,14 % da capacidade de campo, para as plantas oriundas de mudas de embriogênese somática e 77,80% para plantas oriundas de mudas de estaquia promoveram valores de potencial hídrico acima de -1,5 MPa. Até esse valor de potencial hídrico, segundo Castanheira et al. (2009), Matta et al. (2007), Rezende, Faria e Lismar (2009) e Silva et al. (2009) não ocorrem distúrbios fisiológicos na planta, em condições normais de cultivo.

Quando o cafeeiro se encontra em situação de deficiência hídrica, diversos mecanismos fisiológicos são afetados, por ser a água a principal responsável pela boa manutenção do metabolismo da planta, seu crescimento e frutificação. Nesse caso, a limitação ao consumo de água pela planta, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento, provoca danos permanentes ao seu futuro produtivo.

Os resultados obtidos com os teores de prolina e potencial hídrico foliar das plantas foram importantes para inferência do efeito do nível de irrigação, no desenvolvimento vegetativo das mesmas, oferecendo importantes informações sobre os limites de déficit hídrico que não prejudiquem o crescimento e, futuramente, a produtividade da lavoura formada com mudas produzidas por estacas e embriogênese somática e que, portanto, serão importantes para o planejamento da irrigação.

#### 4 CONCLUSÕES

Cafeeiros oriundos de estaquia e embriogênese somática respondem positivamente e progressivamente à irrigação, até que o solo atinja 100% da capacidade de campo, por ocasião da implantação da lavoura.

A capacidade de campo do solo mantida abaixo de 74,6% e 100%, para cafeeiros oriundos de mudas de embriogênese somática e estaquia respectivamente, prejudicam o crescimento e desenvolvimento iniciais das plantas.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos e recursos para o desenvolvimento deste trabalho, à Agência de Inovação do Café, pelo apoio às atividades e à Universidade Federal de Lavras, pelo auxílio nas pesquisas.

#### 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. R. R. et al. Comportamento de cafeeiros propagados por embriogênese somática e por sementes em diferentes níveis de água no solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, p. 114-119, 2011.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Estimativa da umidade na capacidade de campo em solos sob cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 111-116, 2011.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Crawley, v. 39, p. 205-207, 1973.

BRUM, C. N.; MELO, F. E. Modifications in the metabolism of carbohydrates in (*Coffea arabica* L. cv. siriema) seedlings under drought conditions. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, p. 140-147, 2013.

CASTANHEIRA, D. T. et al. Floração e potencial hídrico foliar de cafeeiros sob regimes hídricos e densidades de plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, p. 126-135, 2009.

CAVATTE, P. C. et al. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee?: a morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 144, p. 111-122, 2012.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

GOMIDE, M. G. et al. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros de mundo novo e catuaí. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 1, p. 118-123, 1977.

JESUS, A. M. S.; CARVALHO, S. P.; SOARES, A. M. Comparação entre sistemas radiculares de mudas de *Coffea arabica* L. obtidas por estaquia e por sementes. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, p. 14-20, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubação**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 594 p.

- MARRACCINI, P. et al. RBCS1 expression in coffee: *Coffea* orthologs, *Coffea arabica* homeologs, and expression variability between genotypes and under drought stress. **BMC Plant Biology**, London, v. 11, p. 1471-2229, 2011.
- MARTINS, S. C. V. et al. In high-light-acclimated coffee plants the metabolic machinery is adjusted to avoid oxidative stress rather than to benefit from extra light enhancement in photosynthetic yield. **Plos One**, San Francisco, v. 9, 2014. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0094862>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- MATTA, F. M. da et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 19, p. 485-510, 2007.
- MATTA, F. M. da; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.
- NASCIMENTO, M. N. et al. Alterações bioquímicas de plantas e morfológicas de gemas de cafeeiro associadas a eventos do florescimento em resposta a elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, p. 1300-1307, 2008.
- OLIVEIRA, A. L. et al. Desenvolvimento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) enxertados submetidos a diferentes níveis de reposição de água. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 1291-1298, 2004.
- PEREIRA, V. A. **Adequação de níveis de reposição de água para cafeeiros provenientes de embriogênese somática e sementes**. 2014. 64 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- REZENDE, F. C.; FARIA, M. A. de; LISMAR, W. 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, jul./dez. 2009.
- SANTOS, A. B.; MAZZAFERA, P. Dehydrins are highly expressed in water stressed plants of two coffee species. **Tropical Plant Biology**, New York, v. 5, n. 3, p. 218-232, 2012.
- SERRA, R.; SINCLAIR, R. T. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions? **Plant Cell Environmental**, Hoboken, v. 25, p. 333-341, 2002.
- SILVA, E. A. et al. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 493-501, 2009.
- SILVA, V. A. et al. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 457-464, 2010.
- SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 15, p. 89-97, 2010.