



SAMUEL HENRIQUE BRAGA DA CUNHA

**HIDROPONIA MODIFICADA E ESPUMA FENÓLICA COMO
INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NO ENRAIZAMENTO E
CRESCIMENTO DE ESTACAS DE *Coffea arabica* L.**

**LAVRAS-MG
2021**

SAMUEL HENRIQUE BRAGA DA CUNHA

**HIDROPONIA MODIFICADA E ESPUMA FENÓLICA COMO INOVAÇÕES
TECNOLÓGICAS NO ENRAIZAMENTO E CRESCIMENTO DE ESTACAS DE
Coffea arabica L.**

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.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

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

Cunha, Samuel Henrique Braga da.

Hidroponia modificada e espuma fenólica como inovações
tecnológicas no enraizamento e crescimento de estacas de *Coffea*
arabica L. / Samuel Henrique Braga da Cunha. - 2021.

79 p. : il.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Clonagem. 2. Casa de Vegetação. 3. Vermiculita. I.
Guimarães, Rubens José. II. Título.

SAMUEL HENRIQUE BRAGA DA CUNHA

**HIDROPONIA MODIFICADA E ESPUMA FENÓLICA COMO INOVAÇÕES
TECNOLÓGICAS NO ENRAIZAMENTO E CRESCIMENTO DE ESTACAS DE
*Coffea arabica L.***

**MODIFIED HYDROPONICS AND PHENOLIC FOAM AS TECHNOLOGICAL
INNOVATIONS IN THE ROOTING AND GROWTH OF *Coffea arabica L*
CUTTINGS.**

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 2021.

Dra. Danielle Pereira Baliza

IF SUDESTE MG

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa EMBRAPA

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

**LAVRAS-MG
2021**

*Aos meus pais, José e Aparecida, por todo o apoio e
suporte durante toda a trajetória até aqui.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter guiado meus passos e permitido que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, José e Cida, que estiveram sempre ao meu lado tornando esse sonho possível e me incentivando a todo momento, essa vitória também é de vocês.

Às minhas irmãs, Bruna e Nayara, e também a toda a minha família que durante todo esse período sempre se fizeram presentes me ajudando nessa jornada.

Ao Professor Rubens José Guimarães, pelos ensinamentos, paciência, confiança, orientação e incentivo para eu seguir em frente.

Ao Professor Nilton Nagib, pela disponibilidade e ajuda no projeto.

A todos os professores que fizeram parte da minha formação pessoal e profissional.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia pela oportunidade e estruturas concedidas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos e pelo suporte financeiro para realização dos experimentos.

Aos funcionários do setor de Cafeicultura, pela disponibilidade e receptividade.

A todos os membros do Núcleo de Estudos em Cafeicultura (NECAF), e do Núcleo de estudos em Melhoramento e Clonagem (NEMEC), pelos conhecimentos adquiridos e pelo companheirismo que tornaram a caminhada mais leve.

Aos todos os amigos, em especial ao Amador Eduardo, Elisa, Mauro e Marina por toda a ajuda e incentivo na execução do projeto.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a realização do presente trabalho.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Muito obrigado!

RESUMO

A cafeicultura brasileira representa uma importante atividade no setor agrícola do país e, por isso, necessita de tecnologias inovadoras para a produção de mudas, que é um dos insumos de maior importância na implantação das lavouras. Sendo assim, a clonagem de plantas por estaquia, a nutrição mineral via hidroponia modificada e o uso de substratos alternativos surgem como inovações tecnológicas para a produção de mudas. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar a produção de mudas clonais de café em sistema hidropônico modificado em comparação ao sistema convencional de casa de vegetação climatizada, utilizando a vermiculita e espuma fenólica como substratos alternativos; em um segundo ensaio objetivou-se avaliar a transferência das estacas do sistema convencional para o sistema de hidroponia modificada. Os experimentos foram conduzidos no Departamento de Agricultura da UFLA, e ambos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, sendo o primeiro em sistema fatorial 2x2: dois sistemas de produção de mudas (convencional e hidropônico modificado), e dois substratos (tubetes contendo vermiculita e espuma fenólica); e o outro, com 5 tratamentos, sendo esses os tempos de transferência após o estaqueamento (Testemunha, 0DAE, 25DAE, 50DAE e 75DAE). Foram realizadas avaliações de sobrevivência, crescimento, raízes, peso da matéria seca das plantas, área foliar total, características de crescimento, fisiológicas e de estômatos. Os dados foram tratados e analisados pelo *software* SISVAR[®]. As mudas produzidas em espuma fenólica não sobrevivem no ambiente de hidroponia modificada. As mudas produzidas em sistema hidropônico modificado apresentam menor sobrevivência, no entanto, apresentam maior crescimento de parte aérea e do sistema radicular em relação às mudas do sistema convencional. O maior crescimento das mudas em sistema hidropônico é capaz de antecipar o transplante dessas para o campo em 52 dias. O peso da matéria seca das raízes é semelhante nos dois substratos, embora no sistema convencional tenham maior volume e comprimento. Os teores de clorofila *a*, *b* e total são menores nas mudas produzidas em espuma fenólica, que apresentaram adaptações ao secamento da superfície da espuma fenólica. As estacas colocadas para enraizar diretamente em sistema hidropônico modificado sobreviveram menos, porém, apresentaram maior altura total, bem como de número de folhas, volume, área superficial e comprimento de raízes, e peso de matéria seca. As mudas desse tratamento também tiveram maior área foliar total e melhores índices de crescimento, bem como maiores teores de clorofila *a*, *b* e total e características fisiológicas desejáveis. Concluiu-se, portanto, que o sistema inovador de hidroponia modificada promove maior crescimento das mudas de café produzidas por estaquia em tubetes com vermiculita em relação às aquelas produzidas em sistema convencional. O substrato 'espuma fenólica' pode ser utilizado alternativamente no sistema de casa de vegetação climatizada, porém, no sistema de hidroponia modificada não é indicado, pois promove mortalidade total das mudas. As estacas de café devem ser colocadas para enraizar diretamente no sistema hidropônico.

Palavras-chave: Clonagem. Casa de Vegetação. Vermiculita.

ABSTRACT

Brazilian coffee is an important activity in the agricultural sector of the country and therefore requires innovative technologies for the production of seedlings, which is one of the most important in the implementation of crops. Thus, the cloning of plants by cutting, mineral nutrition via modified hydroponics and the use of alternative substrates emerge as technological innovations for seedling production. The objective of this work was to evaluate the production of clonal coffee seedlings in a modified hydroponic system compared to the conventional system of air-conditioned greenhouse, using vermiculite and phenolic foam as alternative substrates; in a second assay evaluate the transfer of cuttings from the conventional system to the modified hydroponics system. The experiments were conducted at the Department of Agriculture of UFLA. Both experiments were carried out in a completely randomized design, the first being in a 2x2 factorial system: two seedling production systems (conventional and modified hydroponic), and two substrates (tubes containing vermiculite and phenolic foam); and the other with 5 treatments, these being the transfer times after stake (Testemunha, 0DAE, 25DAE, 50DAE and 75DAE). Evaluations of survival, growth, roots, weight of plant dry matter, total leaf area, growth, physiological and stomata characteristics were performed. The data were processed and analyzed by *the* SISVAR[®]. Seedlings produced in phenolic foam do not survive in the modified hydroponics environment. The seedlings produced in a modified hydroponic system present lower survival, however they present greater growth of shoots and root system in relation to the seedlings of the conventional system. The highest growth of seedlings in hydroponic system is able to anticipate the transplanting of these to the field in 52 days. The weight of the dry matter of the roots is similar in the two substrates although in the conventional system they have greater volume and length. Chlorophyll *a*, *b* and total contents are lower in seedlings produced in phenolic foam, which presented adaptations to the drying of the phenolic foam surface. The cuttings placed to root directly in modified hydroponic system survived less, but presented higher total height, number of leaves, volume, surface area and root length, dry matter weight. The seedlings of this treatment also had higher total leaf area and better growth rates, as well as higher chlorophyll *a*, *b* and total contents and desirable physiological characteristics. It was concluded, therefore, that the innovative modified hydroponics system promotes greater growth of coffee seedlings produced by stoka in tubes with vermiculite in relation to those produced in conventional system. The substrate "phenolic foam" can be used alternatively in the air-conditioned greenhouse system, but in the modified hydroponics system it is not indicated because it promotes total mortality of the seedlings. Coffee cuttings should be placed to root directly in the hydroponic system.

Keywords: Cloning. Greenhouse. Vermiculite.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Aspectos gerais e importância da cultura cafeeira	12
2.2	Produção de mudas de café.....	12
2.3	Clonagem de <i>Coffea arabica</i> L.....	15
2.4	Sistema hidropônico em culturas agrícolas	17
2.5	Espuma fenólica na agricultura.....	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Caracterização dos sistemas de cultivo	20
3.2	Coleta e preparo das estacas	23
3.3	Experimento 1: produção de mudas de cafeeiro oriundas de estacas, em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo convencional e hidropônico.	24
3.4	Experimento 2: produção de mudas de cafeeiro produzidas por estacas, iniciadas no sistema convencional e transferidas para o sistema hidropônico em diferentes tempos de enraizamento.	26
3.5	Características avaliadas.....	27
3.5.1	Avaliações de sobrevivência e crescimento.....	27
3.5.2	Análise de raízes pelo <i>software</i> SAFIRA.....	27
3.5.3	Matéria seca da parte aérea e sistema radicular.....	28
3.5.4	Área foliar e parâmetros de crescimento.....	28
3.5.5	Avaliações fisiológicas e de estômatos	29
3.6	Análise estatística	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Experimento 1: produção de mudas de cafeeiro por meio de estacas em espuma fenólica e tubetes com vermiculita, sob sistema de cultivo convencional e hidropônico modificado.	31
4.1.1	Sobrevivência e crescimento das mudas.....	34
4.1.2	Análise de raízes pelo <i>software</i> SAFIRA	38
4.1.3	Matéria seca de folhas, caule e raiz.....	42
4.1.4	Área foliar e índices de crescimento	44
4.1.5	Avaliações fisiológicas e de estômatos	47
4.2	Experimento 2: produção de mudas de cafeeiro por estacas, iniciadas no sistema convencional e transferidas para o sistema hidropônico modificado em diferentes tempos de enraizamento.	51

4.2.1	Sobrevivência e crescimento das mudas.....	54
4.2.2	Análise de raízes pelo <i>software</i> SAFIRA	56
4.2.3	Matéria seca de folhas, caule, raiz e total.....	59
4.2.4	Área foliar e características de crescimento	61
4.2.5	Avaliações fisiológicas e de estômatos	63
5	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	67
6	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira representa uma importante atividade no setor do agronegócio do país, gerando receita e empregos diretos e indiretos que contribuem para a permanência de famílias no campo. O Brasil é o maior produtor e exportador de café no mundo, com produção de 63,08 milhões de sacas de café beneficiado em 2020 (CONAB, 2020).

O aumento das áreas de cultivo, e mesmo a renovação de áreas com a cultura, leva conseqüentemente a uma maior demanda por mudas, com características que atendam às necessidades do produtor, como bom desenvolvimento e maior vigor, sempre com o uso de cultivares com boas características agronômicas.

Para melhor atender a demanda dos produtores por materiais de alta qualidade, o melhoramento genético e novas tecnologias desempenham um importante papel nesse cenário. A produção de mudas de qualidade é de suma importância para a formação e renovação de lavouras, uma vez que o uso de mudas de baixa qualidade pode causar prejuízos no desenvolvimento da lavoura. Uma das tecnologias que pode ser usada para aumentar a qualidade das mudas é a clonagem de plantas por estaquia. O método de clonagem de plantas por estaquia é uma tecnologia que tem sido útil no melhoramento do cafeeiro, uma vez que permite a seleção e a multiplicação de plantas superiores em qualquer etapa do desenvolvimento de um programa de melhoramento, reduzindo, portanto, o tempo de obtenção de uma nova cultivar com maior potencial produtivo (REZENDE *et al.*, 2017).

Sendo assim, o uso da estaquia é de grande interesse, uma vez que proporciona a diminuição no tempo de produção de mudas, que apresenta como vantagens a possibilidade de antecipar o plantio, e, conseqüentemente, aproveitar o período chuvoso e aumentar o pegamento em campo (BALIZA *et al.*, 2013).

Assim, torna-se necessário que a produção de mudas por meio da clonagem de plantas de *Coffea arabica* L. seja possibilitada em larga escala e com qualidade como aquelas produzidas por sementes (ALVES; GUIMARÃES, 2010; FRANÇA *et al.*, 2014).

No entanto, a produção de mudas por meio de estaquia requer vários cuidados e diversos fatores podem influenciar no crescimento e desenvolvimento. Um desses fatores é a nutrição mineral dessas mudas, que deve ser criteriosa, uma vez que o sistema radicular é pouco desenvolvido no início do processo de produção, tornando-se necessário o emprego de métodos que possam otimizar o processo de absorção de nutrientes.

Como alternativa para uma nutrição suficiente, equilibrada e com maior controle de fornecimento de nutrientes, o sistema hidropônico tem sido usado em diversas culturas

agrícolas, porém, no café, ainda existem poucos estudos. Esse sistema apresenta diversas vantagens como menor quantidade de água utilizada (considerando um sistema ‘fechado’ de fornecimento) e substrato inerte (diminuindo a incidência de pragas e doenças), sendo capaz de fornecer os nutrientes que a planta precisa de uma forma mais disponível por meio de solução nutritiva (SAVVAS; GRUDA, 2018).

Porém, ainda há necessidade de redução de custos do substrato utilizado na produção de mudas por estaquia, apesar das muitas opções existentes no mercado. Assim sendo, a utilização da espuma fenólica surge como uma opção tecnológica com potencial para produção de mudas de cafeeiro, pois tem baixo custo e características favoráveis (PAULUS *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2013) com grande potencial de uso.

Assim, na busca de melhorias no processo de produção de mudas clonais do cafeeiro, utilizando a espuma fenólica como substrato inerte, de baixo custo e promissor, torna-se necessário a integração de tecnologias para aprimorar as técnicas já utilizadas, e assim, obter sucesso, principalmente na melhor qualidade, redução no tempo de formação e sanidade das mudas de cafeeiro. Neste contexto, o uso de sistema hidropônico modificado, aliado a utilização da espuma fenólica na produção de mudas de cafeeiro por estaquia, aparecem como opções de grande potencial.

A justificativa do presente trabalho é, portanto, a necessidade de se avaliar os efeitos de dois substratos, sob diferentes sistemas de cultivo, para uma proposta de um sistema integrado de produção de mudas de cafeeiro por estaquia, visando reduzir o tempo de produção de mudas e custo de substrato, além de aumentar a economia de uso da água. Ainda como aperfeiçoamento da tecnologia de produção de mudas por estaquia, pretende-se avaliar o tempo de transferência para o sistema hidropônico após a colocação das estacas no substrato, verificando a necessidade de desenvolvimento inicial do sistema radicular antes da hidroponia modificada.

O objetivo do presente trabalho é, portanto, a integração de tecnologias inovadoras no processo de produção de mudas de cafeeiro, que possibilitem mudas vigorosas obtidas por estaquia, com economia de água, redução de custos e redução do tempo até o transplante em campo. Assim, objetiva-se avaliar a produção de mudas clonais de *Coffea arabica* L., em diferentes sistemas de cultivo e substratos. Também se busca um protocolo de transferência das estacas colocadas para enraizar em ambiente tradicional (casa de vegetação climatizada) ou diretamente no sistema inovador de hidroponia modificada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais e importância da cultura cafeeira

O gênero *Coffea* é composto por uma grande variedade de espécies, sendo as de maior importância no Brasil e no mundo *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre, em função de suas características comerciais (DAVIS *et al.*, 2006).

O Brasil encontra-se na condição de maior país produtor e exportador de café, que se tornou importante *commoditie* nacional. A produção brasileira em 2020 chegou a 63,08 milhões de sacas beneficiadas, com área plantada de cerca de 2,16 milhões de hectares (CONAB, 2020).

A espécie *C. arabica* teve sua origem nas florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, que apresentam altitudes médias entre 1500 a 2800 metros, e precipitação anual variando de 1600 a 2000 mm com estação seca durando cerca de três a quatro meses que coincidem com o período mais fresco do ano. As temperaturas médias da região, e que são ideais para a espécie estão compreendidas entre 18 °C e 23 °C (CAMARGO, 1985; CAMARGO, 2010). É uma espécie alotetraplóide com $2n=4x= 44$ cromossomos, autógama, com cerca de 10% de alogamia, susceptível a várias pragas e doenças (JESUS, 2003).

O cafeeiro é um arbusto de crescimento constante e que apresenta uma característica marcante, que é o dimorfismo de ramos, ou seja, apresenta ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, originados de gemas axilares. Os ramos do cafeeiro têm uma grande especialização, sendo os ramos ortotrópicos responsáveis pelo crescimento vertical, enquanto os plagiotrópicos dão origem aos ramos laterais e também às flores e, conseqüentemente, aos frutos (ANDRE, 1973; CARVALHO; MÔNACO; FAZUOLI, 1979).

2.2 Produção de mudas de café

Por se tratar de uma cultura perene, o uso de mudas sadias bem nutridas, vigorosas, com alta qualidade genética e fitossanitária é importante, pois qualquer falha no processo produtivo, principalmente no início, pode comprometer o sucesso do empreendimento por toda a vida da cultura. Essas características garantem a sobrevivência das plantas em campo e estimulam o crescimento inicial das mesmas. Portanto, o uso de mudas de baixa qualidade é um fator limitante na produtividade das lavouras cafeeiras, uma vez que falhas na fase de implantação podem acarretar em problemas futuros (ALVES; GUIMARÃES, 2010; BRAUN *et al.*, 2007; FRANÇA *et al.*, 2014).

A produção de mudas de café pode ser feita a partir de diversos sistemas e métodos, seja ela por utilização de substratos (normalmente contendo solo e matéria orgânica) acondicionados em saquinhos de polietileno ou por substratos inertes (vermiculita, casca de pinus carbonizada, entre outras opções) acondicionadas em tubetes de polietileno rígido, todos com diferentes tipos de fertilização, desde adubos convencionais até adubos de liberação lenta, e ainda com utilização de substratos alternativos e variados.

O tamanho do recipiente e a composição do substrato são alguns dos fatores que influenciam na qualidade da muda produzida. Na produção comercial, o mais comum de se encontrar são mudas feitas em sacos plásticos de polietileno, usando solo de subsuperfície como substrato, suplementado com esterco bovino e fertilizantes químicos. Vallone *et al.* (2010), observaram que mudas de *C. arabica* L. produzidas em saquinhos de polietileno de maior volume, independentemente do substrato, apresentam um crescimento e transplântio mais rápido.

Para a produção de mudas de *C. arabica* L. acondicionadas em sacos de polietileno várias pesquisas foram realizadas chegando-se a um ‘substrato padrão’ recomendado para todo o estado de Minas Gerais (GUIMARÃES *et al.*, 1999), composto por 70% de subsolo, 30% de esterco bovino (e outros alternativos) com adição de 3 a 5 kg de superfosfato simples e 0,5 a 1,0 kg de cloreto de potássio.

Na fase de mudas, as plantas precisam de um bom substrato e proteção a fatores climáticos, bem como um rigoroso controle da irrigação, nutrição e pragas e doenças (SILVA *et al.*, 2013). A nutrição equilibrada e suficiente de mudas é de suma importância na cafeicultura, principalmente quando se trata de nutrientes de difícil dinâmica no solo, como é o caso do fósforo, que apresenta nível crítico maior de mudas do que na produção. Além disso, as mudas possuem maior dificuldade na absorção desses elementos com comportamento mais complexo no solo em função do sistema radicular pouco desenvolvido, sendo interessante o uso de material orgânico no substrato, pois além de fornecer nutrientes, melhora a estrutura física auxiliando no desenvolvimento (CARMO *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2017).

Tem aumentado o interesse em se utilizar novas técnicas que proporcionem a melhoria no sistema de produção de mudas com diminuição no tempo para levá-las a campo (COELHO *et al.*, 2018; TOMAZ *et al.*, 2015; VALLONE *et al.*, 2010).

A diminuição do tempo de produção das mudas, além de proporcionar menores custos (especialmente com mão de obra) pode possibilitar o plantio das mesmas no início do período chuvoso e, conseqüentemente, aumentar o pegamento em campo (ou possibilitar replantio no mesmo período chuvoso) e aumentar o crescimento das plantas podendo influenciar

positivamente a primeira produtividade. A fase de formação da lavoura é muito longa até o retorno do capital investido, ou seja, desde o semeio, passando pela formação da muda, plantio em campo, até a primeira produção são cerca de 36 meses. Ainda deve-se considerar que, devido às pequenas produções iniciais do cafeeiro, o retorno do capital investido pode ser ainda mais demorado (BALIZA *et al.*, 2013).

Em função do exposto, tem se buscado a implantação de lavouras em época apropriada (início do período chuvoso), por possibilitar maior crescimento das plantas (que têm também menor porcentagem de replantio), pois o tempo de permanência dessas mudas em campo em condições climáticas favoráveis será maior, e conseqüentemente, ocorrerá um aumento de produtividade nas primeiras safras (BALIZA *et al.*, 2013).

No caso do uso de mudas convencionais, dificilmente se consegue o plantio antecipado para o início da época chuvosa, pois as sementes de cafeeiro apresentam germinação lenta, além de necessitarem de armazenamento especial, dificultando a formação de mudas em tempo hábil para implantação da lavoura em condições climáticas favoráveis (GUIMARÃES *et al.*, 1998; GUIMARÃES *et al.*, 2002).

A tentativa de antecipação da época de plantios das mudas em campo passa então, pela dificuldade de obtenção das mudas com pelo menos três pares de folhas verdadeiras no início do período chuvoso, que por sua vez, é também causado pela lenta germinação das sementes colhidas no mesmo ano, ou ainda pela dificuldade de armazenamento das sementes do ano anterior que garantam boa germinação e vigor (BALIZA *et al.*, 2013; GUIMARÃES *et al.*, 2002).

Assim, trabalhos têm sido desenvolvidos buscando redução no tempo de produção das mudas por meio da diminuição do tempo de germinação das sementes com a retirada do pergaminho como observado por Rena e Maestri (1986); ou ainda a produção de mudas que possam ser levadas para o campo mais cedo, como é o caso de ‘mudas de ano’ ou ‘podadas’ (BALIZA *et al.*, 2013).

O aproveitamento de mudas podadas é uma possibilidade para o plantio de lavouras saudias e produtivas, com maior garantia de ‘pegamento’ em campo, além de proporcionar a antecipação do plantio para a época de maior pluviosidade, época esta, em que mudas de ciclo normal ainda não estão prontas para irem para o campo.

A recuperação de mudas por meio de poda, busca estabelecer o equilíbrio funcional entre a parte aérea e o sistema radicular das plantas (RENA *et al.*, 1998). Vários trabalhos foram feitos avaliando a possibilidade da utilização dessas mudas no plantio de lavouras cafeeiras (BALIZA *et al.*, 2009; BALIZA *et al.*, 2013; CARVALHO; CALDANI, 1984; CARVALHO,

2007; GARCIA *et al.*, 1978; GARCIA *et al.*, 1983; GUIMARÃES, 1979; MIGUEL *et al.*, 1986; OLIVEIRA, 2007; PEREIRA *et al.*, 2005; TOLEDO *et al.*, 1989; TONELLI, 1990), sendo que, todos eles concluíram que tais mudas apresentam desenvolvimento semelhante ou até superior às mudas tradicionais. Em alguns desses trabalhos (GARCIA, 1983; TOLEDO *et al.*, 1989; OLIVEIRA, 2007; BALIZA *et al.*, 2013) tomou-se o cuidado de verificar o desempenho das mudas podadas na fase de produção em campo, avaliando várias colheitas, chegando-se a conclusão de que as produtividades obtidas nas primeiras produções em relação as mudas tradicionais são iguais ou até maiores.

Carvalho *et al.* (2007) afirmaram que também as mudas em tubetes recuperadas por meio de podas apresentam desenvolvimento superior às mudas normais semeadas em época propícia no viveiro. Assim, a utilização de mudas podadas em viveiro pode proporcionar a antecipação do plantio em campo, coincidindo com o início da época chuvosa além de terem menor juvenilidade que mudas tradicionais, o que pode proporcionar melhores colheitas nas primeiras produções (BALIZA *et al.*, 2013).

De acordo com a maioria dos trabalhos, a altura de corte no ramo ortotrópico das mudas podadas deve ser entre o terceiro e quarto pares de folhas verdadeiras (GUIMARÃES, 1979; CARVALHO; CALDANI, 1984; PEREIRA *et al.*, 2005).

2.3 Clonagem de *Coffea arabica* L.

A autogamia predominante na espécie *Coffea arabica* faz com que seja propagada basicamente por meio de sementes, em função da baixa variabilidade nos descendentes das gerações seguintes, sendo que a multiplicação vegetativa tem sido inviável em função dos tratamentos inapropriados. No entanto, a propagação vegetativa do café arábica por meio do enraizamento de estacas, assim como é realizado em *Coffea canephora*, tem sido bastante estudada e utilizada na expectativa de aproveitar o possível vigor híbrido para produtividade na geração F1 e expressar características de interesse, mostrando-se uma opção viável em programas de melhoramento, e até mesmo em escala comercial. Porém, nota-se ainda, diferentes respostas do *C. arabica* ao enraizamento. Sabe-se que os híbridos podem ser mais produtivos que os pais, e por meio da clonagem é possível a introdução de caracteres de interesse em condição de heterozigose, sendo que dessa forma, o fenótipo irá se manifestar nos descendentes (BERGO; MENDES, 2000; JESUS, 2003; JESUS *et al.*, 2010; REZENDE *et al.*, 2010; REZENDE *et al.*, 2017).

Outras vantagens podem ser citadas na formação de mudas por meio de estaquia, como a possibilidade de produzir uma grande quantidade de mudas num pequeno espaço de tempo, e a partir de poucas plantas matrizes. É possível também, reduzir o período de formação da lavoura, antecipando o período produtivo, por meio da diminuição da juvenilidade das plantas produzidas por estaca, porém, o enraizamento é um processo complexo que acontece em várias etapas (JESUS, 2003).

A capacidade do caule em emitir raízes adventícias ocorre em função da interação entre fatores ambientais e intrínsecos da planta. Carboidratos, água, fitohormônios e nutrição mineral tem sido fatores de suma importância na formação dessas raízes, uma vez que tem sido observado que a formação das mesmas tem influência das condições ambientais nos tecidos da estaca, e da translocação de substâncias produzidas nas folhas e botões em desenvolvimento. Sabe-se também, que a composição química do tecido é passível de variação em um mesmo ramo, o que pode causar diferenças no enraizamento de estacas advindas de variadas partes de um ramo (REZENDE *et al.*, 2010).

Rezende *et al.* (2010), observaram que estacas semilenhosas de *C. arabica* que foram retiradas da parte média dos ramos proporcionavam melhor enraizamento, uma vez que apresentavam o tecido menos lignificado que os tecidos lenhosos da parte inferior dos ramos.

As mudas produzidas por estaquia não apresentam a formação de uma raiz pivotante como acontece naquelas produzidas por sementes, produzindo somente raízes adventícias em grande número, formando um volumoso sistema radicular (DOMINGHETTI *et al.*, 2016).

Um dos entraves na propagação vegetativa do cafeeiro está relacionado a variação das respostas das diferentes cultivares em relação aos fatores que influenciam no enraizamento, dificultando o estabelecimento de um protocolo de propagação. O uso de reguladores de crescimento, principalmente auxinas, tem sido eficaz no enraizamento de estacas, fazendo com que haja formação das raízes, acelerando o processo e garantindo o pegamento, qualidade e uniformidade no enraizamento (CARVALHO *et al.*, 2008; FACHINELLO *et al.*, 1995). Jesus (2003), ao trabalhar com o enraizamento de estacas de *C. arabica*, avaliando o efeito da substância auxínica AIB associada ao aquecimento basal das estacas, mantendo a temperatura constante e adequada na base das estacas durante o período de enraizamento, constatou que a associação das duas técnicas é capaz de promover um aumento no número de raízes.

Outro fator que interfere no enraizamento e qualidade do sistema radicular é o substrato, que deve reter água suficiente para evitar a dessecação da base da estaca, além de obter boa porosidade no intuito de proporcionar oxigenação para o desenvolvimento radicular. No

entanto, o excesso de água no substrato é prejudicial, pois impede o enraizamento e favorece o aparecimento de patógenos, causando morte do tecido (PEREIRA *et al.*, 2000).

2.4 Sistema hidropônico em culturas agrícolas

O cultivo hidropônico de plantas consiste em cultivá-las em uma solução aquosa que contenha os macro e micronutrientes exigidos pelas culturas, em quantidades adequadas, e que as raízes estejam em constante contato com essa solução. São sistemas que utilizam de substratos inertes para sustentação das plantas (MARTINEZ, 1999; RESH, 1997). O uso desse sistema também possibilita a otimização física e química do ambiente onde as raízes irão crescer, além de maior controle de patógenos, minimizando o uso de defensivos agrícolas (SAVVAS; GRUDA, 2018).

Outras vantagens desse sistema quando comparado à cultura baseada no uso de solo são: ciclos de cultivo reduzidos durante o ano; possibilidade de produzir uma grande quantidade de material vegetal na ausência de plantas daninhas; colheita facilitada e sem resíduos de solo; manuseio simples e; melhoria do conteúdo nutricional de plantas (TOMASI *et al.*, 2015).

Como desvantagens, alguns sistemas hidropônicos podem apresentar contaminação por microrganismos dependendo da origem da água (MORIARTY *et al.*, 2019), por isso, é de grande importância a procedência da água usada no sistema.

Souza, Gimenes e Binotto (2019), consideram a hidroponia um método de produção eficaz, autossustentável, ecologicamente correto e que consome apenas 10% da água usada em métodos convencionais, sendo mais eficiente no uso de recursos do que os métodos que fazem uso do solo, e tem se tornado cada vez mais expressiva no setor agrícola mundial. Embora plantas de pequeno e médio porte sejam mais apropriadas ao cultivo hidropônico em questões econômicas e agronômicas, qualquer espécie pode ser adaptada a esse tipo de cultivo.

O uso do sistema hidropônico em *floatings* tem se tornado uma alternativa bastante viável difundida nos últimos tempos, principalmente para produção de hortaliças. É um sistema realizado a partir de uma estrutura simples, em que se obtém um reservatório para recirculação de solução nutritiva e as plantas são conduzidas flutuando sobre essa solução (TOMASI *et al.*, 2015).

Maucieri *et al.* (2018), constataram em seu trabalho, que o sistema hidropônico em *floatings*, dentre todos os métodos de hidroponia testados, é mais barato no que se refere a construção e manutenção. E as plantas cultivadas nesse sistema tem suas raízes completamente

em contato com a água, e, com isso, possuem maior superfície de contato para absorção de nutrientes.

A solução nutritiva usada no sistema hidropônico pode variar de acordo com as espécies e várias são descritas na literatura. Altos níveis de nutrientes são dissolvidos nessas soluções, em maiores concentrações do que é usualmente encontrado no solo, independentemente de sua composição. A concentração de nutrientes, a forma química, temperatura, pH e condutividade elétrica, são fatores capazes de influenciar na qualidade dos produtos (TOMASI *et al.*, 2015).

Souza *et al.* (2011), pesquisaram o uso de sistema hidropônico no cultivo de pereiras e pessegueiros obtendo plantas com padrões exigidos por lei, em um prazo de quatro meses, sendo que no sistema convencional levariam 10 meses para se obter o mesmo resultado.

Laviola, Martinez e Mauri (2007), avaliando o desenvolvimento de mudas de quatro variedades de café em diferentes níveis de adubação, em sistema hidropônico de subirrigação com argila expandida (cinasita), observaram que o sistema de hidroponia proposto proporcionou bom desenvolvimento das mudas de cafeeiro.

Pinto (2017), avaliou a viabilidade de se usar diferentes substratos na produção de mudas feitas por estacas em sistema de hidroponia modificada, sob diferentes fontes minerais e manejos. Concluiu que o crescimento e desenvolvimento dessas mudas é favorecido pelo uso da vermiculita como substrato com adição de adubo de liberação lenta, no sistema hidropônico com água e sem nutrientes.

No entanto, torna-se evidente que são necessárias pesquisas em relação ao enraizamento de estacas de café associados à sistemas hidropônicos, uma vez que poucos são os resultados encontrados para esse tema.

2.5 Espuma fenólica na agricultura

Nos sistemas de produção de mudas de café existem substratos comerciais com qualidade elevada e boa aceitação pelo mercado, porém, são necessárias pesquisas para que se possa estabelecer novos substratos visando a redução nos gastos com substratos padrão e aproveitamento econômico de resíduos (SOUZA *et al.*, 2017).

A espuma fenólica é uma tecnologia que tem tido diversas aplicações na agricultura, dentre elas, a indústria de flores, e como substrato para o crescimento de mudas em hidroponia. Também tem sido potencialmente estudada visando, em alguns casos, a redução do estresse hídrico (PALACIOS-ROMERO *et al.*, 2017).

Espuma pode ser definida como um plástico em que a densidade sofreu uma redução em função das muitas células distribuídas ao longo de sua massa. As espumas fenólicas especificamente, são obtidas a partir de resinas fenólicas e possuem características de serem duras e frágeis, e apresentam grande número de células abertas. Essa característica é importante pois quanto maior o número de células abertas maior a absorção de água. Materiais desse tipo são conhecidos como espuma floral, e apresentam densidade em torno de 20 kg/m³ (CARVALHO; FROLLINI, 1999).

A espuma fenólica é uma inovação tecnológica que apresenta um grande potencial para produção de mudas, pois é um material estéril, de baixo custo, não apresenta interferência na nutrição das mudas, possui uma alta capacidade de reter água, elevada aeração, bem como proporciona uma boa sustentação para o material vegetal. A possibilidade de desintegração durante o uso é baixa, e possibilita também a produção em larga escala, uma vez que ocupa pouco espaço, características essas que são passíveis de mudança de acordo com a necessidade (PAULUS *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2012).

Na cafeicultura, a espuma fenólica é um material que carece de estudos em função da disponibilidade hídrica, tanto na fase de mudas quanto no campo, pois absorve água facilmente, no entanto, perde com a mesma facilidade, podendo afetar o crescimento das mesmas, e ainda nos efeitos que pode vir a causar após essa fase (FREITAS *et al.*, 2005; PRIETO-RUIZ *et al.*, 2007). Em algumas culturas agrícolas como tomate, alface e hortelã, a espuma fenólica já foi testada como substrato na fase inicial do cultivo apresentando resultados parecidos a outros substratos (FERNANDES *et al.*, 2004; MATIAS *et al.*, 1999; PAULUS *et al.*, 2005).

Em seu trabalho usando a espuma fenólica como substrato na produção de mudas de tomate por estaquia, Fernandes *et al.* (2004) observaram que esta espuma foi capaz de promover o enraizamento nas mesmas. Paulus *et al.* (2005); estudando o uso da espuma no sistema hidropônico em *Mentha*, concluíram que a mesma pode ser recomendada na formação das mudas. Também Silva *et al.* (2012); chegaram à conclusão de que o uso da espuma fenólica na formação de mudas de eucalipto é viável do ponto de vista biológico, desde que feitas adaptações no viveiro.

No entanto, não existe ainda na literatura, trabalhos com o uso de espuma fenólica na produção de mudas clonais de café.

3 MATERIAL E MÉTODOS

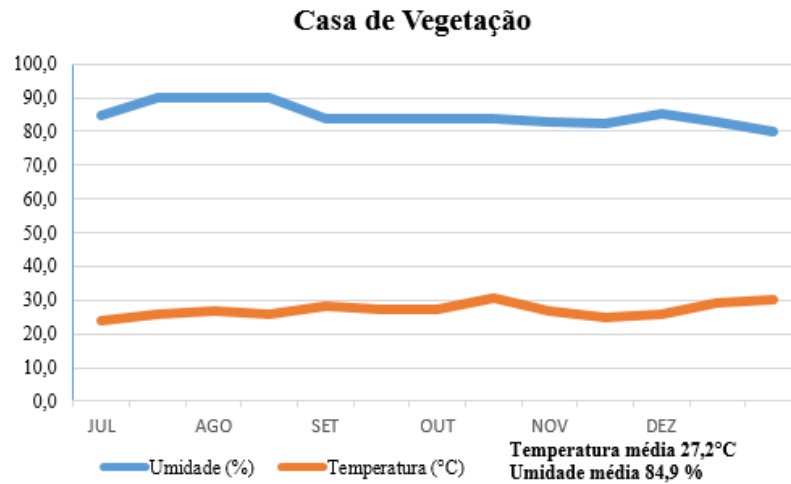
Os experimentos foram conduzidos no período de julho a dezembro de 2019, sendo parte em casa de vegetação climatizada no Setor de Cafeicultura, do Departamento de Agricultura da Escola de Ciências Agrárias- ESAL da Universidade Federal de Lavras; e parte em casa de vegetação situada no Horto Botânico do mesmo Departamento. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é classificado como Cwa, temperado úmido. A temperatura média do mês mais quente é de 22,1 °C, a do mês mais frio é de 15,8 °C e a média anual é de 19,4 °C. A precipitação anual média é de 1529,7 mm e a umidade relativa média anual é de 76,2% (BRASIL, 1992).

3.1 Caracterização dos sistemas de cultivo

Parte do experimento foi conduzida no Setor de Cafeicultura sob o sistema de cultivo de casa de vegetação, com irrigação por nebulização e controle de temperatura e umidade. A casa de vegetação é formada por uma estrutura metálica com cobertura plástica transparente, e sob essa cobertura possui uma camada de sombrite 50%. A estrutura ainda contava com linhas de irrigação e dois ventiladores/exaustores para controle da temperatura.

A irrigação era acionada periodicamente e de maneira automática, nos momentos em que a umidade do ar chegava a valores abaixo de 85% e a temperatura mantida a cerca de 27 °C por meio de sistema de ventilação. O material vegetal foi mantido suspenso em bancadas de aço, no interior da referida casa de vegetação, que teve como resultado do constante monitoramento, temperatura média de 27,2 °C, e umidade do ar média de 84,9% (FIGURA 1).

Figura 1 - Umidade e temperatura da casa de vegetação no Setor de Cafeicultura da UFLA, durante o período de condução dos experimentos, de julho a dezembro de 2019.



Fonte: Do autor (2021)

A parte do experimento conduzido no Horto botânico, foi realizada no sistema de cultivo para produção de mudas em hidroponia modificada que foi proposto por Faquin e Chalfun (2008), as modificações em relação ao sistema hidropônico convencional relaciona-se ao fato de ser um circuito fechado de fornecimento da solução nutritiva, o que elimina a necessidade de aeração do sistema. Nesse sistema, as mudas absorvem os nutrientes a partir de uma solução nutritiva proposta pelos autores citados, que é outra modificação, uma vez que a maioria das soluções são adaptadas para espécies olerícolas. É usado um substrato inerte para sustentação do sistema radicular, e somente o fundo do recipiente contendo o substrato fica em contato com a solução nas ‘piscinas’. Dessa forma, é possível manter as características hidropônicas, e ao mesmo tempo obter um sistema radicular consistente sustentado por um substrato de forma a preservar a estrutura da rizosfera, evitando-se defeitos tão impactantes na cultura do cafeeiro como o encurvamento da raiz pivotante.

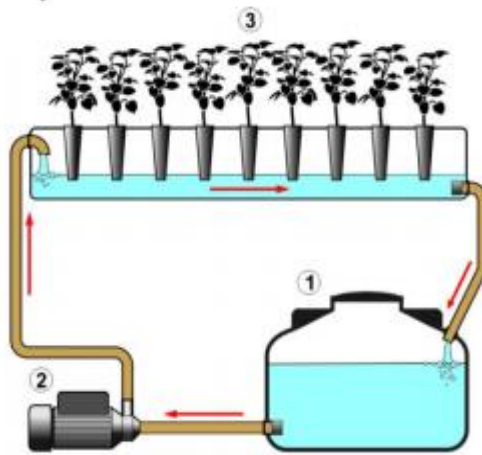
Esse sistema encontrava-se dentro de uma casa de vegetação também de estrutura metálica com cobertura plástica transparente e camada de sombrite 50% sob a cobertura, porém, não possuía sistema de irrigação por nebulização nem de controle de temperatura com ventiladores.

Os tubetes contendo vermiculita foram colocados em grades e os cubos de espuma fenólica em placas de isopor próprias, previamente ajustadas nas bordas de caixas de material sintético, com dimensões de 3,20m x 0,60m x 0,30m, denominadas de ‘piscinas’, e niveladas sobre bancadas de alvenaria, dentro de uma casa de vegetação com cobertura de filme de polietileno dupla face. As ‘piscinas’ foram cobertas com filme de polietileno branco, com

abertura para posicionamento dos tubetes e da espuma, evitando-se, dessa forma, a entrada de luz e o consequente crescimento de algas na solução nutritiva.

As ‘piscinas’ possuíam um sistema fechado de circulação da solução nutritiva, onde o tanque recebia a solução proposta por Faquin e Chalfun (2008), oriunda de um reservatório com capacidade para 1000 litros. A solução circulava nas ‘piscinas’ pelo conjunto de motor-bomba pelo acionamento do temporizador com intervalo de 15 minutos de circulação e 45 minutos desligado. O excesso da solução nutritiva nas ‘piscinas’ retornava ao reservatório por gravidade, através da tubulação própria (FIGURA 2). As trocas de solução nutritiva eram realizadas a cada 30 dias.

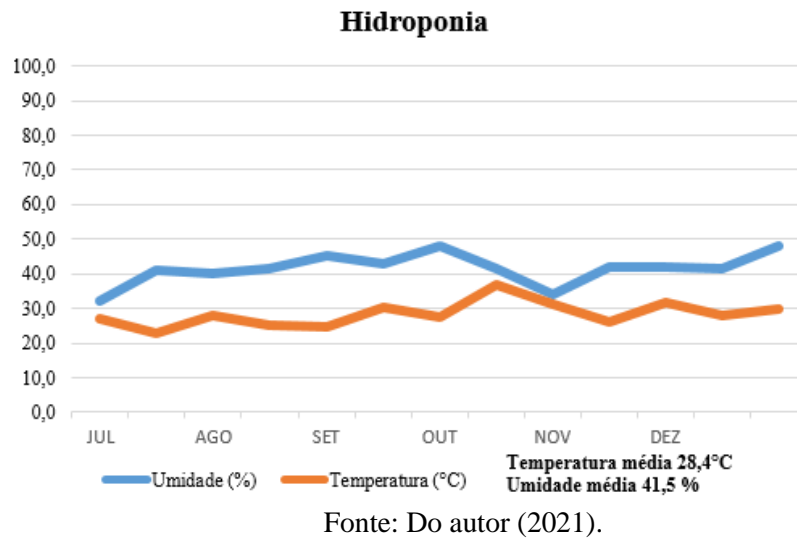
Figura 2 - Esquema do sistema hidropônico modificado para a produção de mudas de cafeeiro: (1) reservatório de solução nutritiva; (2) motobomba e (3) piscina: caixa nivelada dimensionada para receber os suportes que contém os tubetes e a espuma fenólica.



Fonte: Faquin e Chaulfun (2008).

No ambiente em que foi conduzido o ensaio com o sistema de hidroponia modificada, registrou-se temperatura média e umidade média do ar no ambiente durante o experimento, foram 28,4 °C e 41,5% respectivamente (FIGURA 3).

Figura 3 - Umidade e temperatura da casa de vegetação no Horto Botânico- UFLA, contendo as ‘piscinas’ de hidroponia modificada, durante o período de condução dos experimentos, de julho a dezembro de 2019.



3.2 Coleta e preparo das estacas

Para a obtenção das estacas, foram selecionadas plantas matrizes saudáveis de *Coffea arabica* L. cultivar do grupo Mundo Novo IAC 379-19, oriundas de uma lavoura experimental no Campus da Universidade Federal de Lavras.

O procedimento para o preparo das estacas caulinares foi o seguinte: a) coletou-se ramos ortotrópicos vigorosos e não lignificados (com coloração esverdeada) nas plantas matrizes, coletados preferencialmente da parte inferior das planta (os chamados ‘ramos ladrões’); b) em seguida fez-se a limpeza dos referidos ramos com a remoção das ramificações (plagiotrópicos), deixando somente o ramo ortotrópico com segmentos visíveis de pares de folhas; c) feita a limpeza dos ramos, estes foram cortados abaixo e acima dos nós, formando as estacas, com comprimento de 5 a 8 centímetros, sendo os corte da base das estacas em bisel, para manter maior superfície de contato com o substrato; d) cortou-se as folhas reduzindo o limbo foliar pela metade, de forma a manter a fonte de energia para a estaca (fotossíntese), ao mesmo tempo que se induz o enraizamento (FACHINELLO *et al.*, 2005); e) as estacas foram imersas em solução contendo hipoclorito de sódio (5%) por 10 minutos, para desinfestação do material, sendo que na sequência foram lavadas em água corrente, permanecendo imersas em água pura por mais 10 minutos, para eliminar eventuais resíduos de hipoclorito de sódio no material vegetal e; f) por fim, foi feita a aplicação do regulador de crescimento e estimulante

de enraizamento- AIB (ácido indolbutírico) na base das estacas para em seguida, proceder ao estaqueamento no substrato (FIGURA 4).

Figura 4 - Procedimento de coleta e preparo das estacas. (a) seleção dos ramos nas plantas matrizes; (b) limpeza dos ramos; (c) estaca pronta para a produção de mudas.



Fonte: Do autor (2021).

3.3 Experimento 1: produção de mudas de cafeeiro oriundas de estacas, em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo convencional e hidropônico

Nesse experimento foi realizada a avaliação de dois substratos diferentes (vermiculita em tubetes de polietileno - como tratamento controle e espuma fenólica cortada em cubos - como substrato inovador), em dois sistemas de cultivo (casa de vegetação climatizada com irrigação por nebulização - como tratamento controle e sistema hidropônico modificado - como sistema inovador), perfazendo um esquema fatorial 2 x 2 com 6 repetições. Assim, o experimento contou com 10 mudas por parcela e um total de 240 mudas.

O preparo dos substratos foi realizado da seguinte forma: a) a vermiculita foi colocada em tubetes de polietileno rígido com volume de 120 cm³, e esses foram colocados em grades próprias nos dois locais de ensaio; b) a espuma fenólica foi adquirida no mercado, em blocos maiores, que foram cortados em pequenos blocos de 3cm x 3cm x 10 cm, fazendo um volume

total de 90 cm³ cada, sendo que para a sustentação nos locais de ensaio foram acondicionados em placas de isopor adaptadas (FIGURA 5).

Figura 5 - (a) tubetes contendo vermiculita na casa de vegetação climatizada do DAG; (b) tubetes contendo vermiculita na casa de vegetação do Horto Botânico do DAG-sistema hidropônico; (c) blocos de espuma fenólica acondicionados em placas de isopor na casa de vegetação do Horto Botânico do DAG; (d) corte dos blocos de espuma fenólica para os ensaios.



Fonte: Do autor (2021).

Após a coleta e preparo das estacas, essas foram inseridas nos tubetes contendo vermiculita e nos blocos de espuma fenólica para enraizamento. Nos dois sistemas de: a casa de vegetação com irrigação por nebulização convencional para a produção de mudas por estacas em cafeeiros; e o sistema de produção por hidroponia modificada, como o sistema inovador. Sendo assim, o experimento contou com quatro tratamentos: 1) Hidroponia + Vermiculita; 2) Hidroponia + Espuma fenólica; 3) Casa de Vegetação + Vermiculita; 4) Casa de Vegetação + Espuma fenólica.

O fornecimento de nutrientes foi realizado de forma diferente nos dois sistemas de cultivo. Nas mudas do ensaio em casa de vegetação climatizada foram aplicadas 12,5 g L⁻¹ de

substrato do adubo de liberação lenta Osmocote Plus® com as seguintes concentrações de minerais: 15% de N; 9% K₂O; 12% de P₂O₅; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo, de acordo com a metodologia de Rezende *et al.* (2017). E no sistema hidropônico, o fornecimento foi feito via solução nutritiva, já descrita anteriormente.

3.4 Experimento 2: produção de mudas de cafeeiro produzidas por estacas, iniciadas no sistema convencional e transferidas para o sistema hidropônico em diferentes tempos de enraizamento.

Neste experimento buscou-se avaliar a pertinência ou não de se iniciar o enraizamento das estacas no sistema convencional de produção de mudas por estaquia, como preparo para a utilização da proposta inovadora de produção de mudas no sistema de produção por hidroponia modificado.

Após a coleta, preparo e plantio das estacas em tubetes de 120 cm³ contendo vermiculita, esses tubetes foram mantidos na casa de vegetação climatizada, e após 25, 50 e 75 dias foram transferidos para o sistema hidropônico. Como tratamento controle, mudas foram mantidas no sistema convencional até o final (época da avaliação final) e também colocadas diretamente no sistema hidropônico logo após o estaqueamento. Assim, o experimento teve como finalidade determinar o tempo ótimo para transferência do sistema convencional para o sistema de hidroponia modificada a partir do estaqueamento.

Dessa forma, considerou-se 5 tratamentos levando-se em conta a quantidade de dias após estaqueamento em que as mudas foram transferidas do sistema tradicional para o de hidroponia modificada. 1) Testemunha - (mudas mantidas em casa de vegetação climatizada convencional até o final das avaliações); 2) 75 dias após o estaqueamento (75 DAE); 3) 50 dias após o estaqueamento (50 DAE); 4) 25 dias após o estaqueamento (25 DAE); 5) 00 dias após o estaqueamento (00 DAE).

Na testemunha que foi mantida em casa de vegetação climatizada o fornecimento de nutrientes foi por meio da aplicação do adubo de liberação lenta Osmocote Plus® 15% de N; 9% K₂O; 12% de P₂O₅; 0,06% Mg; 2,3% S; 0,05% Cu; 0,45% Fe; 0,06% Mn e 0,02% Mo, na dose de 12,5 g L⁻¹ de substrato, de acordo com a metodologia de Rezende *et al.* (2017). Nos demais tratamentos, o fornecimento de nutrientes foi realizado por meio de solução nutritiva do sistema hidropônico modificado.

3.5 Características avaliadas

As avaliações do percentual de sobrevivência das mudas após o estaqueamento e as avaliações do número de brotos foram realizadas duas vezes por semana, e ao final do experimento, juntamente com as demais avaliações, quando as mudas apresentaram três pares de folhas verdadeiras, totalizando 150 dias.

3.5.1 Avaliações de sobrevivência e crescimento

- i. Sobrevivência (%): avaliação feita contabilizando o número de estacas que apresentavam coloração verde e brotações ao longo do experimento, em relação ao total de estacas do início do experimento;
- ii. Altura total das mudas (centímetro): com a utilização de régua milimetrada, foi medida do colo das mudas até a gema terminal dos ramos ortotrópicos;
- iii. Número total de folhas: contagem de número total de folhas verdadeiras dos brotos;
- iv. Número de folhas remanescentes: contagem das folhas que permaneceram nas estacas ao final do experimento, a fim de verificar o tempo de permanência das mesmas mudas produzidas por estacas;
- v. Número de brotos: contagem do número total de brotos emitidos por estaca;
- vi. Altura dos brotos (centímetro): medido de onde a brotação foi emitida, até a gema terminal do broto com auxílio de régua milimetrada;
- vii. Diâmetro do broto em milímetros (milímetro): medido no nível do colo das brotações utilizando o paquímetro digital milimetrado modelo ZAAS-PAQDIGITAL-150mm.

3.5.2 Análise de raízes pelo *software* SAFIRA

Para a avaliação do sistema radicular, as raízes foram analisadas por imagens utilizando-se o *software* SAFIRA (Sistema de Análise de Fibras e Raízes), desenvolvido pela Embrapa Instrumentação (JORGE; SILVA, 2010).

Para tanto, as plantas foram seccionadas separando parte aérea e raiz, sendo lavadas em água corrente, e o excesso de água era retirado das raízes para evitar que houvesse o molhamento da superfície onde foram fotografadas. Para que as imagens fossem processadas pelo sistema, as raízes foram fotografadas por câmera de alta resolução, em uma superfície de cor preta contendo uma escala de 8 centímetros.

As características avaliadas pelo programa foram: volume de raízes (mm^3), área superficial (mm^2), e diâmetro médio das raízes (mm). Além das características obtidas pelo *software* SAFIRA, foi realizada paralelamente a medição do comprimento da maior raiz, com o uso de uma régua milimetrada, com os valores obtidos em centímetros.

3.5.3 Matéria seca da parte aérea e sistema radicular

A avaliação do peso seco das partes das plantas foi feita a partir da divisão das mudas em folhas, caules e raízes. Em seguida, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel do tipo Kraft, e levados à estufa de ventilação forçada de ar a $65\text{ }^\circ\text{C}$, até que atingissem peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão, determinando o peso da matéria seca de folhas, caules e raízes; com valores obtidos em miligramas (mg).

3.5.4 Área foliar e parâmetros de crescimento

A área foliar foi mensurada por meio do *software* WinFOLIA™ pelo scanner EPSON PERFECTION V700 PHOTO.

As amostras foram coletadas, identificadas e levadas a laboratório de cultura de tecidos e plantas medicinais do Departamento de Agricultura da UFLA. As folhas foram destacadas e em seguida realizou-se a leitura por meio do *software* e *scanner* citados. A leitura foi feita em todas as folhas de cada muda, obtendo, portanto, a área foliar total, e os valores obtidos em centímetros quadrados (cm^2) foram anotados em uma tabela.

As mesmas folhas foram utilizadas no cálculo do peso da matéria seca da parte aérea, uma vez que a avaliação de área foliar não é um método destrutivo.

A partir dos resultados obtidos, os índices para análise de crescimento foram calculados, aplicando-se as seguintes fórmulas (EVANS, 1972; PEREIRA; MACHADO, 1987):

- i. Razão de área foliar (RAF)= área foliar total/ matéria seca total (cm^2/mg);
- ii. Área foliar específica (AFE)= área foliar total/ matéria seca das folhas (cm^2/mg);
- iii. Massa foliar específica (MFE)= peso da matéria seca das folhas/ área foliar total (mg/cm^2).

3.5.5 Avaliações fisiológicas e de estômatos

Os índices de clorofila a, b e total foram obtidos por meio do medidor portátil ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola), sendo que os índices fornecidos são proporcionais a absorvância das clorofilas. Os valores obtidos com o ClorofiLOG são equivalentes aos teores das clorofilas a, b e total (BARBIERI JÚNIOR *et al.*, 2012).

A condutância estomática ($CE - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi obtida a partir do fluxo de vapor real da folha através dos estômatos para o ambiente externo, com a utilização do porômetro (SC-1, Decagon Devices). As leituras foram realizadas em dias claros, em folhas completamente expandidas, no período entre 9 e 11 horas no período da manhã.

Para as avaliações de clorofila e condutância estomática, foram utilizadas doze folhas por tratamento, sendo duas por repetição.

As folhas das mudas produzidas foram coletadas para obtenção de imagens, e posteriores avaliações de estômatos. Também foram coletadas doze folhas por tratamentos, sendo duas por repetição; as amostras foram cortadas em pedaços com aproximadamente 2 cm de largura e 3 cm de altura. O material foi fixado em solução Karnovsky por 24 horas, lavados três vezes por 10 minutos em tampão cacodilato 0,05M, e desidratados em gradientes progressivos de acetona (25%, 50%, 75%, 90% por 10 minutos, e na concentração de 100% três vezes de 10 minutos). Na sequência, as amostras foram levadas ao aparelho de ponto crítico (Bal-Tec) para finalizar a secagem, montando em suportes de alumínio (*stubs*) contendo fita de carbono dupla face colocada sobre película de papel alumínio e coberto com ouro no aparelho evaporador de ouro Sputtering SCD 050 Bal-Tec. Em seguida, o material foi observado em microscópio de varredura modelo Carl Zeiss LEO Evo40 XVP do Laboratório de Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural da UFLA.

As amostras foram fotografadas em vinte campos em cada *stub*, com aumento de 500x para contagem do número de estômatos e medição dos diâmetros polar e equatorial; e em dez campos com aumento de 4.000x para medição da abertura estomática. Os campos foram considerados como repetições

As imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura foram analisadas com a utilização do *software* de imagens UTHSCSA-Imagetool. Foi contabilizado o número de estômatos e medidos os diâmetros polar e equatorial (μm) para mensurar as seguintes variáveis: a) Densidade estomática ($\text{DEN} = n/\text{mm}^2$) e; b) Relação entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial, funcionalidade ($\text{FUN} = dp/de$).

A partir dessas imagens também foi medida a abertura do estômato (μm).

3.6 Análise estatística

Os experimentos foram conduzidos em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), sendo o primeiro experimento em esquema fatorial 2 x 2, 2 sistemas de produção de mudas por estaquia (hidropônico modificado e convencional) e 2 substratos (vermiculita e espuma fenólica) perfazendo 4 tratamentos. Para cada tratamento foram utilizadas 6 repetições, sendo que cada parcela contou com 10 plantas, perfazendo um total de 240 plantas.

No segundo experimento foram investigados 5 tratamentos, sendo quatro tempos de transferência após o estaqueamento (25DAE, 50DAE, 75DAE E 0 DAE) e testemunha que permaneceu em casa de vegetação climatizada de produção de mudas por estacas. Utilizou-se 6 repetições, sendo cada parcela com 10 plantas, perfazendo um total de 300 plantas.

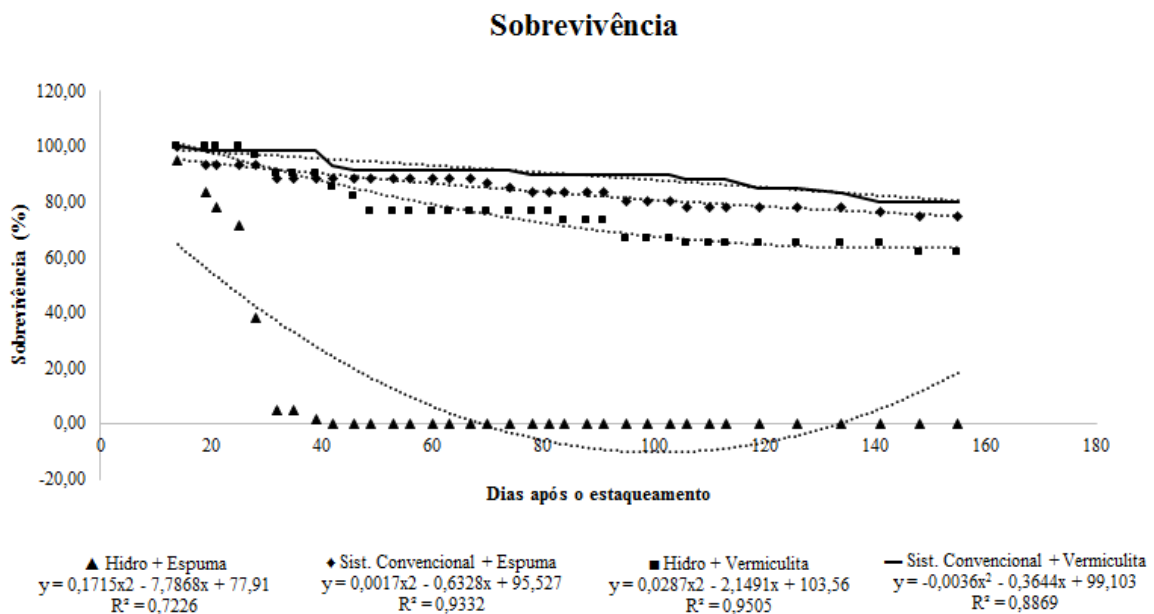
Os dados coletados foram tabulados, submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade e analisados pelo SISVAR[®] (FERREIRA, 2011). Para a comparação das médias foi utilizado o teste de Scott-Knott ao nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1: produção de mudas de cafeeiro por meio de estacas em espuma fenólica e tubetes com vermiculita, sob sistema de cultivo convencional e hidropônico modificado.

Após as estacas terem sido colocadas para enraizar, observou-se que a partir de trinta e cinco dias após o estaqueamento, em condições hidropônicas e espuma fenólica, as estacas cultivadas não sobreviveram (FIGURA 6). Essas estacas apresentaram, a princípio, sinais de necrose no tecido lenhoso e nas folhas remanescentes morrendo em seguida. Segundo Silva *et al.* (2012), a maior mortalidade na espuma fenólica ocorre em função do acúmulo excessivo de água.

Figura 6 - Sobrevivência das mudas formadas, em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo convencional e hidropônico ao longo das avaliações.



Fonte: Do autor (2021).

Já segundo Silveira *et al.* (2001), a toxicidade (excesso) de nutrientes é que normalmente está relacionada a problemas em plantas cultivadas em solução nutritiva, uma vez que a concentração dos sais na solução é alta, logo, o acúmulo de algum nutriente provavelmente será maior do que a deficiência do mesmo. O bloco da espuma fenólica esteve todo em contato com a solução nutritiva durante o período integral do experimento, já os tubetes contendo vermiculita

somente o fundo permaneceu em contato e a solução subia por capilaridade, explicando, portanto, a possível diferença de concentração e toxicidade entre os substratos.

Outro fato que possivelmente levou à mortalidade das mudas na espuma fenólica foi o pH da espuma, que geralmente é muito baixo nas condições em que são comercializadas, o que sugere a necessidade de um pré-tratamento para que haja a elevação do pH (COUTO; MOREIRA; JUNIOR, 2015). Embora a espuma tenha sido lavada no presente trabalho, não foi suficiente para elevar o pH a uma faixa ideal para desenvolvimento das mudas.

Sendo assim, as possíveis causas da mortalidade obtida no tratamento (Hidro + Espuma), são o acúmulo de água pela espuma, a toxicidade de nutrientes e aumento da salinidade na solução e o pH da espuma. Os demais tratamentos se desenvolveram normalmente possibilitando a formação de mudas.

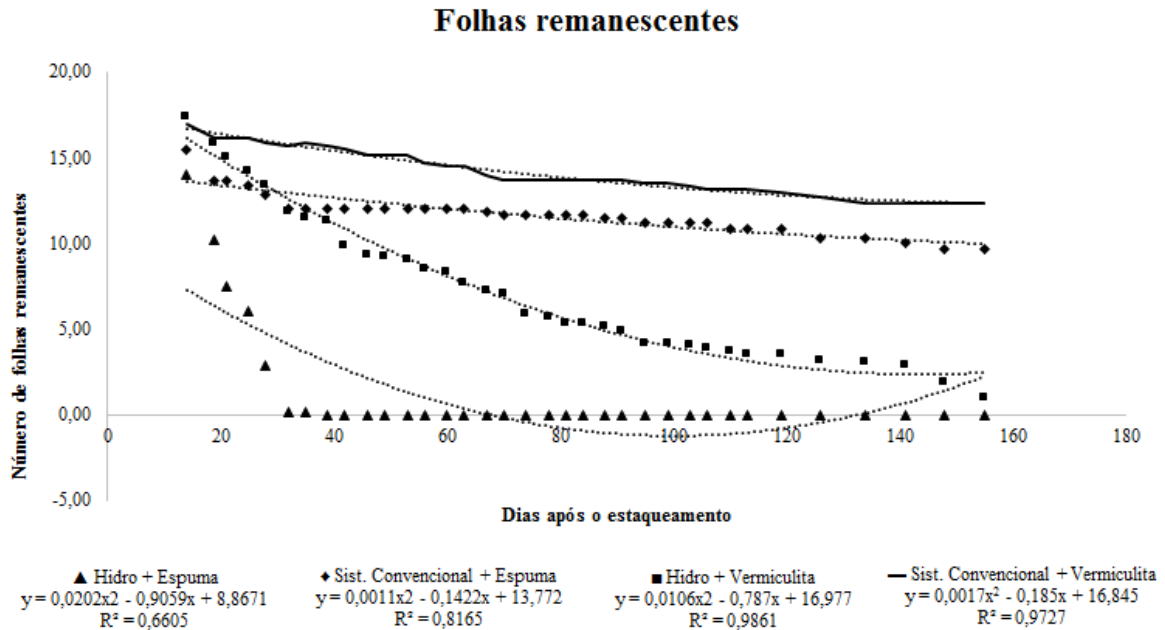
Com relação às mudas formadas nos demais tratamentos observou-se com o avanço das avaliações que houve queda na sobrevivência em todos os tratamentos. No ambiente de hidroponia modificada com o uso do substrato vermiculita, foi observado uma queda acentuada entre trinta e cinco e quarenta e nove dias após o estaqueamento, onde houve uma estabilidade até a vigésima terceira avaliação e, a partir de então, voltou a cair novamente até o final do experimento onde houve 58,33% de sobrevivência (FIGURA 6).

Na casa de vegetação climatizada o comportamento das mudas quanto à sobrevivência foi semelhante em ambos os substratos. Tanto na espuma fenólica quanto na vermiculita, houve uma queda progressiva durante todo o período de condução do experimento, passando por um período de estabilidade na sobrevivência das mudas, e, ao final, tiveram altas porcentagens, 78,33% na vermiculita e 73,33% na espuma fenólica (FIGURA 6).

As folhas remanescentes atuam na manutenção da área fotossintética para as estacas no estágio inicial de desenvolvimento. Como observado, as mudas estaqueadas em espuma fenólica no sistema de hidroponia modificada não sobreviveram, com isso, as folhas remanescentes a partir da avaliação que foi constatada a morte das estacas também não foram observadas.

O comportamento das mudas quanto à queda das folhas remanescentes foi semelhante ao da sobrevivência das mudas. No sistema hidropônico modificado nas mudas do substrato vermiculita a queda foi progressiva e acentuada. E no ambiente da casa de vegetação essa queda das folhas remanescentes também foi progressiva, porém, ao usar o substrato vermiculita foi menor do que no uso da espuma fenólica (FIGURA 7).

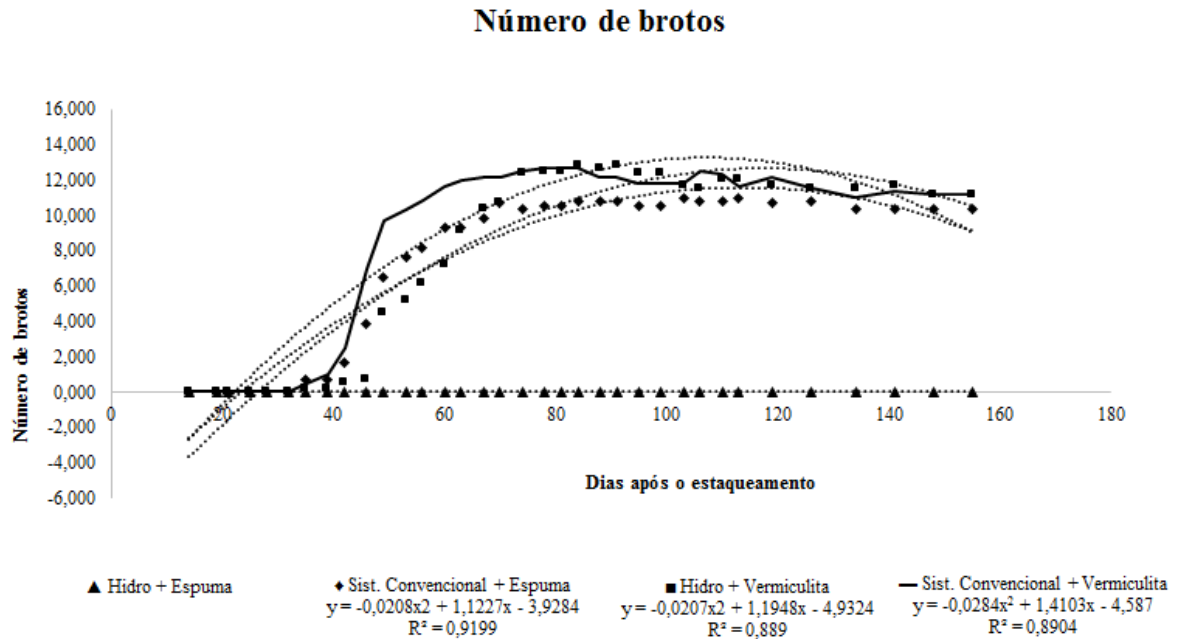
Figura 7 - Folhas remanescentes das mudas formadas, em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo convencional e hidropônico ao longo das avaliações.



Fonte: Do autor (2021).

Com relação ao número de brotos nas mudas formadas, não houve um comportamento uniforme. No sistema de hidroponia modificada nas mudas estaqueadas em espuma não houve brotações devido a mortalidade de 100%. Nos demais tratamentos observou-se que a partir de trinta e cinco dias após o estaqueamento houve aumento acentuado no número de brotações, no entanto ocorreu oscilações nesse número no decorrer do experimento (FIGURA 8). Em condições de hidroponia modificada, possivelmente essa variação ocorreu em função das variações de temperatura, uma vez que se verificou o secamento das brotações.

Figura 8 - Número de brotos das mudas formadas, em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo convencional e hidropônico ao longo das avaliações.



Fonte: Do autor (2021).

Entre as irrigações, foi observado o secamento dos substratos utilizados no experimento em casa de vegetação, sendo que no caso da vermiculita nos tubetes, foi observado o secamento somente na superfície superior; enquanto que blocos de espuma fenólica foi mais acentuado, sendo observado em toda a superfície do bloco, que absorve água muito fácil, no entanto, perde com a mesma facilidade.

4.1.1 Sobrevivência e crescimento das mudas

A formação de mudas clonais de *Coffea arabica* por estacas foi significativamente afetada pelo tipo de substrato, e pelo sistema utilizado para a formação das mesmas. As mudas estaqueadas em espuma fenólica em sistema hidropônico modificado não sobreviveram (TABELA 1). Possivelmente, ocorreu aumento da pressão osmótica com o aumento da salinidade, com isso, mesmo a solução nutritiva contendo água disponível, o ambiente se torna inadequado para a planta absorver água suficiente e repor a perda por transpiração (TAIZ; ZAIGER, 2002).

Tabela 1 - Sobrevivência, altura total, número de folhas, e folhas remanescentes de mudas clonais de cafeeiro, cultivadas em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo hidropônico modificado e convencional.

	Sobrevivência (%)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	58,333 Ba	0,000 Bb
Sistema Convencional	78,333 Aa	73,333 Aa
	Altura total (cm)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	10,970 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	5,380 Ba	5,438 Aa
	Nº de folhas	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	9,390 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	4,836 Ba	4,751 Aa
	Folhas remanescentes	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	0,583 Ba	0,000 Bb
Sistema Convencional	1,620 Aa	1,433 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Porém, as mudas estaqueadas em tubetes com vermiculita no sistema hidropônico modificado tiveram maior altura (aumento de 103,90%) e maior número de folhas (aumento de 94,17%) que aquelas produzidas em sistema convencional (casa de vegetação climatizada), apesar de terem tido menor sobrevivência (20% a menos) e, conseqüentemente, menor número de folhas remanescentes (menos 35,99%) (TABELA 1). Souza *et al.* (2013) visualizaram maior crescimento de mudas de tangerina Ponkan em sistema de hidroponia. Tal resultado ocorre, pois, esse sistema apresenta uma maior disponibilidade de água do que a casa de vegetação, e os nutrientes estão prontamente disponíveis. Além disso, proporciona elevado controle na nutrição e na sanidade vegetal, que são fatores de extrema relevância no crescimento vegetal (SOUZA *et al.*, 2011).

Guimarães (1994) avaliou o crescimento de mudas de cafeeiro (em saquinhos de polietileno, em substrato padrão, em viveiro tradicional) concluindo que seriam necessários 278 dias, desde a semeadura, para que as mudas emitissem o oitavo par de folhas verdadeiras. Ou seja, 117 dias da semeadura até o primeiro par de folhas verdadeiras; 21 dias entre o 1º e o 2º; 14 dias entre o 2º e o 3º; 22 dias entre o 3º e o 4º; 22 dias entre o 4º e o 5º; 19 dias entre o 5º e o 6º; 18 dias entre o 6º e o 7º e 45 dias entre o 7º e o 8º pares de folhas verdadeiras; perfazendo

um total de 161 dias entre as emissões do 1º e do 8º par de folhas verdadeiras, com média de 23 dias entre as emissões de cada novo par de folhas. Ao final do presente trabalho obteve-se, em valores absolutos, 9,39 folhas verdadeiras nas mudas produzidas em tubetes em sistema hidropônico modificado (4,695 pares de folhas) e 4,836 folhas verdadeiras nas mudas produzidas em tubetes em sistema convencional (2,418 pares de folhas). Assim, é possível inferir que as mudas produzidas em tubetes e hidroponia modificada cresceram 2,28 pares de folhas verdadeiras a mais que o sistema convencional, no mesmo tempo de produção, e considerando um tempo médio de 23 dias para emissão de novos pares de folhas (GUIMARÃES, 1994), essas podem antecipar o plantio em campo, em cerca de 52 dias, em relação ao sistema tradicional. Essa antecipação pode ser decisiva no sucesso do empreendimento, pois possibilita o plantio das mudas no início do período chuvoso.

Já com a utilização do sistema de casa de vegetação climatizada, as mudas tiveram porcentagens de sobrevivência semelhantes, tanto em mudas produzidas em tubetes com vermiculita (78,33%) quanto em mudas produzidas em espuma fenólica (73,33%). Bergo e Mendes (2000) observaram em seu trabalho com mudas formadas por estacas, utilizando o mesmo sistema para produção de mudas, sobrevivência de 85,7% e 56,8% para as cultivares Acaiá e Catuaí vermelho, respectivamente. O sucesso para a formação dessas mudas ocorre pelas condições ambientais do meio para que as estacas formem suas próprias raízes e, conseqüentemente, absorvam água (CAMPINHOS JR., 1982; THOMPSON, 1992).

A maior umidade no ambiente de produção das mudas por estaca é um fator de grande importância, pois atua na regulação do *status* hídrico; uma vez que a estaca não possui meios para absorver água e nutrientes. Portanto, a umidade do substrato e do ambiente desempenham um importante papel, pois evita que o material vegetal seque (LOACH, 1987b; SIMÃO, 1971; WILSON, 1994). Tal fato, explica o motivo do melhor desempenho quanto à sobrevivência na casa de vegetação, que durante o experimento apresentou umidade relativa média do ar de 84,9%; enquanto no sistema hidropônico essa umidade foi de 41,5%.

No entanto, o uso da espuma fenólica como substrato alternativo não está descartado, visto que, no ambiente de casa de vegetação climatizada (ambiente convencional) os resultados de sobrevivência, altura, número de folhas e folhas remanescentes foram iguais aos obtidos com substrato convencional (tubetes com vermiculita).

Com esses resultados percebe-se que o sistema hidropônico modificado não deve ser recomendado somente no caso do uso de espuma fenólica como substrato, sendo que se pode perceber, durante a condução do experimento, que ocorreu o acúmulo excessivo de água. Em contrapartida, no sistema de casa de vegetação climatizada houve o ressecamento da parte

superior das espumas fenólicas, não tendo havido umedecimento dessa parte por capilaridade, comprometendo a sobrevivência das mudas. Contudo, pode-se constatar no presente trabalho que há necessidade de alterações no sistema de hidroponia modificada e no sistema de irrigação da casa de vegetação para que a produção de mudas por estacas em espuma fenólica tenha maior adaptabilidade da metodologia (SILVA *et al.*, 2012).

Os resultados do presente trabalho foram contrastantes aos encontrados por Paulus *et al.* (2005), que ao utilizarem três substratos no cultivo hidropônico de hortelã, observaram que com o uso da espuma fenólica ocorreu maior altura das plantas (aumento de 48,43%) e maior número de folhas (aumento 27,35%) em relação ao tratamento sem substrato, que apresentou os resultados inferiores. Mostrando, portanto, a diferença de adaptação das espécies ao uso da espuma fenólica como substrato em sistema de hidroponia modificada, sendo o hortelã, mais adaptado do que o cafeeiro.

As folhas remanescentes ajudam a manter uma superfície transpiratória na estaca, para que haja manutenção da fotossíntese, e, conseqüentemente, produção de carboidratos, que são essenciais no enraizamento; no entanto, a perda de água por transpiração é aumentada sob temperaturas elevadas (FACHINELLO, 2005). Isso explica a maior queda dessas folhas (menor número de folhas remanescentes) no ambiente hidropônico, onde foram observadas altas temperaturas (média de 28,4 °C), e não apresenta sistema de irrigação por nebulização como na casa de vegetação climatizada.

Como se pode observar pela Tabela 2, a exemplo do que se constatou na Tabela 1, as mudas produzidas em espuma fenólica no sistema hidropônico modificado não sobreviveram.

Quando se utilizou o sistema convencional de produção de mudas em estacas (casa de vegetação climatizada) pôde-se observar que o crescimento das mudas em número de brotos, altura de brotos e diâmetro de brotos, foi igual, podendo nesse caso, utilizar a espuma fenólica como alternativa de substrato (TABELA 2).

Tabela 2 - Número de brotos, altura dos brotos, diâmetro dos brotos de mudas clonais de cafeeiro, cultivadas em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo hidropônico modificado e convencional.

	Nº de brotos	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	1,688 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	1,670 Aa	1,427 Aa
	Altura do broto (cm)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	5,924 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	2,452 Ba	1,567 Aa
	Diâmetro do broto (mm)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	2,883 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	2,438 Ba	2,422 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Porém, quando se produz mudas em tubetes com vermiculita, percebe-se que o sistema hidropônico modificado é capaz de proporcionar às mudas produzidas por estacas, maiores alturas (141,60%) e diâmetros de brotos (18,25% maiores) (TABELA 2).

Os melhores resultados na vermiculita ocorreram possivelmente por se tratar de um substrato com boas características físicas, tais como: boa capacidade em reter água, boa distribuição de macro e microporos e alta capacidade de troca de cátions (CTC), que permite reter nutrientes e disponibilizá-los de maneira progressiva para as plantas (RESH, 1997).

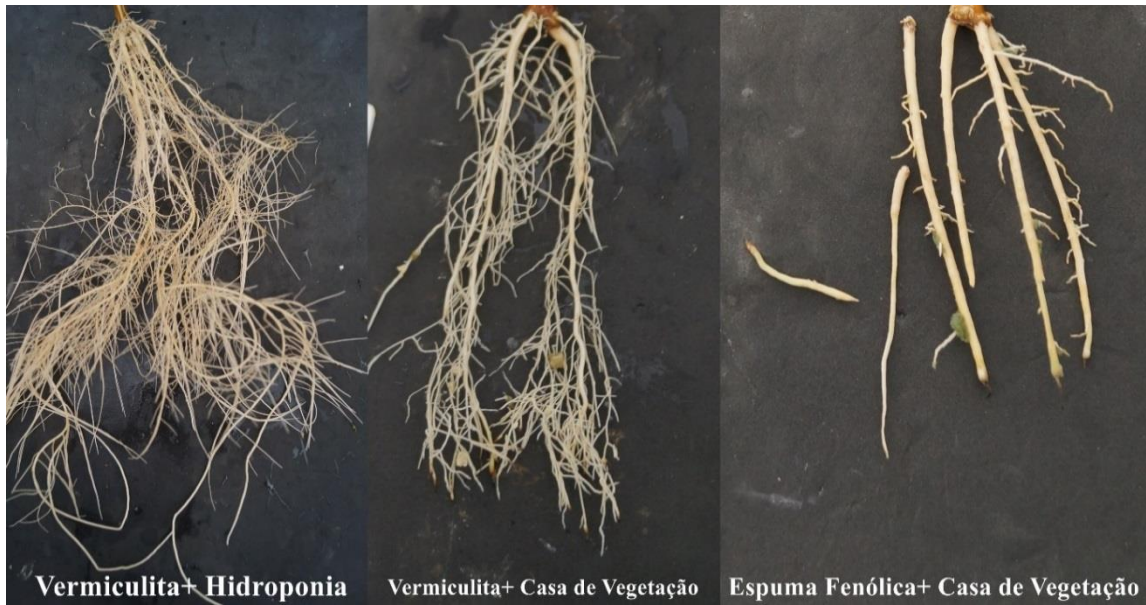
Coelho *et al.* (2013), ao testarem diferentes substratos no cultivo de poaia, também observaram um número de brotações reduzido na espuma fenólica em relação a areia. Horner *et al.* (2003), ao avaliarem o crescimento de mudas de tomateiro em substrato de algodão, vermiculita e espuma fenólica, constataram o maior crescimento das mudas para todas as variáveis na vermiculita, e o menor crescimento na espuma fenólica. Ambos os trabalhos corroboram com o trabalho atual, uma vez que o crescimento no substrato espuma fenólica também foi inferior ao outro substrato testado (vermiculita).

4.1.2 Análise de raízes pelo software SAFIRA

Nota-se que o desenvolvimento radicular das mudas produzidas sofreu influência tanto do substrato utilizado, quanto do ambiente de condução. Para todas as variáveis de raízes analisadas (Área superficial das raízes- ASR, volume de raízes- VR, diâmetro médio de raízes-

DR e comprimento da maior raiz- CR), o uso da vermiculita como substrato proporcionou melhor desenvolvimento radicular, e o sistema que apresentou melhor desempenho foi o hidropônico modificado (FIGURA 9 e TABELA 3).

Figura 9 - Aspectos das raízes lavadas de mudas de cafeeiro produzidas por estaquia, cultivadas em vermiculita e espuma fenólica, sob sistema de cultivo convencional e hidropônico.



Fonte: Do autor (2021).

Tabela 3 - Volume de raízes, área superficial das raízes, diâmetro de raízes e comprimento da maior raiz de mudas clonais de cafeeiro, cultivadas em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo hidropônico modificado e convencional.

	Volume das raízes(mm³)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	3963,881 Aa	0,000 Ab
Sistema Convencional	1761,437 Ba	487,699 Ab
	Área superficial das raízes (mm²)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	20114,645 Aa	0,000 Ab
Sistema Convencional	5692,955 Ba	1637,599 Aa
	Diâmetro médio de raízes (mm)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	0,719 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	0,693 Ab	0,828 Aa
	Comprimento da Raiz (cm)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	31,540 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	12,845 Ba	6,920 Ab

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Os maiores valores de volume, área superficial e comprimento de raízes das mudas por estacas, produzidas em tubetes com vermiculita em sistema hidropônico modificado em relação as produzidas em casa de vegetação climatizada, ocorrem, possivelmente, como resposta fisiológica das plantas à maior disponibilidade de água e nutrientes. Essa disponibilidade aumenta o desenvolvimento das raízes, pois a planta possui mecanismos capazes de aumentar ou diminuir seu sistema radicular de acordo com suas necessidades (COVRE *et al.*, 2015; FORD; REUTHER; SMITH, 1957; SMITH, 1965). No entanto, o sistema hidropônico modificado não foi capaz de alterar o diâmetro das raízes das mudas por estacas, produzidas em tubetes com vermiculita (TABELA 3).

Quando se cultivou as mudas por estacas em casa de vegetação, percebeu-se que as mesmas apresentaram maior volume e comprimento quando produzidas em tubetes com vermiculita, porém, a utilização de espuma fenólica foi capaz de manter a área superficial semelhante e aumentar o diâmetro das raízes em relação ao substrato convencional. Como observado em outras avaliações, as mudas produzidas em espuma fenólica no sistema hidropônico modificado não sobreviveram (TABELA 3).

O menor desenvolvimento do sistema radicular na espuma pode estar relacionado também, ao processo de degradação sofrido por esse substrato, que ocorre durante o período de cultivo das plantas, com isso, o tempo de retenção de nutrientes é reduzido. O melhor desempenho das mudas no sistema hidropônico modificado, quanto a área superficial e diâmetro das raízes pode ter ocorrido pelo pronto fornecimento dos nutrientes durante o processo de absorção das plantas (JORDAN *et al.*, 2018).

Embora os resultados mostrem uma inferioridade do desenvolvimento radicular na espuma fenólica em algumas das características (volume e comprimento das raízes), ocorreu o enraizamento com igual área superficial e maior diâmetro (TABELA 3 e FIGURA 10).

Figura 10 - Enraizamento de estacas de cafeeiro em espuma fenólica.



Fonte: Do autor (2021).

No sistema de casa de vegetação climatizada, o comprimento das raízes em tubetes contendo vermiculita foi 85,62% maior do que aquelas cultivadas em espuma fenólica, possivelmente pelo volume de substrato disponível para o desenvolvimento da raiz, que é maior nos tubetes. E também porque ocorre a poda natural, quando as raízes emergem para fora do substrato, e entram em contato com o oxigênio, levando à morte do tecido exposto (DAVIDE; FARIA, 2008; JÚNIOR *et al.*, 2020).

No sistema convencional (casa de vegetação climatizada) o diâmetro médio de raízes na espuma fenólica (0,828 mm) foi maior do que nos tubetes com vermiculita (0,693 mm). Rena e Guimarães (2000) consideraram em cafeeiros adultos como raízes finas aquelas com diâmetro inferior a 3mm. As raízes finas são de extrema importância no sistema radicular, pois elas estão associadas aos processos de absorção e transporte de água e nutrientes.

No presente trabalho, as raízes, em todos os tratamentos, apresentaram diâmetro inferior a 3 mm, constatando que o sistema radicular das mudas formadas é composto por raízes fisiologicamente ativas. Corroborando, portanto, com Jesus, Carvalho e Soares (2006), que ao avaliarem o sistema radicular de mudas de café produzidas por estacas e sementes, visualizaram que o diâmetro das raízes das mudas formadas foi inferior a 2 mm em ambos os métodos de propagação.

4.1.3 Matéria seca de folhas, caule e raiz

Ao avaliar o peso da matéria seca das mudas, notou-se que o substrato e o sistema de cultivo influenciaram em todas as variáveis analisadas, que foram: matéria seca de folhas (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR) e matéria seca total (MST). Os melhores resultados de peso da matéria seca foram observados ao usar a vermiculita como substrato no sistema de hidroponia modificada (TABELA 4).

Tabela 4 - Matéria seca de folhas (MSF), matéria seca do caule (MSC), matéria seca de raízes (MSR) e matéria seca total (MST) de mudas clonais de cafeeiro, cultivadas em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo hidropônico modificado e convencional.

	MSF (mg)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	1098,75 Aa	0,000 Ab
Sistema Convencional	266,7 Ba	236,00 Aa
	MSC (mg)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	221,00 Aa	0,000 Ab
Sistema Convencional	48,56 Ba	38,00 Aa
	MSR (mg)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	396,50 Aa	0,000 Ab
Sistema Convencional	70,88 Ba	60,66 Aa
	MST (mg)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	1716,00 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	386,15 Ba	334,66 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Estas mudas tiveram peso de matéria seca da parte aérea muito superior às aquelas cultivadas em casa de vegetação climatizada. O peso da matéria seca de folhas apresentou um aumento de 311,97%, e o peso da matéria seca de caules um aumento de 355,10% (TABELA 4). Pinto (2017), ao utilizar diferentes manejos do sistema hidropônico para a produção de mudas de cafeeiro por estacas em dois substratos, também observou que as mudas produzidas em tubetes com vermiculita sob manejo com solução nutritiva, apresentaram maior peso de matéria seca da parte aérea.

O peso da matéria seca de raízes e total seguiram o mesmo padrão das mudas estaqueadas em tubetes com vermiculita no sistema hidropônico que foram superiores, e na casa de vegetação o desempenho dos substratos foi semelhante. Mais uma vez, foi evidenciado a morte das mudas estaqueadas em espuma fenólica no sistema hidropônico modificado (TABELA 4).

A matéria seca da parte aérea (folhas e caule), possui uma estreita relação com a quantidade e qualidade das folhas. Esta característica apresenta grande importância, uma vez que as folhas são uma das principais fontes de fotoassimilados para as plantas (GONÇALVES; BENEDETTI, 2000; SILVA *et al.*, 2013). Pode-se então, notar a consistência dos resultados do presente trabalho, com maior número de folhas e maior peso da matéria seca da parte aérea no tratamento com o uso de vermiculita no sistema de cultivo hidropônico, ou seja, o maior número de folhas sob essas condições está relacionado à maior disponibilidade de água e nutrientes e, conseqüentemente, ao maior crescimento das mudas.

O desenvolvimento da parte aérea e, conseqüentemente, a produção de matéria seca, está ligado ao desenvolvimento do sistema radicular. De acordo com Gonçalves e Benedetti (2000), mudas com o sistema radicular pouco desenvolvidos passam por um estresse hídrico, pois não absorvem água suficiente para equilibrar as perdas por transpiração. No entanto, no presente trabalho, o menor volume radicular obtido com o uso da espuma fenólica no sistema convencional, não foi capaz de afetar a produção de matéria seca da parte aérea nessas mudas (TABELA 4).

O menor peso da matéria seca de raízes foi observado por Palacios-Romero *et al.* (2017) ao utilizarem a espuma fenólica na formação de mudas de *Pinus leiophylla*. Tal resultado foi atribuído ao fato de as raízes terem penetrado e permanecido na espuma, com isso, a retirada do sistema radicular foi dificultada, e, portanto, essas raízes não foram consideradas na pesagem. Notou-se a mesma dificuldade no presente trabalho nas mudas formadas em espuma fenólica na casa de vegetação climatizada, porém, mesmo com esse entrave, o resultado foi semelhante ao da vermiculita nesse ambiente. Dessa forma, é possível inferir que a espuma

fenólica pode ser usada como substrato alternativo nesse sistema, pois possibilita a formação de um sistema radicular bem desenvolvido.

Silva *et al.* (2012), estudando o uso de espuma fenólica na produção de mudas clonais de eucalipto em casa de vegetação, também não observaram diferenças significativas entre a espuma fenólica e o uso de tubetes com substrato quanto ao peso da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. No substrato vermiculita, o aumento do peso da matéria seca de raízes no sistema hidropônico modificado ocorre, pois, o peso da matéria seca aumenta de acordo com o aumento da retenção de água pelo substrato (CABEZAS, 2012). Embora os dois sistemas apresentem boas condições no suprimento de água, no sistema de hidroponia esse suprimento é constante, uma vez que os tubetes permaneceram durante todo o período do experimento em contato com a solução nutritiva nas 'piscinas'. Já na casa de vegetação o fornecimento de água depende das irrigações.

O peso da matéria seca total é a soma das demais partes (folhas, caules e raízes), portanto, seguiu o mesmo padrão das demais características avaliadas, ratificando os resultados e discussões feitas até aqui.

4.1.4 Área foliar e índices de crescimento

A área foliar total e os parâmetros de crescimento das mudas formadas foram influenciados pelo substrato e pelo sistema de produção utilizado. No ambiente da casa de vegetação climatizada, notou-se o aumento de 68,21% na área foliar total (AFT) das mudas formadas em tubetes com vermiculita em relação as mudas produzidas em espuma fenólica. E quando se utilizou tubetes com vermiculita no sistema de hidroponia modificada, notou-se um aumento de 81,08% em relação as mudas produzidas no sistema convencional (TABELA 5).

Tabela 5 - Área foliar total (AFT), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e massa foliar específica (MFE) de mudas clonais de cafeeiro, cultivadas em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo hidropônico modificado e convencional.

	AFT (cm ²)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	21474,66 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	11858,66 Ba	7049,60 Ab
	RAF (cm ² /mg)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	15,08 Ba	0,000 Bb
Sistema Convencional	30,38 Aa	21,10 Ab
	AFE (cm ² /mg)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	27,91 Ba	0,000 Bb
Sistema Convencional	43,79 Aa	30,24 Ab
	MFE (mg/cm ²)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	0,045 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	0,023 Ba	0,035 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Quanto aos parâmetros de crescimento analisados, a razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) tiveram comportamento semelhante, foram observados menores valores nas mudas estaqueadas em tubetes com vermiculita no sistema hidropônico modificado e com o uso da espuma fenólica como substrato na casa de vegetação climatizada. Já a massa foliar específica (MFE) os menores valores foram obtidos nos tubetes com vermiculita no sistema convencional, no entanto não apresentando diferença significativa entre os substratos nesse sistema (TABELA 5).

A redução da área foliar nas mudas formadas em espuma fenólica, possivelmente está relacionada com a menor retenção de água desse substrato nas condições da casa de vegetação climatizada. Nesse ambiente, a irrigação ocorre quando há uma redução na umidade relativa do ar, com isso, a espuma fenólica passa por um secamento da sua superfície, pois ela perde água por todos os lados, passando, portanto, por um estresse hídrico até uma nova irrigação. Ou seja, embora a espuma tenha boas características físicas para retenção de água, o ambiente não se mostra o mais adaptado para o uso desse substrato, sugerindo a necessidade de alterações para otimizar o uso da espuma (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003; SILVA *et al.*, 2012).

Esses resultados, corroboram com Zonta *et al.* (2009), que ao trabalharem com diferentes turnos de rega no desenvolvimento inicial de *Coffea canephora* observaram maior sensibilidade das plantas quanto à área foliar, com turnos de rega acima de 7 dias. Sugerindo, portanto, o menor crescimento das folhas sob déficit hídrico.

De acordo com Benincasa (2003), RAF é a razão entre a área foliar / matéria seca total, trata-se de uma componente morfofisiológica que representa a área útil para a fotossíntese. É a área foliar necessária para acumular 1g de matéria seca. Segundo o mesmo autor, com o crescimento da planta, aumenta-se o auto sombreamento das folhas, levando a uma redução na RAF.

Assim, é possível explicar o motivo de o tratamento com Vermiculita + Hidroponia ter obtido o menor valor de RAF, pois, foi onde ocorreu o maior crescimento. A diminuição da RAF indica que com o crescimento progressivo da planta, a quantidade de fotoassimilados destinados as folhas é reduzido em função do desenvolvimento de outras estruturas (MARQUES *et al.*, 2016).

Ao trabalhar com a propagação de hortelã por mini-estacas em diferentes sistemas, Casais *et al.* (2020) observaram os menores valores de RAF também em sistema de hidroponia. O que reforça os resultados do presente trabalho, de que o sistema hidropônico proporciona maior crescimento das mudas.

Na casa de vegetação climatizada a AFE foi inferior com o uso da espuma fenólica. Esse parâmetro é dado pela relação entre área foliar total / matéria seca de folhas, e representa a alocação de biomassa pela unidade de área (SCALON; FRANCO, 2007). Da Matta (1991) em seu trabalho avaliando alguns aspectos da restrição hídrica em plantas de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, observou menores valores de AFE sob essa condição. No entanto, essa redução não estava relacionada com o menor crescimento em resposta à seca, pois no momento da avaliação as folhas já estavam completamente expandidas, em função da plasticidade fenotípica que o cafeeiro apresenta, não sabendo ao certo o motivo dessa redução. A restrição hídrica ocorreu de forma moderada na casa de vegetação ao usar a espuma fenólica, vista pelo secamento do substrato, que pode também não estar relacionada ao menor crescimento nesse substrato.

Menores valores de AFE podem estar relacionados a um maior investimento das plantas em componentes estruturais (WRIGHT *et al.*, 2004). Dessa forma, os menores valores encontrados nas mudas de tubetes com vermiculita em sistema de hidroponia modificada, e naquelas de espuma fenólica na casa de vegetação climatizada, podem ser explicados, uma vez que as mudas formadas sob essas condições apresentaram maior crescimento em altura.

A partir da razão entre a matéria seca de folhas / área foliar total obtém-se a massa foliar específica, que está relacionada com espessura das folhas (MERCÊS *et al.*, 2013). De acordo com Dutra; Massad e Santana (2012), maior massa foliar específica é importante, pois indica uma maior espessura da folha e, conseqüentemente, menor perda de água. O substrato vermiculita proporcionou maior massa foliar específica no sistema hidropônico modificado (aumento de 95,62%), e no sistema convencional não houve diferenças significativas entre os substratos. O que indica que a os tubetes com vermiculita em condições hidropônicas possuem maior capacidade para equilibrar o potencial hídrico das folhas.

4.1.5 Avaliações fisiológicas e de estômatos

O teor de clorofila foi afetado pelo substrato e pelo sistema de cultivo. Nas mudas formadas em tubetes contendo vermiculita não houve diferenças significativas nesses teores entre os sistemas utilizados. Porém, no sistema de casa de vegetação climatizada os substratos diferiram significativamente, havendo uma redução nos teores das clorofilas *a* (17,85%), *b* (30,30%) e total (21,30%) com o uso da espuma fenólica em relação à vermiculita. E, como visto nas demais avaliações, as mudas estaqueadas em espuma fenólica sob condições hidropônicas não sobreviveram (TABELA 6).

Tabela 6 - Clorofila *a*, *b* e total de mudas clonais de cafeeiro, cultivadas em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo hidropônico modificado e convencional.

	Clorofila <i>a</i>	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	427,778 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	400,842 Aa	329,278 Ab
	Clorofila <i>b</i>	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	166,556 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	153,368 Aa	106,889 Ab
	Clorofila total	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	594,333 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	554,211 Aa	436,167 Ab

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

A clorofila *a* é o principal pigmento responsável pela fotossíntese e que confere a coloração verde às plantas. E a clorofila *b* é o pigmento acessório, e possui a capacidade de ampliar a faixa luminosa de absorção das plantas. Por esse motivo é de extrema importância seu conteúdo, por garantir o sucesso do processo fotossintético (CASAIS *et al.*, 2020).

O conteúdo de clorofila nas plantas é afetado de forma negativa por fatores como déficit hídrico, que causa desintegração da membrana, e também por altas temperaturas (CAI *et al.*, 2005; PETRIM; ALMEIDA, 2020). Dessa forma, é possível explicar o desempenho inferior da espuma fenólica na casa de vegetação climatizada, que apresentou uma maior restrição hídrica possivelmente devido ao secamento da superfície dos blocos de espuma fenólica, quando comparada com a umidade dos tubetes contendo vermiculita, associado as altas temperaturas (27,2 °C) do ambiente.

Peloso *et al.* (2017), constataram que em mudas de cafeeiro submetidas à estresse hídrico o teor de clorofilas foi reduzido com o processo de degradação das moléculas de clorofila, causando consideráveis limitações fotossintéticas.

A condutância e a densidade estomática também foram influenciadas pelos fatores estudados. As mudas estaqueadas em tubetes com vermiculita em sistema de hidroponia modificada tiveram resultados superiores tanto para condutância quanto para densidade estomática (aumento de 302,93% e 12,35%, respectivamente). Já no sistema de casa de vegetação climatizada, a condutância estomática foi semelhante em ambos os substratos (51,77 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na vermiculita e 43,98 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na espuma fenólica), enquanto a densidade estomática nesse sistema foi 7,82% superior nos tubetes com vermiculita do que na espuma fenólica (TABELA 7).

Observa-se que a funcionalidade e abertura estomática não se diferiram significativamente entre os tratamentos. E novamente pode-se observar que as mudas estaqueadas em espuma fenólica em sistema de hidroponia modificada não sobreviveram (TABELA 7).

Tabela 7 - Condutância estomática, densidade e funcionalidade de estômatos e abertura estomática de mudas clonais de cafeeiro, cultivadas em espuma fenólica e vermiculita, sob sistema de cultivo hidropônico modificado e convencional.

	Condutância estomática ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	208,60 Aa	0,00 Bb
Sistema Convencional	51,77 Ba	43,98 Aa
	DEN (estômatos/mm²)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	180,219 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	160,404 Ba	148,767 Ab
	FUN	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	1,804 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	1,836 Aa	1,802 Aa
	Abertura estomática (μm)	
	Vermiculita	Espuma
Hidroponia Modificada	2,576 Aa	0,000 Bb
Sistema Convencional	3,043 Aa	3,127 Aa

* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Os estômatos são as principais estruturas na regulação das trocas gasosas nos vegetais. Sendo assim, o aumento da condutância estomática possibilita maior entrada de CO₂, proporcionando maiores taxas de assimilação desse gás, que é primordial para o processo fotossintético. Existem diversos fatores capazes de reduzir a condutância estomática, como: temperatura, déficit hídrico, radiação solar, sistema radicular reduzido, dentre outros. Sabe-se também, que os estômatos são altamente responsivos às mudanças de umidade do ar e / ou do solo (BRAKKE; ALLEN JR, 1995; JUNIOR, 2012). Tais fatos explicam os resultados inferiores de condutância estomática nas mudas estaqueadas em tubetes com vermiculita em sistema de casa de vegetação climatizada em relação à hidroponia modificada, uma vez que nesse ambiente ocorre uma variação da umidade do ar e do solo entre as irrigações, associadas às altas temperaturas (média de 27,2 °C).

Na casa de vegetação climatizada, embora a espuma fenólica possivelmente tenha passado por uma maior restrição hídrica em relação aos tubetes com vermiculita, fato observado pelo secamento do substrato, não foi o suficiente para reduzir os valores de condutância estomática. Indicando que o uso da espuma fenólica como substrato alternativo não deve ser descartado.

Assim, a possível restrição hídrica observada nas mudas produzidas em espuma fenólica não foi capaz de reduzir a condutância estomática. Peloso *et al.* (2017) ao estudarem as limitações fotossintéticas de mudas de cafeeiro submetidas a estresse hídrico acentuado, observaram redução na condutância estomática, diferente do presente trabalho, em que a restrição hídrica não foi acentuada.

No entanto, a resposta de densidade estomática ocorre de maneira diferente a da condutância, provavelmente essa característica é mais sensível à deficiência hídrica, uma vez que mesmo que a restrição hídrica não tenha sido acentuada, a densidade estomática das mudas formadas em espuma fenólica no sistema de casa de vegetação climatizada foi reduzida, quando comparadas com aquelas formadas em vermiculita.

Em ambientes com essa característica de menor disponibilidade de água como forma de adaptação, ocorre uma redução no tamanho dos estômatos para que ocorra uma menor perda de água por transpiração e, simultaneamente, acontece o aumento na densidade, para equilibrar as trocas gasosas com o meio. Portanto, quanto maior a área estomática útil, melhores as condições para o processo de fotossíntese (BATISTA *et al.*, 2010; GRISI *et al.*, 2008). Esses mesmos autores ao estudarem a anatomia foliar de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico, constataram a redução da densidade estomática nessas condições.

A maior densidade estomática pode também ser relacionada ao aumento da área foliar e, conseqüentemente, ao aumento na captação de CO₂ pelas plantas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Tal fato explica o motivo das mudas estaqueadas em tubetes com vermiculita terem apresentado maiores valores em sistema hidropônico modificado, que foi onde tiveram também maior área foliar.

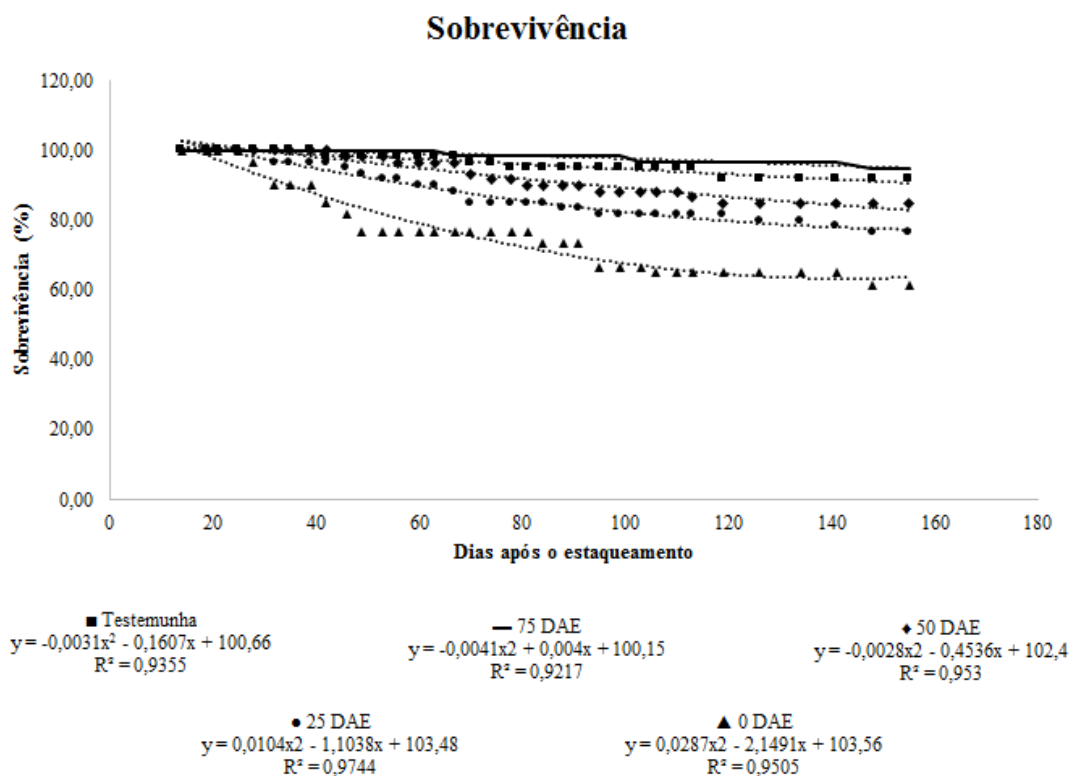
A funcionalidade dos estômatos é dada pela relação entre os diâmetros polar e equatorial, e é um indicativo do formato dos estômatos. Quanto maior a relação, mais elipsoide e maior a funcionalidade, do contrário, quanto menor, menos elipsoide, e menor a funcionalidade (BATISTA *et al.*, 2010; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; KHAN *et al.*, 2002; SOUZA *et al.*, 2010). Normalmente, as folhas com estômatos menores são mais eficientes no uso da água e o tamanho da abertura estomática apresenta maior efeito sobre a difusão de água do que de CO₂ (ABRAMS; KUBISKE; MOSTOLLER, 1994). No entanto, para essas características, no presente trabalho não foram constatadas diferenças significativas entre os tratamentos, portanto, os sistemas de cultivo e os substratos não afetaram no formato dos estômatos nem no tamanho da sua abertura nas mudas de cafeeiro.

4.2 Experimento 2: produção de mudas de cafeeiro por estacas, iniciadas no sistema convencional e transferidas para o sistema hidropônico modificado em diferentes tempos de enraizamento.

Após a instalação do experimento foram realizadas avaliações semanais das seguintes características: sobrevivência, queda das folhas remanescentes e número de brotos.

A sobrevivência das mudas iniciadas em sistema convencional e transferidas para o sistema de hidroponia modificada em todos os tratamentos apresentou uma queda progressiva durante a condução do experimento. As mudas de 0 DAE (zero dias após o estaqueamento – tratamento controle com mudas conduzidas em sistema hidropônico imediatamente após o estaqueamento em tubetes com vermiculita) tiveram uma queda mais acentuada, principalmente a partir de trinta e cinco dias após o estaqueamento. Nas mudas transferidas aos 25 DAE a queda na sobrevivência foi um pouco maior que os demais tratamentos, os quais tiveram resultados semelhantes (FIGURA 11).

Figura 11 - Sobrevivência das mudas clonais de cafeeiro iniciadas em sistema convencional e transferidas para o sistema de cultivo hidropônico modificado.



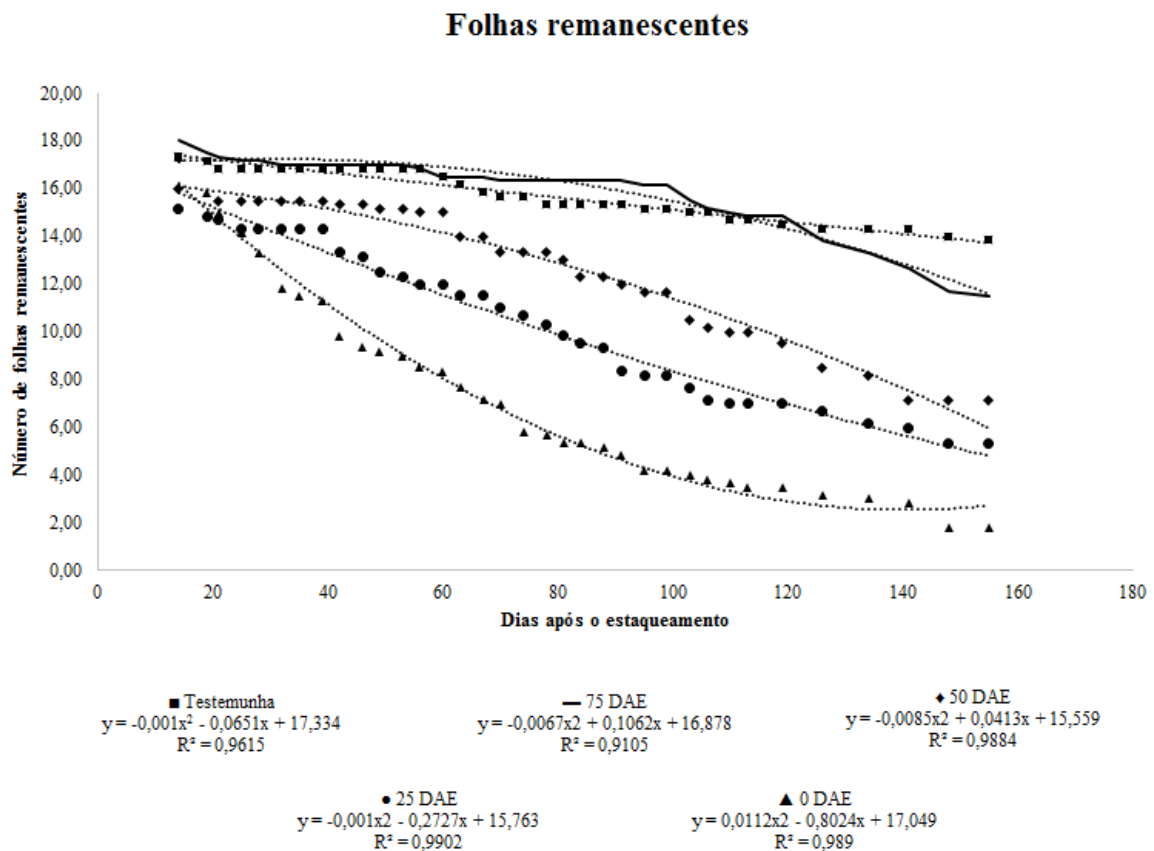
Fonte: Do autor (2021).

No tratamento 0 DAE as mudas foram estaqueadas diretamente no sistema hidropônico passando, portanto, todo o período de condução do experimento sob essas condições. As

condições de umidade e temperatura nesse ambiente (FIGURA 1) parece não terem sido favoráveis à sobrevivência das estacas, ou ainda a exposição direta à solução nutritiva antes do início do enraizamento poderia ter prejudicado a sobrevivência das mudas, o que explicaria os resultados obtidos.

As folhas remanescentes nas mudas dos diferentes tratamentos também tiveram queda progressiva durante a condução do experimento. Nas mudas do tratamento 0 DAE a partir de vinte e oito dias após o estaqueamento ocorreu uma queda significativa das folhas remanescentes, que foi acentuada até o final do experimento chegando a próximo de zero. Nas mudas dos tratamentos 25 e 50 dias após o estaqueamento, a queda do número de folhas remanescentes foi maior do que aos 75 dias e no tratamento testemunha, em que as mudas mantidas em casa de vegetação climatizada convencional até o final das avaliações (FIGURA 12).

Figura 12 - Folhas remanescentes das mudas clonais cafeeiro iniciadas em sistema convencional e transferidas para o sistema de cultivo hidropônico modificado.

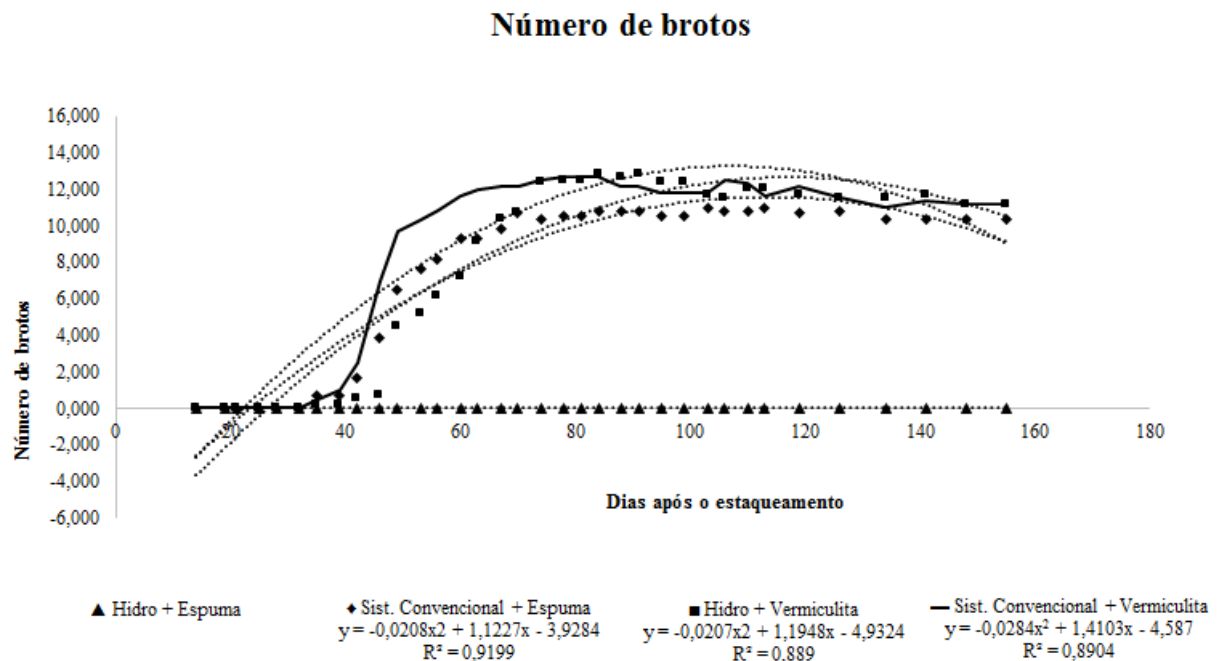


Fonte: Do autor (2021).

As condições ambientais encontradas no sistema de hidroponia modificada (FIGURA 1) também parecem não ter sido favoráveis à permanência das folhas remanescentes, ou mesmo a exposição precoce das mudas à solução nutritiva, o que explicaria o motivo da queda dessas folhas terem sido maior nos tratamentos em que se antecipou a exposição às condições do novo ambiente e à solução nutritiva.

Com relação ao número de brotações, observou-se um aumento significativo em todos os tratamentos a partir de trinta e cinco dias após o estaqueamento, porém, os valores dessa característica avaliada durante o restante do experimento foram inconsistentes (FIGURA 13), possivelmente por causa da exposição das mudas às condições do novo ambiente e à solução nutritiva provocando a morte dos brotos novos.

Figura 13 - Número de brotos das mudas clonais cafeeiro iniciadas em sistema convencional e transferidas para o sistema de cultivo hidropônico modificado.



Fonte: Do autor (2021).

Observou-se que, no ambiente da casa de vegetação, como a irrigação era realizada de maneira periódica, na superfície superior do substrato ocorria um secamento, mesmo que de forma moderada.

4.2.1 Sobrevivência e crescimento das mudas

O desenvolvimento das mudas clonais de *Coffea arabica* foi significativamente afetado pelo tempo de transferência após o estaqueamento, do sistema de casa de vegetação climatizada, para o sistema de hidroponia modificada.

Observou-se que a sobrevivência das mudas e, conseqüentemente, o número de folhas remanescentes, foi maior nos tratamentos que passaram um período maior de tempo no ambiente da casa de vegetação climatizada, antes da transferência para o ambiente de hidroponia modificada (Testemunha, 75 DAE e 50 DAE). A sobrevivência das plantas desses três tratamentos foi de 83,33%, 91,66% e 95,00%, enquanto nas mudas (0 DAE) mantidas no sistema hidropônico imediatamente após o estaqueamento tiveram apenas 58,33% (TABELA 8). Já o número de folhas remanescentes foi maior dos tratamentos testemunha (mudas mantidas em casa de vegetação climatizada convencional até o final das avaliações) e nas do tratamento 75 DAE, sendo superiores às do tratamento 50 DAE que também ficaram no grupo de maior sobrevivência.

Tabela 8 - Sobrevivência, altura total (AT), número de folhas (NF), folhas remanescentes (FR), número de brotos (NB) e altura dos brotos (AB) em mudas clonais de cafeeiro iniciadas em sistema de cultivo convencional e transferidas para o sistema de hidroponia modificada.

Tratamentos	Sobrevivência (%)	AT (cm)	NF	FR	NB	AB (cm)
Testemunha	91,666 a	5,570 b	4,814 c	1,625 a	1,815 a	2,520 b
75 DAE	95,000 a	7,098 b	5,662 c	1,612 a	1,656 a	3,665 b
50 DAE	83,333 a	6,366 b	7,174 b	1,190 b	1,775 a	3,096 b
25 DAE	75,000 b	6,952 b	7,480 b	1,243 b	1,736 a	3,665 b
0 DAE	58,333 c	10,970 a	9,390 a	0,583 c	1,688 a	5,924 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2020).

Altas porcentagens de sobrevivência (91,67%) também foram observadas por Pereira *et al.* (2002) no enraizamento de estacas de cafeeiro em estufim, que é um ambiente constituído por uma armação de madeira com uma cobertura plástica em viveiro com irrigação por microaspersão, sendo semelhante ao da casa de vegetação climatizada.

Porém, mesmo apresentando maior mortalidade das mudas, em 0 DAE foi constatado maior desenvolvimento das plantas em altura total (10,970 cm), número de folhas (9,390) e

altura dos brotos (5,924 cm). Assim, a transferência imediata das estacas (antes do enraizamento) para o ambiente de hidroponia modificada, não parece ser indicado da forma como foi proposto devido a alta mortalidade, mas adaptações futuras podem aumentar a sobrevivência das plantas desse tratamento aproveitando o maior crescimento observado nas plantas que sobreviveram.

Quanto ao número de brotações, a transferência do sistema convencional para o sistema de hidroponia modificada não alterou essa característica de forma significativa.

A umidade relativa do ar no ambiente de formação de mudas é importante para a sobrevivência, atuando na manutenção do status hídrico, uma vez que a estaca não possui raízes para absorção de água e nutrientes (LOACH, 1987b; SIMÃO, 1971; WILSON, 1994). Isso explica os resultados de sobrevivência no presente trabalho, pois na casa de vegetação climatizada, onde as mudas que apresentaram melhores resultados foram mantidas por mais tempo, observou-se umidade relativa média do ar de 84,9% durante o período de condução do experimento, enquanto no ambiente de hidroponia modificado, a umidade observada foi de apenas 41,5%.

A menor sobrevivência das mudas estaqueadas diretamente no sistema hidropônico modificado (0 DAE), pode também estar relacionada à salinidade da solução nutritiva, que faz com que a pressão osmótica aumente, e, com isso, mesmo a solução tendo água disponível pode se tornar um ambiente de difícil enraizamento das estacas (TAIZ; ZAIGER, 2002).

Os maiores valores observados de altura total das plantas, número de folhas e altura dos brotos em 0 DAE, ocorrem, pois de acordo com Dominghetti *et al.* (2016), as mudas produzidas por estaquia apresentam maior crescimento quanto mais água disponível o ambiente apresenta, como é o caso do sistema de hidroponia modificada, e, nesse caso, as mudas desse tratamento (0 DAE) passaram mais tempo nesse sistema com fornecimento contínuo de solução nutritiva. Resultados semelhantes foram encontrados por Souza *et al.* (2013) na formação de mudas de tangerina Ponkan nas mesmas condições. O crescimento dessas foi acelerado em comparação à casa de vegetação, e foi atribuído à maior disponibilidade de água e nutrientes.

O número de folhas remanescentes, é uma característica importante de ser avaliada pois, são uma forma de manter uma superfície transpiratória no material vegetal, e, com isso, manter uma taxa fotossintética para garantir a produção de carboidratos e hormônios que vão ser necessários para o enraizamento, uma vez que essas estacas não possuem raízes formadas para absorção de água e nutrientes. No entanto, são afetadas por altas temperaturas, pois dessa forma, são mais propensas a perdas de água por transpiração, por isso, se faz necessário o uso da irrigação por nebulização (FACHINELLO, 2005; GUIMARÃES *et al.*, 2019). Tais fatos

explicam o motivo das folhas remanescentes serem mais persistentes na testemunha e aos 75 DAE, pois, nesses tratamentos, passaram mais tempo sob a irrigação por nebulização, e menos persistentes em 0 DAE que não esteve em ambiente com esse tipo de irrigação. Assim, uma adaptação no sistema proposto de hidroponia modificada com nebulização no ambiente até o enraizamento das estacas, pode ser uma solução interessante.

Os resultados de altura total, número de folhas e altura dos brotos são contrastantes ao de folhas remanescentes. Isso mostra que embora as mudas levadas ao sistema hidropônico imediatamente após o estaqueamento tenham apresentado menor número de folhas remanescentes e, conseqüentemente, menor a produção de carboidratos, a maior disponibilidade de água e nutrientes durante todo o tempo de produção, possivelmente fez com que as plantas tivessem um bom crescimento vegetativo (FACHINELLO, 2005; SOUZA *et al.*, 2013).

Com esses resultados percebe-se que, na maneira como foi proposto nesse experimento, o enraizamento das mudas em sistema de casa de vegetação, para depois transferi-las para o sistema hidropônico modificado, é mais indicado, a não ser que se faça adaptações de forma a alcançar maior crescimento das mudas durante o processo de produção como observado nesse experimento com mudas de maior altura total, número de folhas e altura dos brotos.

Não foram observadas diferenças significativas quanto às brotações das mudas formadas, (número de brotos), pois as estacas de todos os tratamentos tiveram as bases imersas em AIB (ácido indolbutírico), sendo que as brotações estão relacionadas ao regulador de crescimento auxina, capaz de estimular e equilibrar o enraizamento e parte aérea (DE AZEVEDO *et al.*, 2019).

4.2.2 Análise de raízes pelo software SAFIRA

A partir das imagens obtidas das raízes pelo *software* SAFIRA, os valores de área superficial das raízes (ASR), volume de raízes (VR) e diâmetro médio das raízes (DR), foram obtidos paralelamente o comprimento da maior raiz (CR). Notou-se que as características do sistema radicular das mudas formadas foram influenciadas pelo tempo após o estaqueamento em que as mudas foram transferidas de sistema de produção (FIGURA 14).

Figura 14 - Aspectos das raízes lavadas de mudas de cafeeiro produzidas por estaquia, transferidas do sistema de cultivo convencional para o sistema hidropônico modificado.



Fonte: Do autor (2021).

A área superficial e o volume de raízes foram superiores nas mudas estaqueadas diretamente em sistema hidropônico modificado em relação aos demais tempos, que apresentaram resultados semelhantes entre si (TABELA 9). A área superficial de raízes das mudas estaqueadas diretamente em sistema hidropônico é até 353,20% a mais que as das mudas produzidas com os demais tratamentos, e quanto ao volume de raízes pode chegar a 215,78%.

Tabela 9 - Área superficial (ASR), volume (VR), comprimento (CR) e diâmetro (DR) das raízes em mudas clonais de cafeeiro iniciadas em sistema de cultivo convencional e transferidas para o sistema de hidroponia modificada.

Tratamentos	ASR (mm²)	VR (mm³)	CR (cm)	DR (mm)
Testemunha	7287,094 b	2404,437 b	11,690 d	0,815 a
75 DAE	4783,262 b	1597,739 b	20,906 c	0,820 a
50 DAE	4438,302 b	1255,276 b	22,427 c	0,638 a
25 DAE	6291,435 b	1997,384 b	25,320 b	0,698 a
0 DAE	20114,645 a	3963,881 a	29,940 a	0,783 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Aos 0 DAE foi observado o maior comprimento de raiz (29,940 cm), seguido de 25 DAE (25,320 cm), logo depois tiveram resultados semelhantes 50 DAE e 75 DAE (22,247 e 20,906 cm, respectivamente) e, por fim, com desempenho inferior para essa característica, a testemunha (11,690 cm). Assim, o comprimento das raízes das mudas levadas ao sistema hidropônico imediatamente após o estaqueamento chega a ser até 156,12% superior que o das

mudas do tratamento testemunha (mudas mantidas em casa de vegetação climatizada convencional até o final das avaliações) (TABELA 9).

O diâmetro das raízes não foi afetado pela transferência do sistema de cultivo convencional para o sistema de hidroponia modificada (TABELA 9).

O melhor no desempenho do sistema radicular, quanto a área superficial, volume e comprimento em 0 DAE, possivelmente está relacionado ao fato desse tratamento ter ficado mais tempo no sistema de hidroponia modificado, logo, mais tempo em contato com a solução nutritiva. Esse maior crescimento ocorre possivelmente em função da maior disponibilidade de água e nutrientes que esse sistema proporciona (SOUZA *et al.*, 2013). Segundo Jesus, Carvalho e Soares (2006), o comprimento e área radicular estão intimamente ligados à absorção de nutrientes.

De acordo com suas necessidades e com a disponibilidade de água e nutrientes, as plantas são capazes de desenvolver mecanismos que permitem que o seu sistema radicular aumente ou diminua o volume de substrato explorado (FORD; REUTHER; SMITH, 1957; SMITH, 1965).

No presente trabalho, as mudas formadas em 0 DAE, apresentaram maior desenvolvimento do sistema radicular, que é uma característica desejável na formação de mudas. Segundo Bernardi, Carmello e Carvalho (2000), as mudas com sistemas radiculares mais desenvolvidos, quando transferidas para condições de campo, terão mais chances de sucesso no seu estabelecimento.

A diferença de tempo de contato com a solução nutritiva de 0 DAE para os demais tratamentos foi de no mínimo 25 dias, sendo que nesse período ainda não havia ocorrido o enraizamento das estacas. No entanto, os melhores resultados das características de raízes em 0 DAE ocorrem, possivelmente, pois a formação de calos nas estacas se inicia antes do enraizamento propriamente dito, e o maior tempo de contato com a solução provavelmente acelerou esse processo. Além disso, o uso do hormônio AIB nas estacas avaliadas nesse trabalho se mostra benéfico e capaz de induzir o calejamento nas estacas (JESUS *et al.*, 2013).

Ao trabalhar com a formação de mudas de *Coffea arabica* por estaquia Jesus *et al.* (2013), observaram que aos 45 dias após o estaqueamento, as estacas apresentaram altas porcentagens de calos, no entanto, ainda não apresentavam raízes. Assim, a ideia de que o enraizamento no sistema de hidroponia modificado tenha sido acelerado é reforçada.

O pior desempenho da testemunha quanto ao CR, ocorreu em função da chamada 'poda natural', que acontece quando as raízes atingem o orifício inferior dos tubetes e entram em contato com o oxigênio. Com isso, ocorrem novas brotações de raízes no interior do tubete,

aumentando, portanto, seu volume (DAVIDE; FARIA, 2008). Tais fatos explicam o motivo da testemunha, mesmo apresentando o pior desempenho em relação ao comprimento, não se mostrar diferente em relação ao volume e área de raízes dos tratamentos 75 DAE, 50 DAE e 25 DAE, que não passaram pela ‘poda natural’”.

Não se observou diferenças significativas no diâmetro médio das raízes, sendo que as mudas de todos os tratamentos tiveram valores abaixo de 3mm. De acordo com Rena e Guimarães (2000), em cafeeiros adultos as raízes com diâmetros menores que 3 mm, são classificadas como raízes finas ou absorventes.

As raízes finas são consideradas as mais importantes do sistema radicular, uma vez que estão fortemente relacionadas aos processos de absorção, transporte de substâncias e biossínteses variadas (JESUS; CARVALHO; SOARES, 2006). Os resultados do presente trabalho, corroboram com os resultados desses autores, que ao avaliarem as raízes de mudas de cafeeiro provenientes de estaquia e semeadura, concluíram que 98% do sistema radicular é formado por raízes finas, com diâmetro inferior a 2mm.

Os resultados obtidos no presente experimento, reforçam a ideia de Jesus *et al.* (2013), de que o crescimento da parte aérea depende do crescimento das raízes. Uma vez que em 0 DAE foi observado o melhor desempenho da parte aérea e de raízes. Sendo assim, é possível reforçar a ideia de que não há necessidade de iniciar o enraizamento das estacas de cafeeiro em sistema convencional para posteriormente transferi-las para o sistema hidropônico modificado, desde que esse segundo seja adaptado para o aumento da sobrevivência das mudas.

4.2.3 Matéria seca de folhas, caule, raiz e total

O peso da matéria seca das mudas formadas, teve um comportamento semelhantes quanto às características de crescimento da parte aérea e de raízes. No peso da matéria seca das folhas, caules, raízes e total novamente o tratamento 0 DAE apresentou desempenho superior aos demais. No entanto, no peso da matéria seca de caules o tratamento 75 DAE obteve resultado semelhante a 0 DAE (TABELA 10).

Tabela 10 - Matéria seca de folhas, caule e raiz em mudas clonais de cafeeiro iniciadas em sistema de cultivo convencional e transferidas para o sistema de hidroponia modificada.

Tratamentos	MSF (mg)	MSC (mg)	MSR (mg)	MST (mg)
Testemunha	331,50 c	76,50 b	112,83 b	520,83 c
75 DAE	692,66 b	212,66 a	155,00 b	1060,33 b
50 DAE	384,00 c	110,00 b	080,33 b	574,33 c
25 DAE	437,50 c	81,66 b	120,33 b	639,50 c
0 DAE	1098,75 a	221,00 a	396,25 a	1716,00 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Nota-se que os valores encontrados para MSF, MSC, MSR e MST nas mudas do tratamento que teve as mudas levadas ao sistema hidropônico imediatamente após o estaqueamento foram superiores aos valores encontrados nas mudas do tratamento testemunha (mudas mantidas em casa de vegetação climatizada convencional até o final das avaliações) em 231,45%; 188,89%; 251,19% e 229,47% respectivamente (TABELA 10).

O peso da matéria seca da parte aérea (folhas e caule), relaciona-se com o desenvolvimento das plantas quanto a quantidade e qualidade das folhas e altura das plantas (GONÇALVES; BENEDETTI, 2000). Sendo assim, os melhores resultados de peso da matéria seca da parte aérea nos tratamentos 0 DAE e 75 DAE (no caso de caule), é que exatamente nesses tratamentos também foram observados maiores valores de altura e número de folhas que foram atribuídos a maior disponibilidade de água e nutrientes.

Os resultados de Rezende *et al.* (2017) corroboram com os resultados do presente trabalho, uma vez que esses autores verificaram comportamento semelhante, onde o peso da matéria seca de caules e folhas de mudas de cafeeiro formadas por miniestacas de diferentes partes do ramo ortotrópico em diferentes volumes de tubetes, foram maiores nos tratamentos com maior crescimento de parte aérea.

A MSR seguiu o mesmo comportamento, foi maior em 0 DAE, onde as raízes apresentaram maior crescimento. Reforçando, portanto, a ideia de que a disponibilidade de água e nutrientes é capaz de alterar a arquitetura do sistema radicular, a fim de aumentar a eficiência de absorção das plantas (MA *et al.*, 2001; SILVA; DELATORRE, 2009).

O comportamento da MST, em decorrência dos demais resultados não foi diferente das demais variáveis de matéria seca, sendo 0 DAE superior aos outros tempos de transferência e à testemunha. Com isso é possível observar o maior crescimento das mudas formadas em 0 DAE

e dessa forma não descartar o estaqueamento das mudas diretamente no sistema hidropônico modificado.

4.2.4 Área foliar e características de crescimento

A área foliar e as características de crescimento nas mudas iniciadas em sistema de cultivo convencional e transferidas para o sistema de hidroponia modificada foram afetadas. Observou-se que a área foliar total das mudas do tratamento 75 DAE foi superior, seguida do tratamento 0 DAE (TABELA 11). Em ambos os tratamentos não houve restrição hídrica, embora aos 75 DAE que obteve a maior área foliar total tenha passado um período na casa de vegetação climatizada, ao ser transferido para o sistema hidropônico modificado recebendo fornecimento contínuo de água.

Tabela 11 - Área foliar total (AFT), razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e massa foliar específica (MFE) em mudas clonais de cafeeiro iniciadas em sistema de cultivo convencional e transferidas para o sistema de hidroponia modificada.

Tratamentos	AFT (cm ²)	RAF (cm ² /mg)	AFE (cm ² /mg)	MFE (mg/cm ²)
Testemunha	13697,19 c	27,22 a	42,92 a	0,025 b
75 DAE	26249,42 a	25,33 a	38,92 a	0,026 b
50 DAE	17522,11 c	32,31 a	50,08 a	0,023 b
25 DAE	16111,20 c	25,97 a	37,88 a	0,027 b
0 DAE	21474,66 b	15,08 b	27,91 a	0,045 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Ribeiro *et al.* (2017), ao trabalharem com mudas de *Coffea arabica* em diferentes regimes hídricos, sob doses variadas de paclobutrazol visando reduzir os efeitos do estresse hídrico, constatou que mudas com pleno fornecimento de água tiveram área foliar 23,95% superiores àquelas que passaram por restrição. Os autores afirmaram que plantas conduzidas sem restrição de água possuem maior área foliar.

Embora nenhum tratamento tenha passado por restrição hídrica severa, os resultados superiores em 75 DAE podem se relacionar ao fato de que, quando esse tratamento foi transferido para a hidroponia, com plena disponibilidade hídrica, as estacas já haviam enraizado, portanto, foram mais eficazes na absorção de água e nutrientes. Enquanto os demais tratamentos ao serem transferidos de sistema ainda não estavam completamente enraizados.

Em função da maior área foliar, Taiz e Zeiger (2010) afirmaram que o maior crescimento em altura e maior acúmulo de matéria seca das folhas e total são uma estratégia adaptativa, para conferir às plantas maior eficiência fotossintética, uma vez que possui maior área para absorção de luz. Sendo assim, os resultados são complementares e estão de acordo com essa afirmação, pois em 0 DAE e 75 DAE foram observados os melhores resultados para essas características citadas (altura total, matéria seca das folhas e total) e em decorrência desses resultados apresentaram maior área foliar total.

Algumas características de crescimento também foram influenciadas pela transferência das mudas do sistema convencional para o sistema de hidroponia modificada. As mudas do tratamento 0 DAE tiveram menores valores para razão de área foliar (15,08 cm²/mg), em contrapartida obteve o melhor resultado de massa foliar específica (0,045 mg/cm²). A área foliar específica não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos (TABELA 11).

A razão de área foliar é um parâmetro que mede a dimensão do aparelho assimilador da fotossíntese. Expressa um componente morfofisiológico, e é representada pela relação entre área foliar, que tem a finalidade de captar a energia luminosa e CO₂, e a matéria seca total, que é o resultado da fotossíntese (HENRIQUE *et al.*, 2010; MAGALHÃES, 1979).

Segundo Silva *et al.* (2005) à medida que as plantas crescem, aumenta o autossombreamento, havendo, portanto, uma tendência de diminuição na área foliar útil das plantas, conseqüentemente, redução da razão de área foliar. Possivelmente esse foi o motivo das mudas conduzidas integralmente em sistema de hidroponia modificada (0 DAE) terem apresentado menor valor para essa característica, uma vez que essas mudas apresentaram um aumento de 57,7% da altura total, tendo havido efeito do autossombreamento.

A área foliar específica é representada pela razão entre área foliar e matéria seca das folhas; expressa a alocação da biomassa da folha por unidade de área (SCALON; FRANCO, 2007). Segundo Gobbi *et al.* (2011) a AFE é uma variável que sofre muita influência do sombreamento, geralmente as plantas sombreadas investem uma maior proporção de fotoassimilados para aumentar a área foliar e maximizar a captação de luz. No entanto, a não diferença significativa entre os tratamentos no presente trabalho, sugere que não houve sombreamento no ambiente, e nenhum, ou pouco efeito do autossombreamento nas mudas formadas.

A massa foliar específica ao contrário da área foliar específica é obtida a partir da razão entre o peso da matéria seca das folhas, e a área foliar relaciona-se com a espessura das folhas (MERCÊS *et al.*, 2013). De acordo com Dutra, Massad e Santana (2012), uma massa foliar

específica maior, é desejável, pois indica maior espessura da folha, com isso, há maior redução na perda de água das mudas.

A superioridade das mudas do tratamento 0 DAE em relação aos demais com relação a massa foliar específica ocorreu em função do maior acúmulo de matéria seca das folhas desse tratamento. Isso sugere que ao passar mais tempo em sistema hidropônico, sob constante fornecimento de água, essas mudas apresentaram maior espessura das folhas possibilitando maior equilíbrio hídrico ao reduzir as perdas de água.

Na literatura, não foram encontrados trabalhos que avaliassem os parâmetros de crescimento em mudas feitas por estacas em diferentes sistemas de cultivo.

4.2.5 Avaliações fisiológicas e de estômatos

O teor de clorofila nas folhas, foi pouco influenciado pela transferência entre os sistemas de cultivo das mudas feitas por estacas. Observou-se que as mudas formadas na testemunha, ou seja, que foram conduzidas durante todo período do experimento no sistema de cultivo convencional tiveram menores teores de clorofila *a* e total, enquanto os demais tratamentos não apresentaram diferenças significativas entre si. Já clorofila *b* foi semelhante em todos os tratamentos, inclusive na testemunha (TABELA 12).

Tabela 12 - Clorofila *a*, *b* e total em mudas clonais de cafeeiro iniciadas em sistema de cultivo convencional e transferidas para o sistema de hidroponia modificada.

Tratamentos	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
Testemunha	349,789 b	130,158 a	479,947 b
75 DAE	394,895 a	154,579 a	549,474 a
50 DAE	388,561 a	154,168 a	542,888 a
25 DAE	404,158 a	162,053 a	566,210 a
0 DAE	427,778 a	166,558 a	594,333 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

As clorofilas, são pigmentos responsáveis pela transformação da luz recebida em energia, com isso, exercem um papel de extrema importância para a eficiência fotossintética das plantas. Processo esse que afeta diretamente o crescimento e a adaptação em ambientes adversos. O conteúdo de clorofila é usado para estimar o potencial fotossintético das plantas.

Altas concentrações de clorofila, garantem altas taxas de fotossíntese (NOGUEIRA *et al.*, 2013).

Cai *et al.* (2005), verificaram que, em períodos de seca, o conteúdo de clorofilas em *Coffea arabica* é reduzido, possivelmente pela desintegração da membrana que ocorre em função do estresse oxidativo. E sob regime de restrição hídrica moderada, esse conteúdo não apresenta diferenças. De acordo com Petrim e Almeida (2020), outro fator capaz de reduzir a síntese de pigmentos e atividade fotossintética, são temperaturas elevadas

No presente trabalho, os menores conteúdos de clorofila *a* e total na Testemunha podem ser explicados pelas condições do ambiente. A casa de vegetação climatizada onde esse tratamento foi mantido durante toda condução do experimento apresentou menor disponibilidade hídrica que o ambiente de hidroponia modificada, uma vez que o suprimento de água acontece por meio de irrigações periódicas, e não de maneira contínua como no sistema hidropônico. Embora na casa de vegetação com irrigação por nebulização a umidade do ar seja elevada, possivelmente ocorreu o secamento da superfície do substrato; que não acontece no outro sistema. Essa menor disponibilidade hídrica aliada à temperatura média de 27,2 °C verificada na casa de vegetação climatizada, explicam os menores conteúdo de clorofila na Testemunha.

Embora os resultados de clorofila em 0 DAE e 75 DAE, não tenham se diferenciado significativamente dos demais tratamentos, os mesmos apresentaram maior área foliar, indicando, portanto, que a área foliar foi uma estratégia adaptativa das plantas para maior captação de energia luminosa, e melhor desempenho no processo fotossintético.

Os menores valores de clorofila na testemunha possivelmente estão relacionados aos menores valores de condutância estomática que foram verificados nesse tratamento, os demais assim como os teores de clorofila não se diferiram significativamente entre si (TABELA 13).

Tabela 13 - Condutância estomática (CE), densidade (DEN) e funcionalidade (FUN) de estômatos e abertura estomática (AE) em mudas clonais de cafeeiro iniciadas em sistema de cultivo convencional e transferidas para o sistema de hidroponia modificada.

Tratamentos	CE ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	DEN (mm^2)	FUN	AE (μm)
Testemunha	82,023 b	160,404 c	2,236 a	3,144 a
75 DAE	176,200 a	197,831 a	1,867 b	3,289 a
50 DAE	161,381 a	184,936 b	1,853 b	3,289 a
25 DAE	200,650 a	197,832 a	1,809 b	3,520 a
0 DAE	185,391 a	180,219 b	1,804 b	2,576 a

* Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Do autor (2021).

Sob condições de restrição hídrica, as taxas fotossintéticas são reduzidas, pois há menor influxo de CO₂ para a câmara subesomática. Possivelmente, isso ocorre em função da menor condutância estomática, que evita a perda de água por transpiração. Nessas condições o controle estomático tem sido considerado o fator mais limitante para a fotossíntese (CORNIC, 2000).

O fechamento dos estômatos causam a redução na condutância estomática, e é a primeira estratégia da planta para impedir que haja a desidratação das folhas, mantendo, portanto, o *status* hídrico, que reflete na sua sobrevivência mesmo após passar por períodos de falta d'água e altas temperaturas (CORNIC, 1994; DAMATTA; RENA, 2001; PEAK *et al.*, 2004).

Tais fatos contribuem com o presente trabalho, pois na testemunha, possivelmente ocorreu maior restrição hídrica do que no sistema hidropônico, aliados a altas temperaturas, nesse tratamento foram vistos menores valores de condutância estomática e, conseqüentemente, menores teores de clorofila, que afetou negativamente o processo fotossintético.

Ao trabalhar com o crescimento de plantas jovens de cafeeiro sob diferentes regimes hídricos, Andrade (2011) observou que as plantas cultivadas sem restrição no fornecimento de água tiveram um aumento de 22,2% na condutância estomática.

Embora a possível restrição hídrica na testemunha não seja tão acentuada, observou-se o secamento na superfície do substrato, por causa na irrigação intermitente. De acordo com Brakke e Allen Jr. (1995), os estômatos podem responder de forma rápida à variação da umidade do ar ou do solo, ou a interação de ambos. Assim, os menores valores de condutância estomática na testemunha são explicados.

Geralmente, a queda na condutância estomática acontece paralelamente à queda na redução do potencial hídrico das folhas. No entanto, estudos têm observado a redução da condutância antes mesmo do decréscimo do potencial de água nas folhas, sugerindo que o durante o secamento do solo, as raízes podem emitir um sinal químico que atua diretamente no funcionamento dos estômatos (DAVIES; MANSFIELD; HETHERINGTON, 1990; SYLVESTER, 1982).

A densidade estomática das plantas dos tratamentos 75 DAE e 25 DAE foi maior em 23,33% em relação a testemunha, que apresentou o pior desempenho para essa característica (TABELA 13). Segundo Boardman (1977), o aumento da densidade estomática está relacionado ao aumento da condutância estomática, corroborando, portanto, com o presente trabalho, pois nos tratamentos com maiores densidades de estômatos, foram obtidos altos valores de condutância estomática.

A maior densidade dos estômatos é favorável à entrada de CO₂ nas folhas, e por se tratar de um gás essencial no processo fotossintético, o aumento na captação desse gás favorece a

fotossíntese, o que indica que as características fisiológicas da planta foram favorecidas, verificando a adaptação das plantas ao ambiente que estão submetidas (BALIZA *et al.*, 2012).

A funcionalidade dos estômatos, ao contrário do que foi visto na condutância estomática, foi superior nas mudas formadas exclusivamente no sistema convencional (testemunha), houve um aumento de cerca de 19,7% em relação aos demais tratamentos (TABELA 13).

A funcionalidade estomática é dada pela relação entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial dos estômatos. De acordo com Castro, Pereira e Paiva (2009) essa relação indica o formato dos estômatos, quanto maior essa relação, mais elipsoide é o estômato e mais funcional, e quanto menor a relação, menos elipsoide e menor a funcionalidade. Os mesmos autores relataram que sob restrição hídrica as plantas são capazes de alterar o tamanho do estômato para auxiliar na tolerância desta condição; a diminuição do estômato reduz a perda de água para o ambiente por transpiração. Dessa forma, os resultados do presente trabalho podem ser explicados, uma vez que o suprimento de água na testemunha foi mais limitado em relação aos demais tratamentos, o que possivelmente levou as plantas a alterarem o tamanho de seus estômatos, tornando-os mais funcionais para suportar as condições em que se encontravam.

Com relação a abertura estomática, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (TABELA 13). No entanto, sabe-se que folhas com estômatos de tamanho inferior são mais eficientes no uso da água, a diferença no tamanho da abertura estomática apresenta mais efeito sob a difusão de água do que sob a difusão de CO₂ (ABRAMS; KUBISKE; MOSTOLLER, 1994; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O sistema de hidroponia modificada e a utilização da espuma fenólica são opções tecnológicas com grande potencial na produção de mudas de cafeeiro por estaquia, pois proporcionam bom pegamento das mudas, com características de crescimento e fisiológicas semelhantes às aquelas formadas em sistema convencional. No entanto, a espuma fenólica deve ser descartada como opção ao se usar o sistema hidropônico modificado, uma vez que leva à mortalidade das mudas.

Importante diferencial do sistema hidropônico modificado é a possibilidade de as mudas apresentarem ‘padrão para transplante’ em campo, em um menor tempo, quando comparado ao sistema convencional.

6 CONCLUSÕES

- I. O sistema inovador de hidroponia modificada para a produção de mudas de *Coffea arabica* L. cultivar do grupo Mundo Novo IAC 379- 19 por estaquia, em tubetes de polietileno rígido com vermiculita, promove maior crescimento em relação ao sistema convencional em casas de vegetação climatizadas, sendo possível a antecipação em 52 dias para o transplântio em campo aproveitando o período chuvoso.
- II. As estacas dos ramos ortotrópicos devem ser colocadas a enraizar diretamente no sistema hidropônico modificado.
- III. No sistema de hidroponia modificada não se deve utilizar o substrato espuma fenólica.
- IV. Na produção de mudas por meio de estacas em sistema convencional de casa de vegetação climatizada, pode-se utilizar alternativamente o substrato espuma fenólica.

REFERÊNCIAS

- ABRAMS, M.D.; KUBISKE, M.E.; MOSTOLLER, S.A. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species. **Ecology**, Washington, v. 75, n. 1, p. 123-133, jan. 1994.
- ALVES, J.D.; GUIMARÃES, R.J. Sintomas de desordens fisiológicas em cafeeiro. *In*: GUIMARÃES, R.J.; MENDES, A.N.G.; BALIZA, D.P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p.169-215.
- ANDRADE, M.A.F. **Relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sob diferentes regimes hídricos e doses de N e K**. 2011. 58 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, BA, 2011.
- ANDRE, M. Observations sur l'orthotropisme et le plagiotropisme des rameaux chez *Coffea arabica* L. **Café Cacao Thé**, v. 17, p. 125-128, 1973.
- BALIZA, D.P. **Antecipação da produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com a utilização de diferentes tipos de mudas**. 2009. 62 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009.
- BALIZA, D.P. *et al.* Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set./dez. 2012.
- BALIZA, D.P. *et al.* Antecipação da produção e desenvolvimento da lavoura cafeeira implantada com diferentes tipos de mudas. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 61-68, jan./mar. 2013.
- BARBIERI JÚNIOR, E. *et al.* Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tofton 85. **Ciência Rural**, v. 42, p. 2242-2245, 2012.
- BATISTA, L.A. *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul./set. 2010.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de Crescimento de Plantas: Noções Básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BERGO, C.L.; MENDES, A.N.G. Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por meio de enraizamento de estacas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 392-398, mar./abr. 2000.
- BERNARDI, A.C.C.; CARMELLO, Q.A.C.; CARVALHO, S.A. de. Desenvolvimento de mudas de citros cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 733-738, out./dez. 2000.
- BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 28, p.3 55-377, 1977.

BRAKKE, M.; ALLEN JR., L.H. Gas Exchange of Citrus Seedlings at Different Temperatures, Vapor-pressure Deficits, and Soil Water Contents. **Journal of the american society horticultural science**, v. 120, n. 3, p. 497-504, 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normais climatológicas (1960-1990)**. Brasília, 1992. 84 p.

BRAUN, H. *et al.* Produção de Mudanças de café Conilon propagadas vegetativamente em diferentes níveis de sombreamento. **Idesia (Arica)**, v. 25, n. 3, p. 85-91, 2007.

CABEZAS, W.P.V. **Desenvolvimento e qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em função da adubação fosfatada em substratos**. 2012. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Unesp, Botucatu, SP, 2012.

CAI, Z.Q. *et al.* Responses of two field-grown coffee species to drought and rehydration. **Photosynthetica**, v. 43, n. 2, p. 187- 193, 2005.

CAMARGO, A.P. Florescimento e frutificação de café Arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 7, p. 831-839, jul. 1985.

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

CAMPINHOS JR., E. Producing vegetative propagules in the nursey. *In*: IUFRO JOINT MEETING OF WORKING PARTIES ON GENETICS ABOUT BREEDING STRATEGIES INCLUDING MULTICLONAL VARIETIES, 1982, Escherode, Germany. **Proceedings...** (S.l.): IUFRO, 1982. p. 2-9.

CARMO, D.L. do *et al.* Crescimento de mudas de cafeeiro recém-plantadas: efeito de fontes e doses de fósforo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 196-206, abr./jun. 2014.

CARVALHO, A.; MÔNACO, L.C.; FAZUOLI, L.C. Melhoramento do cafeeiro: XL. Estudos de progênies e híbridos de café Catuaí. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 22, p. 202-16, 1979.

CARVALHO, A.M. de *et al.* Recuperação de mudas de cafeeiro em tubetes através de podas. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 79-86, jan./jun. 2007.

CARVALHO, G. de; FROLLINI, E. Lignina em espumas fenólicas. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, São Carlos, v. 9, n. 1, p. 66-75, 1999.

CARVALHO, M. *et al.* Comportamento em condições de campo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente e por semeadura. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 108-114, jul./dez. 2008.

CARVALHO, M.M.; CALDANI, L.A. Influência da altura e época de poda para aproveitamento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), em condições de viveiro. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 25-31, 1984.

- CASAI, L.K.N. *et al.* Índices morfofisiológicos e clorofila de hortelã-pimenta cultivadas sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista Ibero - Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, abr./maio. 2020.
- CASTRO, E.M.; PEREIRA, F.J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e Função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- COELHO, M.F.B. *et al.* Propagação da poaia (*Psychotria ipecacuanha*) em diferentes substratos e posicionamento das estacas. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, jul./set. 2013.
- COELHO, V.P. de M. *et al.* Fertigation and growth regulator on coffee seedling production in tubes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 4, p. 350-357, oct./dec. 2018.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento Safra Brasileira de Café: safra 2020: quarto levantamento**. Brasília: Conab, 2020. 62 p.
- CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture: not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**, v. 5, p. 187-188, 2000.
- CORNIC, G. Drought stress and high light effects on leaf photosynthesis. *In: Photoinhibition of Photosynthesis* (Eds.). BAKER, N.R.; BOWYER, J.R.). Oxford: Bios Scientific Publishers, 1994. p. 297–313.
- COUTO, A.L.; MOREIRA, D.A.; JUNIOR, P.V. de A. Produção de mudas de cultivares de alface utilizando duas espumas fenólicas em Altamira, Pará. **Revista Verde**, Pombal, PB, v. 10, n.1, p. 201 - 207, jan./mar. 2015.
- COVRE, A.M. *et al.* Distribuição do sistema radicular de cafeeiro Conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 11, p. 1006-1016, nov. 2015.
- DAMATTA, F.M. **Alguns aspectos das relações hídrica em cultivares de *Coffea arabica* e *Coffea canephora***. 1991. 52 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.
- DAMATTA, F.M.; RENA, A.B. Tolerância do café à seca. *In: ZAMBOLIN, L* (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 65-100.
- DAVIDE, A.C.; FARIA, J.M.R. Viveiros florestais. *In: DAVIDE, A.C.; SILVA, E.A.A.* **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008. p. 83-124.
- DAVIES, W.J.; MANSFIELD, T.A.; HETHERINGTON, A.M. Sensing of soil water status and the regulation of plant growth and development. **Plant, Cell e Environment**, v. 13, n. 7, p. 709-719, 1990.
- DAVIS, A.P. *et al.* An annotated taxonomic conspectus of the genus *Coffea* (Rubiaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 152, n. 4, p. 465- 512, 2006.

- DE AZEVEDO, H.P.A. *et al.* Enraizamento de estacas de café arábica utilizando bioestimulantes como indutores. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 2019, 10., 2019, Vitória. **Anais [...]**. Vitória, 8 a 11 de outubro de 2019.
- DOMINGHETTI, A.W. *et al.* Tolerância ao déficit hídrico de cafeeiros produzidos por estaquia e embriogênese somática. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 117-126, jan./mar. 2016.
- DUTRA, T.R.; MASSAD, M.D.; SANTANA, R.C. Parâmetros fisiológicos de mudas de copaíba sob diferentes substratos e condições de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1212–1218, 2012.
- EVANS, G.C. **The quantitative analysis of plant growth**. Londres: Blackweel Scientific Publications, 1972, 734 p.
- FACHINELLO, J.C. *et al.* **Propagação de plantas frutíferas de clima temperado**. 2. ed. Pelotas: UFPEL, 1995. 178 p.
- FACHINELLO, J.C. *et al.* **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.
- FAQUIN, V.; CHALFUN, N.N.J. **Hidromudas**: processo de produção de porta-enxerto de mudas frutíferas, florestais e ornamentais enxertadas em hidroponia. Rio de Janeiro: INPI, 2008.
- FERNANDES, A.A. *et al.* Produção de mudas de tomateiro por meio de estacas enraizadas em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 533-537, abr. 2004.
- FERREIRA, D.F. Sisvar: um sistema de análise estatística de computador. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- FORD, H.W.; REUTHER, W.; SMITH, P.F. Effect of nitrogen on root development of Valencia orange trees. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 70, p. 234-244, 1957.
- FRANÇA, A.C. *et al.* Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 4, p. 506-511, 2014.
- FREITAS, T.A.S. *et al.* Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 853-861, nov./dez. 2005.
- GARCIA, A.W.R. *et al.* Formação de cafezal utilizando mudas passadas podadas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS*, 6., 1978, Ribeirão Preto. **Anais [...]**, Ribeirão Preto: USP, 1978.

GARCIA, A.W.R. *et al.* Formação de cafezal utilizando mudas passadas podadas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS*, 10., Poços de Caldas, 1983, **Anais [...]**, Rio de Janeiro, 1983. p. 197.

GOBBI, K.F. *et al.* Área Foliar Específica e Anatomia Foliar Quantitativa do Capim Braquiária e do Amendoim-Forrageiro Submetidos a Sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 7, p. 1436–1444, 2011.

GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 352- 379.

GRISI, F.A. *et al.* Avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘Catuaí’ e ‘Siriema’ submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov./dez. 2008.

GUIMARÃES, P.M. Altura de poda de mudas "passadas" de café em viveiro e seu comportamento no campo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS*, 7, Araxá, 1979. **Resumos[...]**. Araxá, 1979, p. 89-91.

GUIMARÃES, P.T.G. *et al.* Cafeeiro. *In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVARES, V.H. (Ed). Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*, Viçosa: UFV, 1999. p.289-302.

GUIMARÃES, R.J. **Análise do crescimento e da quantificação de nutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), durante seus estádios de desenvolvimento em substrato padrão**. 1994. 125 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG, 1994.

GUIMARÃES, R.J. *et al.* Efeitos da citocinina, giberelina e remoção do endocarpo na germinação de sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, n. 3, p. 390-396, maio/jun. 1998.

GUIMARÃES, R.M. *et al.* Tolerância à dessecação em sementes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 128-139, jan./fev. 2002.

GUIMARÃES, R.N. Vegetative propagation of pequi (souari nut) by cutting. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 49. n. 2, 2019.

HENRIQUE, P.C. *et al.* Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 458-465, maio. 2011.

HORNER, M.C. *et al.* Avaliação do Crescimento de mudas para o cultivo sem solo do tomateiro em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n.2, p. 280, 2003.

JESUS, A.M.S. **Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2003. 173 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

- 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, n. 1, p. 14-20, abr./jun. 2006.
- JESUS, A.M.S. *et al.* Observações anatômicas em plantas de *Coffea arabica* L. obtidas por enraizamento de estacas. **Revista Ceres**, Viçosa, v.57, n. 2, p. 175- 180, mar./abr. 2010.
- JESUS, A.M. *et al.* Aspectos fitotécnicos de estacas caulinares de cafeeiro enraizadas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 4, out./dez. 2013, p. 308-319.
- JORDAN, R.A. *et al.* Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 8, p. 525-529, 2018.
- JORGE, L.A.C.; SILVA, D.J.C.B. **Safira**: manual de utilização. São Carlos: Embrapa, 2010.
- JUNIOR, O.F. *et al.* Uso de substratos alternativos no sistema hidropônico e a influência na produção de mudas de *Lactuca sativa* L. **Brazilian journal of development**, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 77728-77743, oct. 2020.
- JUNIOR, S. de A. **Comportamento morfofisiológico de mudas de café Conilon propagadas por estaquia e enxertia**. 2012. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2012.
- KHAN, P.S.S.V. *et al.* Growth and net photosynthetic rates of *Eucalyptus tereticornis* Smith under photomixotrophic and various photoautotrophic micropropagation conditions. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 71, n. 2, p. 141-146, 2002.
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; MAURI, A.L. Influência do nível de adubação de plantas matrizes na formação de mudas de cafeeiros em sistema hidropônico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1043-1047, jul./ago. 2007.
- LOACH, K. Controlling environmental conditions to improve adventitious rooting. *In*: DAVIES, T.D.; HAISSING, B.E.; SANKHLA, N. **Adventitious root formation in cuttings**. Portland: Dioscorides Press, 1987b. p. 248-273.
- MA, Z. *et al.* Regulation of root hair density by phosphorus availability in *Arabidopsis thaliana*. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 24, n. 4, p. 459-467, 2001.
- MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. *In*: FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1979. v. 1, p. 331-350.
- MARQUES, G.N. *et al.* Análise do crescimento de genótipos de minimelancia em hidroponia. **Interciência**, v. 41, n. 1, jan. 2016.
- MARTINEZ, H.E.P. Hidroponia. *In*: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, p. 131 – 142, 1999.
- MATIAS, G.C.S. *et al.* Avaliação de substratos comerciais para a produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 159-162, 1999.

MAUCIERI, C. *et al.* Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. **Italian Journal of Agronomy**, v. 13, n. 1/1012, 2018.

MIGUEL, A.E. *et al.* Comportamento do cafeeiro Mundo Novo e Catuaí submetido a diferentes sistemas de plantio, com mudas simples e duplas e com mudas simples e duplas podadas nos viveiros e os efeitos na produção. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS*, 13., 1986, São Lourenço. **Trabalhos apresentados [...]**. Rio de Janeiro, 1986.

MERCÊS, D.D.A. *et al.* Sobrevivência de plântulas, características fotossintéticas e crescimento de *Discocarpus pedicellatus* (*Phyllanthaceae*). **Rodriguésia**, v. 64, n. 1, p. 1–10, 2013.

MORIARTY, M.J. *et al.* Internalization assessment of E. coli O157: H7 in hydroponically grown lettuce. **LWT-Food Science and Technology**, v. 100, p. 183- 188, 2019.

NOGUEIRA, N.O. *et al.* Teor de nitrogênio, clorofila e relação clorofila-carotenoide em café arábica em solo submetido a diferentes corretivos de acidez. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 8, n. 3, p. 390-395, 2013.

OLIVEIRA, A.L. **Utilização de diferentes tipos de mudas visando a antecipação da primeira colheita do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)** 2007. 87 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2007.

PALACIOS-ROMERO, A. *et al.* Espuma fenólica de célula abierta hidratada como medio para mitigar estrés hídrico en plântulas de *Pinus leiophylla*. **Madera y bosques**, Xalapa, v. 23, n. 2, p. 43-52, 2017.

PAULUS, D. *et al.* Substratos na produção hidropônica de mudas de hortelã. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 48-50, jan./mar. 2005.

PEAK, D. *et al.* Evidence for complex, collective dynamics and emergent, distributed computation in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 101, n. 4, p. 918922, 2004.

PEREIRA, A.B. *et al.* Enraizamento de estacas de três cultivares de *Coffea arabica* L. em diferentes substratos. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 2000, Brasília. **Resumos expandidos[...]**. Brasília, Embrapa, 2000.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento da comunidade vegetal**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1987. 33 p. (Boletim técnico, 114).

PEREIRA, T.A. *et al.* Poda de mudas “passadas” de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em diferentes alturas e seus reflexos nos níveis de carboidratos, atividade da redutase do nitrato, morte radicular e restabelecimento da parte aérea. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 4., 2005, Londrina-PR. **Anais[...]**. Londrina: Embrapa, 2005.

- PELOSO, A. de F. *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 389 - 399, jul./set. 2017.
- PETRIM, I.C.; ALMEIDA, G.R.R. Avaliação do teor de clorofila em lavoura cafeeira podada e em produção e em diferentes exposições ao sol. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, v. 2, n. 1, 2020.
- PINTO, F.A.P. **Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em sistema hidropônico**. 2017, 48 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2017.
- PRIETO-RUIZ, J.A. *et al.* Efecto del envase y del riego en vivero en El establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco em dos condiciones de sitio. **Madera y Bosques**, Xalapa, v. 13, n. 1, p. 79-97, 2007.
- RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. *In*: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 13-85.
- RENA, A.B. *et al.* Poda do cafeeiro: aspectos morfológicos ecofisiológicos e agrônômicos. **Informe Agropecuário**, v. 19, p. 61-70, 1998.
- RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Sistema Radicular do Cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EMBRAPA, 2000 (Documentos 37).
- RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos**. Madri: Muni, 1997. p. 509.
- REZENDE, T.T. *et al.* Efeitos de tipos de estacas caulinares e do ambiente sobre o crescimento de mudas de café. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 11, n. 5, p. 387-391, set./out. 2010.
- REZENDE, T.T. *et al.* Propagação vegetativa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) por miniestacas. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 91-99, jan./mar. 2017.
- RIBEIRO, A.F.F. *et al.* Paclobutrazol e restrição hídrica no crescimento e desenvolvimento de plantas de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 534-543, out./dez. 2017.
- SAVVAS, D.; GRUDA, N. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry- A review. **Eur. J. Hortic. Sci**, v. 83, n. 5, p. 280-293, 2018.
- SCALON, M.C.; FRANCO, A.C. Influência dos fatores ambientais na área foliar específica de espécies lenhosas do Cerrado. *In*: DO CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. **Anais[...]**. Caxambu, 2007. p. 1-2.
- SILVA, A.A.; DELATORRE, C.A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciência Agroveterinárias**, Lages, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.
- SILVA, A.C. *et al.* Análise de crescimento de *Brachiaria brizantha* submetida a doses reduzidas de fluazifop-p-butyl. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 85-91, 2005.

SILVA, A.P. da *et al.* Coffee seedlings in different substrates and protected environments. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 589-600, jul./ago. 2013.

SILVA, P. H. M. da *et al.* Produção de mudas clonais de eucalipto em espuma fenólica: crescimento inicial e mortalidade. **CERNE**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 639-649, out./dez. 2012.

SILVA, R.B.G. da *et al.* Qualidade de mudas seminais de eucalipto em função dos substratos e fertilização de liberação controlada. **Interciência**, v. 38, n. 3, mar. 2013.

SILVEIRA, R.L.V.A. *et al.* Seja doutor do seu eucalipto. **Potafós**: Arquivo do agrônomo, n. 12, p. 32, 2001.

SIMÃO, S. **Manual de Fruticultura**. São Paulo: Agronômica CERES, 1971. 530 p.

SMITH, P.F. Effect of nitrogen source and placement on the root development of Valencia oranges trees. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 78, p. 55-59, 1965.

SOUZA, A.G. *et al.* Production of pear grafts under hydroponic condition. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 322-326, mar./abr. 2011.

SOUZA, A.G. *et al.* Produção de mudas de tangerineira ‘Ponkan’ em sistema hidropônico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 902-909, out./dez. 2013.

SOUZA, D.M.S. C. *et al.* Produção de mudas de café arábica em diferentes combinações de substratos e doses de superfosfato simples. **Espacios**, v. 38, n. 47, p. 2, 2017.

SOUZA, S.V.; GIMENES, R.M.T.; BINOTTO, E. Economic viability for deploying hydroponic system in emerging countries: A differentiated risk adjustment proposal. **Land Use Policy**, v. 83, p. 357-369, 2019.

SOUZA, T.C. de *et al.* Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 16-24, 2010.

SYVERTSEN, J.P. Minimum Leaf Water Potential and Stomatal Closure in Citrus Leaves of Different Ages. **Annals of Botany**, v. 49, n. 6, p. 827-834, jun. 1982.

TAIZ, L.; ZAIGER, E. **Plant physiology**. Redwood: The Benjamin, 2002. 559 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 819 p.

THOMPSON, D.G. Current state-of-the-art of rooting cuttings and a view to the future. In: Symposium in iufro's centennial year – mass production technology for genetically improved fast growing forest tree species, 1992, Bordeaux. **Syntheses[...]** Paris: AFOCEL, IUFRO, 1992. p. 159-172.

SILVA, J. N. M. Possibilidades de produção sustentada de madeira em floresta densa de terra firme da Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais [...]**. Campos do Jordão: SBS, 1990. p. 39-45.

TRIGUEIRO, I.A.; GUERRINI, R.M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio-sólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, nov./dez. 2004.

TOLEDO, A.R. Sistema de plantio do cafeeiro com mudas simples, duplas e podadas no viveiro e os efeitos na produção do cafeeiro - Mundo Novo – em Varginha – MG. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Trabalhos apresentados[...]**. Rio de Janeiro, 1989. p. 161-2.

TOMASI, N. *et al.* New ‘solutions’ for floating cultivation system of ready-to-eat salad: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 46, n. 2, p. 267-276, 2015.

TOMAZ, M.A. *et al.* Produção de mudas e plantio. *In*: SAKIYAMA, N.S. *et al.* **Café arábica**: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2015. p. 46-63.

TONELLI, C.T. **Efeito de doses e número de aplicações de nitrocálcio e superfosfato simples em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), podadas**. 1990. 103 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG, 1990.

VALLONE, H.S. *et al.* Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, jan./fev. 2010.

WILSON, P.J. Contributions of the leaves and axillary shoots to rooting in *Eucalyptus grandis* Hill a Maid. Stem cuttings. **Journal of Horticultural Science**, v. 69, n. 6, p. 999-1007, 1994.

WRIGHT, I.J. *et al.* The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, n. 6985, v. 428, p. 821-827, 2004.

ZONTA, J.H. *et al.* Influência de diferentes turnos de rega e doses de hidroabsorvente no desenvolvimento inicial da cultura do café Conillon (*Coffea canephora* Pierre). **IDESIA**, Chile, v. 27, n. 3, set./dez. 2009.