



HELBERT REZENDE DE OLIVEIRA SILVEIRA

**Excesso de água em mudas
de café (*Coffea arabica* L.): efeitos fisiológicos e
anatômicos**

**LAVRAS – MG
2011**

HELBERT REZENDE DE OLIVEIRA SILVEIRA

**Excesso de água em mudas
de café (*Coffea arabica* L.): efeitos fisiológicos e anatômicos**

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

Orientador
Prof. Dr. José Donizeti Alves

**LAVRAS – MG
2011**

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

Silveira, Helbert Rezende de Oliveira.

Excesso de água em mudas de café (*Coffea arabica* L.) : efeitos fisiológicos e anatômicos / Helbert Rezende de Oliveira Silveira. – Lavras : UFLA, 2011.

77p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: José Donizeti Alves.

Bibliografia.

1. Café Mundo Novo. 2. Café Catuaí. 3. Regimes hídricos. 4. Encharcamento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 583.52

Helbert Rezende de Oliveira Silveira

**Excesso de água em mudas
de café (*Coffea arabica* L.): efeitos fisiológicos e anatômicos**

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

APROVADA em 25 de fevereiro de 2011.

Dr^a. Patrícia de Fátima Pereira Goulart UNILAVRAS

Dr. Dárlan Einstein do Livramento UFLA

Dr. José Donizeti Alves

Orientador

**LAVRAS – MG
2011**

*A meus pais, instrumentos na mão de Deus na questão da criação, pela
sabedoria, ensinamentos e apoio incondicional...*

OFEREÇO

*A meus irmãos, irmã e a Elza pela compreensão, companheirismo e confiança,
cuja fé em mim ensinou-me a ter fé em mim mesmo e em Deus*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por guiar-me em busca do crescimento e dar-me força nos momentos difíceis.

À minha família, que sempre se fez presente em cada passo que dei.

À FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos, ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa, à UFLA pela oportunidade de estudo e ao setor de Fisiologia Vegetal pelo crescimento profissional e pessoal.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal e a todos os outros que participaram do meu processo de formação, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao orientador, Prof. José Donizeti, pelos ensinamentos, confiança, paciência e apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora Prof^a. Dr^a. Patrícia e ao amigo Dr. Dárlan pela disponibilidade em participarem da banca de defesa e pela contribuição intelectual.

Ao Dr. Marcelo Murad pelo auxílio e apoio.

Às colegas Kamila e Meline pela amizade, disponibilidade e ajuda para a realização deste trabalho. À Cinthia, Pedro, Lethícia e Gustavo pela ajuda na condução dos experimentos.

Aos meus amigos, Robson Junior, Ivan Pytcho, Humberto, Euler, Amanda, Greice, Carla, Genáina, Nádia, Michele, Leandro, André, Vinicius, Jean, Solange, Maita. Vocês são como o vento: às vezes perto, outras longe, mas eternos em meu coração.

Aos colegas de pós-graduação pela convivência e pelo aprendizado em conjunto.

Aos funcionários do Setor de Fisiologia Vegetal Emmanuele, Lena, Tanhan, Joel, Odorêncio, Barrinha e Evaristo pela disponibilidade em ajudar sempre.

À todas as pessoas que contribuíram, de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho, minha gratidão!

"Se, a princípio, a idéia não é absurda, então não há esperança para ela."

Albert Einstein

RESUMO

O café vem sofrendo uma grande migração territorial no Brasil, sendo plantado em áreas até então consideradas impróprias à sua produção. Além da migração da área de plantio do café, vem ocorrendo mudanças climáticas nas áreas convencionais de plantio. A irrigação tem possibilitado a produção de café de qualidade em diferentes regiões. Entretanto com o aumento nas áreas de plantio irrigado, problemas relacionados ao excesso de irrigação e à falta do manejo adequado da mesma podem surgir. O excesso de água, decorrente de longos períodos de chuvas ou por irrigação mal planejada e/ou executada, podem contribuir para perdas significativas, seja ela na produção ou na qualidade da bebida do café. Neste contexto, a presente dissertação objetivou avaliar os efeitos fisiológicos, bioquímicos e anatômicos do excesso de água em mudas de duas cultivares comerciais de *Coffea arabica* L., Mundo Novo IAC 379-19 e Catuaí Vermelho IAC 44. Após aclimatação, as mudas contendo oito pares de folhas completamente expandidas, foram submetidas a três condições de disponibilidade de água no solo: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). Os tratamentos foram conduzidos até cinco meses após aplicação das lâminas d'água. Foram realizadas análises de crescimento das plantas, trocas gasosas, e análises de massa seca de raiz e parte aérea, clorofilas e carotenóides, carboidratos, avaliações das raízes e avaliações anatômicas. As mudas de café arábicas suportam até oito semanas de encharcamento, entretanto esta tolerância não se relaciona à plasticidade morfoanatômica tanto das folhas quanto do caule e das raízes. Aos cinco meses plantas expostas ao encharcamento contínuo e intermitente apresentaram menor atividade carboxilativa.

Palavras-chave: Café Mundo Novo. Café Catuaí. Regimes hídricos. Encharcamento.

ABSTRACT

The areas dedicated to coffee production have changed in Brazil, and nowadays coffee is being cultivated in lands that were previously considered inappropriate for this purpose. In addition to this migration phenomenon, a sort of climate change is occurring in some traditional growing areas. Irrigation has improved coffee production, however problems related to the excess of irrigation and lack of management are also occurring in these areas. Water excess, which can be due to the long period of rainfall or due to mistaken irrigation, i.e. lack of a correct planing or due to incorrect application, can contribute to significant losses, in production or on beverage coffee quality. In this context, the present dissertation aimed to evaluate the physiological, biochemical and anatomical effects of water excess in coffee seedlings from two cultivars of *Coffea arabica* L., i.e. Mundo Novo and Catuaí. After acclimatation, the seedlings containing eight pairs of fully expanded leaves were submitted to three conditions of water availability: field capacity (CC), intermittent flooding (Int) and continuous flooding (Cont). The treatments were evaluated until five months of the water levels application. Growth analysis, gas exchanges, chlorophylls, carotenoids and carbohydrates content in root and shoot dry matters, together with root evaluations and anatomical analysis were performed. Arabica coffee seedlings were able to survive until eight weeks of flooding, although this tolerance does not correlate with morpho-anatomic plasticity in leaves, shoot and roots. After five months of continuous and intermittent flooding seedlings showed lower carboxylative activity.

Keywords: Coffee Mundo Novo seedling. Coffee Catuaí seedling. Water status. Flooding.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	A cultura do café e sua importância.....	12
2.2	Estresse hídrico em plantas.....	13
2.3	Défice hídrico no café	15
2.4	Irrigação na cafeicultura.....	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Local de realização do experimento	21
3.2	Obtenção do material vegetal e condução das plantas	21
3.3	Aplicações dos tratamentos.....	22
3.4	Características avaliadas.....	24
3.4.1	Análises de crescimento das plantas.....	26
3.4.2	Trocas gasosas	26
3.4.3	Clorofilas e carotenóides	27
3.4.4	Carboidratos.....	27
3.4.5	Avaliações de imagem das raízes	28
3.4.6	Avaliações anatômicas	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	Análise de crescimento	30
4.2	Pigmentos foliares e trocas gasosas	45
4.3	Carboidratos.....	60
4.4	Avaliações anatômicas.....	64
5	CONCLUSÃO.....	67
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

O café vem sofrendo uma grande migração territorial no Brasil, sendo plantado em áreas até então consideradas impróprias à sua produção. Além da migração da área de plantio do café, vem ocorrendo mudanças climáticas nas áreas convencionais de plantio levando estas plantas a passar por um período de estresse.

O plantio e a produção em áreas suscetíveis ao estresse por déficit hídrico têm sido possíveis com o aporte hídrico em quantidades ótimas e no momento oportuno. Entretanto, com o aumento das áreas de plantio irrigado, podem surgir problemas relacionados ao excesso de irrigação pela falta do manejo adequado da mesma.

O manejo adequado da lavoura cafeeira promove aumento da produtividade, além de influenciar na qualidade de bebida e diminuir os riscos de perdas na produção.

O desenvolvimento e a produção da maioria das espécies vegetais cultivadas são prejudicados em solos mal drenados devido à falta de oxigênio livre no solo. A extensão de danos decorrentes do encharcamento do solo depende de vários fatores, incluindo a duração do período de saturação, o estágio de desenvolvimento da planta, a espécie e as condições ambientais.

Assim se mostra necessário o estudo das respostas fisiológicas de mudas de café submetidas ao excesso de água.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do café e sua importância

O café arábica (*Coffea arabica* L.) é originário de áreas florestais elevadas da Etiópia, localizados em altitudes de 1.500 a 1.900 m, entre as latitudes de 6° N a 9° N. O clima dessa região é ameno e úmido, com uma estação seca de dois a quatro meses. As temperaturas médias anuais variam de 17° C a 20° C. A precipitação é bem distribuída, variando de 1.500 a 2.000 mm por ano, com período seco de três a quatro meses (ALFONSI, 2000).

O cafeeiro apresenta característica umbrófila, típica de ambiente de sub-bosque. Em razão dessa característica, é comum a fotoinibição provocada pela saturação do aparelho fotossintético sob elevada irradiância (DaMATTA; MAESTRI, 1997).

No Brasil, as cultivares de café foram selecionadas a pleno sol, e, por isso, apresentam, potencialmente, adaptações à elevada irradiância como baixa relação entre as clorofilas a e b, característica das plantas de sombra (FAHL; CARELLI, 1994; DaMATTA; RENA, 2001). Por isso, o cafeeiro pode ser considerado como uma planta facultativa de sombra, com alta plasticidade às variações de irradiância (DaMATTA; RENA, 2001).

O café é a mais importante “*commodity*” do comércio mundial de produtos agropecuários, representando uma importante fonte de renda para vários países da América Latina, África e Ásia (DaMATTA, 2004). O Brasil é o principal produtor e exportador mundial de café, fornecendo cerca de 30% da produção mundial, sendo que em 2010 produziu 48,09 milhões de sacas de 60 Kg beneficiadas (CONAB, 2011).

No Brasil, a cafeicultura desenvolveu-se, inicialmente, em regiões onde normalmente não ocorre deficiência hídrica. A deficiência hídrica causa frequentemente oscilações na produtividade da cultura (MELO, 2008).

A cafeicultura brasileira está distribuída principalmente nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rondônia e Rio de Janeiro que correspondem a 98,2% da produção nacional, cada um com suas características próprias de ambiente e nível tecnológico. Minas Gerais destaca-se no cenário brasileiro como o maior produtor, com produção total de 25,15 milhões de sacas de 60 Kg beneficiadas, representando cerca de 52,29% do café produzido no país (CONAB, 2011).

Por sua extensão territorial e peculiar variação ambiental, a cafeicultura mineira tem sua produção distribuída em quatro ambientes principais, constituídos pelas regiões Sul de Minas (Sul/Sudoeste), Matas de Minas (Zona da Mata/Rio Doce), Cerrados de Minas (Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba) e Chapadas de Minas (Vale do Jequitinhonha/Mucuri). Essas regiões apresentam características distintas, tanto em relação ao meio físico quanto às condições socioeconômicas. Os cafés de Minas Gerais se distinguem pela diversidade de sabor e aroma, devido principalmente às variações de clima, altitude, sistemas de produção entre outras, permitindo conquistar os mercados nacionais e internacionais (BARBOSA et al., 2009).

2.2 Estresse hídrico em plantas

O termo estresse deriva da palavra latina “*stringere*” e, do ponto de vista fisiológico, é definido como um desvio significativo das condições ótimas para a vida (considerando a sobrevivência e reprodução), induzindo mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo. A intensidade do estresse pode variar de fraca a forte e o tempo de duração do mesmo pode ser curto,

longo ou intermitente. Qualquer fator que restrinja o crescimento, a reprodução e perturbe o equilíbrio de um sistema, aumentando os gastos energéticos do organismo, é denominado fator de estresse. Estresses considerados negativos podem gerar danos ao desenvolvimento vegetal e, numa situação extrema e irreversível, resultar na morte da planta (NOGUEIRA et al., 2005).

A capacidade para sobreviver ao estresse é regida por mecanismos que conferem resistência ou tolerância. Existem, ainda, respostas ao estresse consideradas de ajuste (respostas reversíveis), escape ou adaptações (respostas evolutivas irreversíveis). Todos esses mecanismos podem ocorrer por meio da combinação de processos comportamentais, morfológicos, anatômicos, fisiológicos e bioquímicos e dependem, primordialmente, de processos moleculares (NOGUEIRA et al., 2005).

O acúmulo de solutos orgânicos de baixo peso molecular (aminoácidos, betaínas e açúcares) e íons inorgânicos (potássio e cloro), os quais estão diretamente relacionados com o ajustamento osmótico das células, normalmente ocorre em plantas submetidas a diferentes fatores de estresse, incluindo a deficiência hídrica. Entretanto, a capacidade de expressar o ajustamento osmótico, bem como a natureza do principal soluto responsável pelo aumento do potencial osmótico, difere substancialmente entre espécies e cultivares (MARTIM, 2003).

Estudos têm demonstrado que o metabolismo de carboidratos é muito sensível às alterações no status hídrico das plantas. Chaves (1991) descreveu que o particionamento dos assimilados é o resultado de um mecanismo coordenado dos processos metabólicos e de transporte, entre as relações fonte/dreno e é dependente de fatores genéticos, ambientais e de desenvolvimento. Como o estresse hídrico afeta a produção e o consumo de fotoassimilados, inevitavelmente afetará o particionamento do carbono foliar e de toda a planta.

O grande desafio hoje é desenvolver novas técnicas de maneira a distinguir o *status* da água na planta e, além disso, detectar o tipo de estresse a que a planta está submetida, seja devido ao excesso ou escassez de água, salinidade, toxicidade, doenças, pragas ou deficiência mineral.

2.3 Déficit hídrico no café

Um problema crescente na cafeicultura é causado pela seca prolongada e por períodos de veranicos. Várias pesquisas têm demonstrado como o déficit hídrico afeta severamente o crescimento das plantas e, conseqüentemente, a produção (ARRUDA; GRANDE, 2003).

Evangelista et al. (2002) relatam que em Minas Gerais 37% do território (Centro-Sul) apresenta condições climáticas adequadas ao cultivo do café; 45% (Centro-Norte, Triângulo e Alto Paranaíba) podem ser cultivados com alguma restrição e 18% (Norte e Nordeste) são considerados inaptos.

Entretanto, regiões climaticamente aptas para o cultivo do cafeeiro vêm sofrendo, frequentemente, o efeito de estiagens prolongadas durante os períodos críticos de demanda de água pela planta, como nos meses de janeiro e fevereiro que ocorrem os veranicos, promovendo queda de produção em várias lavouras (ASSAD et al., 2004).

Dessa forma, o estudo das relações hídricas no cafeeiro é de grande interesse, uma vez que uma pequena redução na disponibilidade hídrica pode reduzir substancialmente o crescimento e, conseqüentemente, a produção (DaMATTA; RENA, 2002).

Informações referentes a aspectos fisiológicos relacionados às variações morfoanatômicas, especialmente devidas ao estresse hídrico, podem ser bastante úteis na compreensão dos mecanismos envolvidos na tolerância diferencial

existente no gênero *Coffea*, comumente observada em condições de campo (DIAS et al., 2005).

Quando a imposição do déficit hídrico ocorre de forma abrupta, os mecanismos morfofisiológicos são severamente afetados e a planta necessita adaptar-se à nova situação, de forma rápida. Porém, sob condições moderadas de seca, ocorrem reduções gradativas na atividade fotossintética principalmente devido ao fechamento dos estômatos, que são os indicadores primários do déficit hídrico (DEUNER et al., 2008).

2.4 Irrigação na cafeicultura

O princípio da irrigação é a reposição da água ao solo em quantidade adequada e na ocasião oportuna. A irrigação depende de fatores climáticos, da disponibilidade e custo de energia, variações da composição do solo, e considerações sociais e econômicas.

No semiárido do Nordeste, é uma técnica absolutamente necessária para a realização de uma agricultura racional, pois os níveis de chuva são insuficientes para suprir a demanda hídrica das culturas. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, pode ser considerada como técnica suplementar de compensação da irregularidade das chuvas. Entretanto, como em algumas regiões há excesso de chuvas deve-se retirar água do solo, através de drenagem (BATISTA DA SILVA; PAZ, 2002).

A cafeicultura no Brasil desenvolveu-se, inicialmente, nas regiões aptas ao cultivo, como o Sul de Minas Gerais. Devido à expansão da cafeicultura, hoje se produz café de qualidade, utilizando a irrigação em regiões anteriormente consideradas marginais, com períodos extensos de deficiência hídrica (ROTONDANO, 2004).

A irrigação é fator decisivo para se obter alta produtividade e qualidade dos grãos, obrigando os produtores a adotarem esta prática para garantir sua competitividade. Entretanto, para que a aplicação de água seja eficiente é fundamental o conhecimento adequado da demanda hídrica da cultura que, por sua vez, é regulada por características intrínsecas da planta, do solo e do clima da região (PIMENTEL et al., 2010).

A interação entre a demanda evaporativa da atmosfera, o potencial de água no solo, a distribuição do sistema radicular e os processos fisiológicos revelam o estado energético de água na planta (CLARK; HILER, 1973).

Partes vegetativas como a copa e caule têm o diâmetro aumentado à medida que a irrigação tende a suprir o que é perdido por evapotranspiração (ALVES et al., 2000). Quanto ao sistema radicular, a maior profundidade de raízes é importante para que a planta sobreviva durante períodos secos (MARTINS et al., 2006).

Vários autores já constataram um aumento significativo da produtividade em cafeeiros irrigados, quando comparados a cultivos não irrigados (FERNANDES et al., 1998; ANTUNES et al., 2000; FARIA et al., 2000; SOARES, 2001). Comparando resultados de produtividade de cafeeiro não-irrigado, irrigado e fertirrigado para as safras de 1998 até 2000, Antunes et al. (2000) encontraram aumentos de 66% e 123% nas áreas irrigadas e fertirrigada, respectivamente, quando comparados aos tratamentos não-irrigados.

Fernandes et al. (2000), em experimento conduzido em Planaltina de Goiás, concluíram, após 3 safras, que a irrigação promoveu acréscimos de produtividade superiores a 100%, quando comparada com a testemunha não irrigada.

Faria et al. (2000), estudando os efeitos de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade do cafeeiro na Região Sul de Minas Gerais, obtiveram aumentos em produtividade da ordem de 25 a 54%.

A maior produtividade em áreas irrigadas, aliada ao baixo custo da terra em regiões de novas fronteiras agrícolas como o Norte de Minas Gerais e o Oeste da Bahia, assim como o decrescente custo dos equipamentos de irrigação, têm contribuído para o uso abusivo dessa técnica. Este uso indiscriminado aumenta o déficit de energia elétrica e água, além de acarretar sérios problemas ambientais como a contaminação do lençol freático, salinização do solo e erosão.

Guerra et al. (2005) observaram que a suspensão da irrigação na época de junho a agosto resulta em sincronização do desenvolvimento dos botões florais, causando floração única e uniforme. Esta estratégia de manejo de água causa redução de 33% da água e da energia usadas na irrigação, aumento da produtividade de pelo menos 14 sc.ha⁻¹ de café beneficiado e aumento de 30% de grãos cerejas no momento da colheita, elevando significativamente o potencial de produção de cafés especiais de melhor preço no mercado.

O manejo da água de irrigação está diretamente relacionado às necessidades hídricas das culturas e à capacidade de retenção de água pelo solo na profundidade efetiva da raiz (SOARES et al., 1998).

A quantidade de água aplicada ao solo através da irrigação é determinada por técnicas de manejo. O manejo da água de maneira correta é necessário para obter uma produtividade mais econômica. Neste caso, medidas rápidas e frequentes devem ser tomadas, uma vez que o agricultor fica sabendo, ao longo do dia ou diariamente, em que condições as culturas se encontram no campo (BATISTA DA SILVA; PAZ, 2002).

O excesso de irrigação geralmente reduz a produtividade e a qualidade da produção, podendo provocar o retardamento da maturação dos frutos, a lixiviação de nutrientes solúveis (principalmente nitrogênio e potássio), a queda de flores, maior ocorrência de doenças de solo e distúrbios fisiológicos, maiores gastos com energia e o desgaste do sistema de irrigação (DIAS et al., 2004).

As mudanças climáticas devido ao aumento da emissão de gases pelo homem causam modificações no regime hídrico, poluição do ar e aumento na temperatura global, influenciando diretamente a produtividade das culturas (EASTERLING et al., 2007).

Essas mudanças aumentam a demanda de irrigação devido a uma combinação de má distribuição das chuvas e aumento da evapotranspiração.

Em função do aquecimento global, o Brasil tem experimentado, nos últimos anos, um dos mais significativos episódios de altas precipitações e é errado supor que chuvas *per si* aumentam a produtividade. Diferente do que pensam alguns cafeicultores, o excesso de chuvas pode trazer mais prejuízos do que benefícios às lavouras. Como se não bastasse a frustração da florada que reduz a produção nas principais regiões produtoras, o excesso de chuva dificulta os tratos culturais e o controle de doenças e do mato e aumenta a lixiviação dos nutrientes, além de promover o encharcamento do solo, trazendo malefícios como os observados em irrigações excessivas.

O desenvolvimento e a produção da maioria das espécies vegetais cultivadas são prejudicados em solos mal drenados devido à falta de oxigênio livre no solo (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). A extensão de danos decorrentes do encharcamento do solo depende de vários fatores, incluindo a duração do período de saturação, o estágio de desenvolvimento da planta, a espécie e as condições ambientais (SILVA et al. 2006).

Martins et al. (2007) observaram que há uma grande necessidade de implantação de sistemas de manejo para a agricultura irrigada, tendo em vista que a maioria dos usuários não adota nenhuma estratégia de uso racional da água de irrigação. O manejo adequado da lavoura cafeeira promove aumento da produtividade, além de influenciar na qualidade de bebida e diminuir os riscos de perdas na produção.

Segundo Jensen (1983), os principais fatores que colaboram para a falta de manejo da irrigação são os baixos custos da água comparados ao custo de implantação de um programa de manejo. Há também dificuldade para identificar e quantificar a redução na produtividade devido ao atraso na irrigação, à fertilização imprópria e à irrigação excessiva.

Alvim (1960) afirmou que em virtude de irrigações frequentes, o teor de água do solo é mantido elevado, a dormência dos botões florais é estimulada e a antese é retardada, prejudicando a produção de frutos.

De acordo com Guerra et al. (2007 a, 2007 b), os solos do Oeste da Bahia necessitam de aproximadamente 20 horas após os eventos de irrigação ou a ocorrência de chuva para atingirem a condição de capacidade de campo. No entanto, na maior parte da região são aplicadas irrigações diárias, o que mantém o solo encharcado na maior parte do tempo, prejudicando o sistema radicular, com conseqüente redução na capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta.

Nessa situação, pode ocorrer o aparecimento de sintomas de deficiência nutricional e queimadura das folhas e dos botões florais que recebem maior radiação solar. Como resultado do aparecimento de sintomas de deficiência nutricional, o produtor é induzido a aumentar significativamente o uso de insumos, visando solucionar o aparente problema de deficiência nutricional. Nos primeiros anos da lavoura, essa situação reflete no alto custo de condução e na baixa qualidade dos grãos, entretanto, após a quinta ou sexta safra, o resultado dessas práticas se reflete na redução de produtividade da lavoura (GRENHO, 2007).

Neste contexto, a presente dissertação visou avaliar os efeitos fisiológicos, bioquímicos e anatômicos do excesso de água no solo em mudas de duas cultivares comerciais de *Coffea arabica* L., Mundo Novo IAC 379-19 e Catuaí Vermelho IAC 44.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de realização do experimento

O experimento foi conduzido no viveiro de produção de mudas do Setor de Fisiologia Vegetal no Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, localizado na região sul no Estado de Minas Gerais. O local do experimento está a uma altitude média de 918 m dentro da latitude 21°14'S e longitude 45°00'W GRW. O clima regional é do tipo Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente), mas apresenta características de Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado) com duas estações distintas: seca (de abril a setembro) e chuvosa (de outubro a março), segundo a classificação de Köppen-Geiger.

O experimento foi conduzido de 14 de janeiro de 2010 a 14 de junho de 2010. A concentração atmosférica de CO₂ observada durante o experimento foi de 346,53 ± 17,09 VPM.

As análises bioquímicas foram realizadas no Laboratório de Bioquímica e Fisiologia Molecular de Plantas e as avaliações anatômicas no Laboratório de Anatomia Vegetal, ambos no Departamento de Biologia da UFLA.

3.2 Obtenção do material vegetal e condução das plantas

As mudas das cultivares Mundo Novo IAC 379-19 (MN) e Catuaí Vermelho IAC 44 (CT), foram obtidas, em estágio orelha de onça, do viveiro comercial da Fundação Procafé, Fazenda Experimental de Varginha, localizado na região sul no Estado de Minas Gerais. Quando as mudas atingiram quatro pares de folhas completamente expandidas foram transplantadas para sacos de polietileno perfurados, de cor preta, com as dimensões 15 x 25 cm e volume de

4,4 L, simulando o transplântio para a condição de campo. O substrato foi o padrão para mudas de café, constituído de 700 litros de terra de subsolo peneirada, 300 litros de esterco de curral curtido e peneirado, 5 kg de superfosfato simples e 0,5 kg de cloreto de potássio (GUIMARÃES et al., 2002).

3.3 Aplicações dos tratamentos

Após aclimação as mudas, contendo oito pares de folhas completamente expandidas, foram submetidas a três diferentes condições de disponibilidade de água no substrato (Figura, 1).

O primeiro tratamento foi o controle, em que as mudas foram mantidas com umidade do substrato próxima à capacidade de campo (CC). A irrigação foi realizada diariamente, a partir do controle da umidade do substrato nas mudas.

O segundo tratamento constou de encharcamento contínuo do substrato, de maneira que as mudas foram acondicionadas em recipientes que permitissem a manutenção de uma lâmina de água em cerca de dois terços do volume total do substrato (Cont). Assim, as mudas permaneceram nesta condição de encharcamento durante todo o perío do amostral, sendo a lâmina de água constante.

Quanto ao terceiro tratamento, encharcamento intermitente do substrato, as mudas permaneciam três dias sob encharcamento contínuo e quatro dias sob capacidade de campo ao longo de todo o perío do experimental.

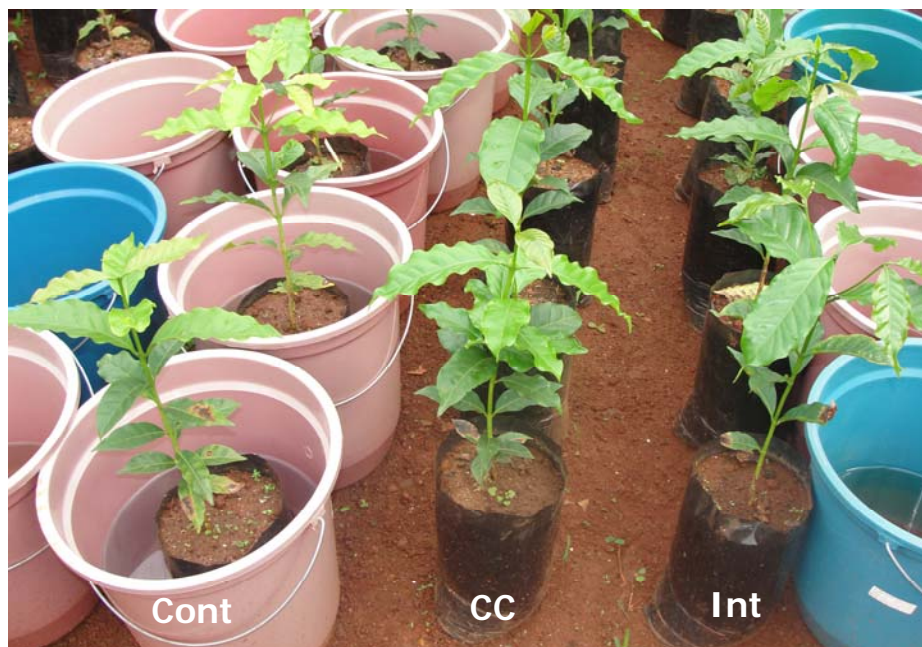


Figura 1 Cultivares de café submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

A determinação da condição controle, solo próximo a capacidade de campo, foi realizada pelo método direto. Cinco amostras foram colocadas em recipientes com água até atingirem a saturação por capilaridade. Logo após, foram submetidas à drenagem livre pela ação da gravidade com a superfície coberta por plástico para evitar a evaporação (BERNARDO; SOARES; MONTALVANI, 2006). A umidade do substrato foi monitorada até o equilíbrio (estabilização da umidade na unidade de tempo). O equilíbrio foi atingido 24 horas após a saturação, quando foi retirada amostra do solo para determinação da umidade pelo método padrão estufa. Verificou-se que a percentagem de umidade em base seca (%Ubs) no solo submetido à capacidade de campo foi de (%Ubs) $29,77 \pm 0,605\%$.

O excesso contínuo de água no substrato também teve o teor de umidade determinado pelo método padrão de estufa, sendo que as amostras foram colocadas em recipientes com água até dois terços do volume total durante 24 horas e depois realizada a determinação da umidade do substrato. Constatou-se que a percentagem de umidade em base seca no solo submetido ao encharcamento foi (%U_{bs}) $49,15 \pm 1,003\%$.

3.4 Características avaliadas

As características analisadas e as épocas de avaliações para diagnosticar a resposta do café em condições de excesso de água foram:

- a) Análises de crescimento das plantas, realizadas semanalmente;
- b) Trocas gasosas, avaliadas mensalmente;
- c) As análises de massa seca de raiz e parte aérea, clorofilas e carotenóides, carboidratos, avaliações das raízes e avaliações anatômicas foram mensuradas em três épocas (Figura, 2): Início da indução do estresse, onde realizou as avaliações na mesma semana em que se submeteu as plantas aos tratamentos. A segunda avaliação ocorreu após o aparecimento dos primeiros sintomas, caracterizados por amarelecimento das folhas e menor crescimento das plantas submetidas aos encharcamentos, ocorrendo 2 meses após a aplicação dos tratamentos. A terceira época foi caracterizada pelo agravamento dos sintomas, marcado pelo menor crescimento e desfolha das plantas submetidas aos estresses, estes sintomas foram visualizados aos 5 meses após indução dos tratamentos.

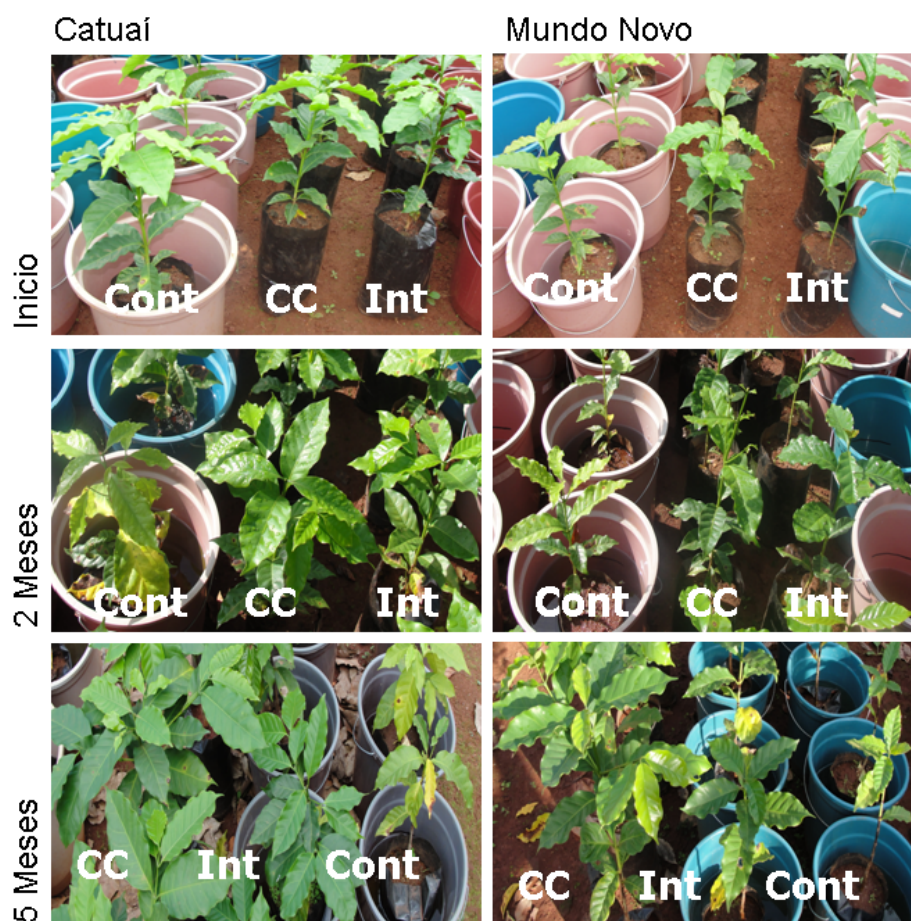


Figura 2 Cultivares de café Mundo Novo e Catuaí submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont), durante três épocas, Início da indução do estresse, 2 e 5 meses após a aplicação dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, sendo quatro blocos, três diferentes condições de disponibilidade de água (CC, Int e Cont) e duas cultivares, disposto em um esquema fatorial 3 x 2. A parcela experimental foi composta por oito plantas, totalizando 96 plantas por cultivar.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e de regressão, utilizando-se o programa estatístico SISVAR 4.3 (Sistema de Análise de Variância Para Dados Balanceados) (FERREIRA, 1999). As médias entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (1974), a 0,05 de probabilidade.

3.4.1 Análises de crescimento das plantas

A altura das plantas foi mensurada com a utilização de uma régua graduada entre o coleto até a gema apical. O diâmetro do caule foi medido no coleto com o auxílio de um paquímetro. A área foliar total foi estipulada pela fórmula $AF = [(comprimento \times largura) \times 0,667] \times \text{número total de folhas por planta}$ (BARROS et al., 1973; GOMIDE et al., 1977), e o número total de folhas foi obtido por contagem direta.

A massa seca de raiz e parte aérea (caule e folha) foi obtida através de amostras secas em estufa de circulação forçada de ar, a 60°C, até massa constante.

3.4.2 Trocas gasosas

As trocas gasosas foram medidas em folhas completamente expandidas do terço superior das mudas, utilizando-se um analisador portátil de gás por infravermelho (IRGA – ADC-LCA4). As características avaliadas foram: taxa fotossintética líquida (A), concentração intercelular de CO₂ (Ci), concentração atmosférica de CO₂ (Ca), condutância estomática (gs), transpiração (E), densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) e temperatura foliar (Tf). A eficiência de carboxilação (CE) e a eficiência instantânea do uso da água (EUA) foram obtidas pelas relações Ca/Ci e A/E, respectivamente.

Todas as avaliações foram realizadas em dias tipicamente ensolarados, com pouca nebulosidade, entre 9 e 10 horas (horário solar).

3.4.3 Clorofilas e carotenóides

Para a determinação dos teores de clorofila foram macerados 0,1g de tecido foliar do primeiro par de folhas completamente expandido de cada tratamento em acetona 80%. O volume final foi completado para 10 mL, sendo realizadas as leituras espectrofotométricas a 645 e 663 nm, conforme metodologia de Lichtenthaler e Buschmann (2001).

Para a extração dos carotenóides, foi seguida a metodologia descrita por Lichtenthaler e Buschmann (2001), a partir do primeiro par de folhas completamente expandido. Os teores de carotenóides foram quantificados realizando-se a leitura espectrofotométrica a 445 nm.

3.4.4 Carboidratos

Os carboidratos foram extraídos da massa seca de folhas completamente expandidas e raízes pela homogeneização de 300 mg de massa seca em 5 mL de tampão fosfato de potássio, 100 mM, pH 7,0, seguido de banho-maria por 30 minutos a 40°C. O homogenato foi centrifugado a 5.000 x g por 10 minutos, coletando-se o sobrenadante. O processo foi repetido por duas vezes e os sobrenadantes, combinados.

Para extração do amido, o pellet foi novamente ressuspendido com 8 mL do tampão acetato de potássio 200 mM, pH 4,8. Em seguida foram adicionadas 16 unidades da enzima amiloglucosidase, incubando-se o homogenato em banho-maria a 40°C por duas horas. Após a centrifugação a 5.000g por 20 minutos, o sobrenadante foi coletado e o volume completado para 15 mL.

Para a quantificação do amido foi utilizado o método da Antrona (DISCHE, 1962) e para os açúcares redutores o protocolo descrito por Miller (1959), através do método DNS.

3.4.5 Avaliações de imagem das raízes

Para a análise do sistema radicular (área das raízes menores que 3 mm de diâmetro), as raízes das plantas foram lavadas e armazenadas em metanol a 5% para posterior captura e processamento da imagem. As imagens foram capturadas utilizando escâner HP Scanjet G2410, resolução óptica de 1200 dpi, com o auxílio de uma cuba acrílica. O processamento das imagens foi realizado através do *software* SAFIRA – Sistema de Análise de Fibras e Raízes (JORGE; RODRIGUES, 2008), sendo realizado calibração do *software* com um objeto de comprimento e diâmetro conhecido.

3.4.6 Avaliações anatômicas

A estrutura anatômica das folhas e raízes foi estudada utilizando-se cinco folhas totalmente expandidas, retiradas do terço superior e as raízes de quatro plantas por tratamento. Após a coleta, as folhas e as raízes foram previamente fixadas em FAA 70% (formaldeído, ácido acético e álcool etílico) (JOHANSEN, 1940) por 72 horas e conservadas em álcool etílico 70% (v/v) em vidros para posteriores análises. Os cortes transversais foliares foram realizados na região mediana das folhas e a $4 \pm 0,5$ cm do ápice das folhas, por meio de secções obtidas com o auxílio do micrótomo de mesa. Os cortes transversais radiculares foram realizados no terceiro centímetro da raiz, partindo-se da extremidade terminal da raiz. As secções foram clarificadas em solução a 50% de hipoclorito de sódio, sendo lavadas em água destilada e submetidas ao

processo de coloração com a mistura de azul de astra-safranina (safranina 7,5 : azul de astra 2,5), seguindo-se os métodos descritos por Kraus e Arduin (1997), sendo as lâminas montadas em glicerina a 50%.

As determinações de espessura das folhas foram feitas a partir de cinco medições das espessuras das epidermes adaxial e abaxial, dos parênquimas paliádico e esponjoso, portanto, a amostra foi constituída de 20 medições para cada tratamento. Da mesma forma foram feitas as avaliações de espessura nas raízes, realizando as leituras do córtex e do cilindro central.

Para as avaliações relativas à caracterização dos estômatos (número médio por mm², diâmetro polar e equatorial), foram feitos cortes paradérmicos manuais, utilizando-se uma lâmina de aço. Os cortes realizados na região mediana das folhas na epiderme da face abaxial foram submetidos ao processo de coloração com safranina e colocados sobre uma lâmina contendo água glicerinada. Foram observados cinco campos da região mediana de cada folha, totalizando 20 campos por tratamento (quatro folhas por tratamento). Foi realizada a contagem do número de células epidérmicas, estômatos e medições do diâmetro polar e equatorial. O índice estomático (I.E.) foi calculado com a utilização da seguinte fórmula: $I.E. (\%) = [Sn / (Sn+Em)] \times 100$, sendo Sn o número de estômatos e Em o número de células da epiderme (CUTTER, 1986).

As fotomicrografias foram obtidas em microscópio óptico Olympus BX-60 acoplado a uma câmara digital Cânon Poxer Shot A620, segundo técnica de Labouriau et al. (1961).

As medições dos padrões anatômicos analisados foram realizadas pelo programa de análise de imagens UTHSCSA Image Tool.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise de crescimento

De maneira geral, as mudas de Mundo Novo quando cultivadas sob encharcamento de água apresentaram, aos dois meses de tratamento, menor crescimento em altura, quando comparado ao controle (Gráfico 1). Em média, a perda em crescimento desta cultivar foi de 16,0%. Aos cinco meses, o encharcamento contínuo também foi o mais prejudicial, sendo a diferença entre esse tratamento e o controle de 25,4%. Para o Catuaí, diferenças entre a altura das mudas somente foram observadas aos cinco meses após aplicação do encharcamento. Nessa ocasião, as mudas sob encharcamento apresentaram, em média, menor crescimento, sendo este de 16,7%.

A análise da altura das mudas em relação ao tempo de exposição aos tratamentos revelou que ambas as cultivares, quando submetidas ao encharcamento intermitente, tiveram um crescimento contínuo até o final do experimento, sendo esse inferior ao das mudas sob capacidade de campo (Gráfico 2). Quando o encharcamento não foi interrompido, as mudas paralisaram seu crescimento em altura a partir da 13^a semana de tratamento.

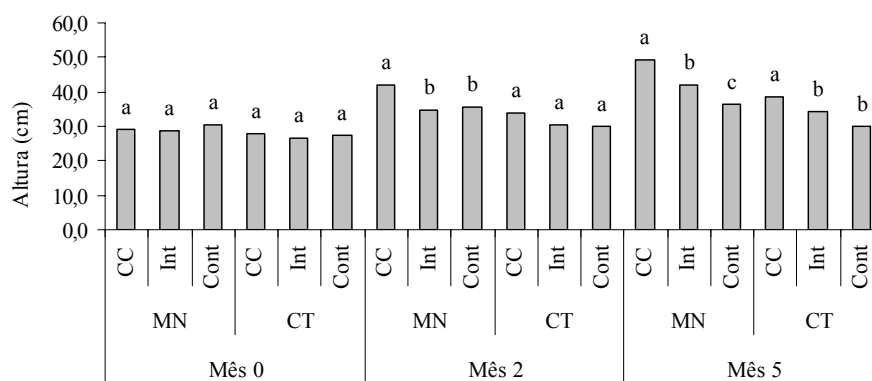


Gráfico 1 Altura das plantas de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

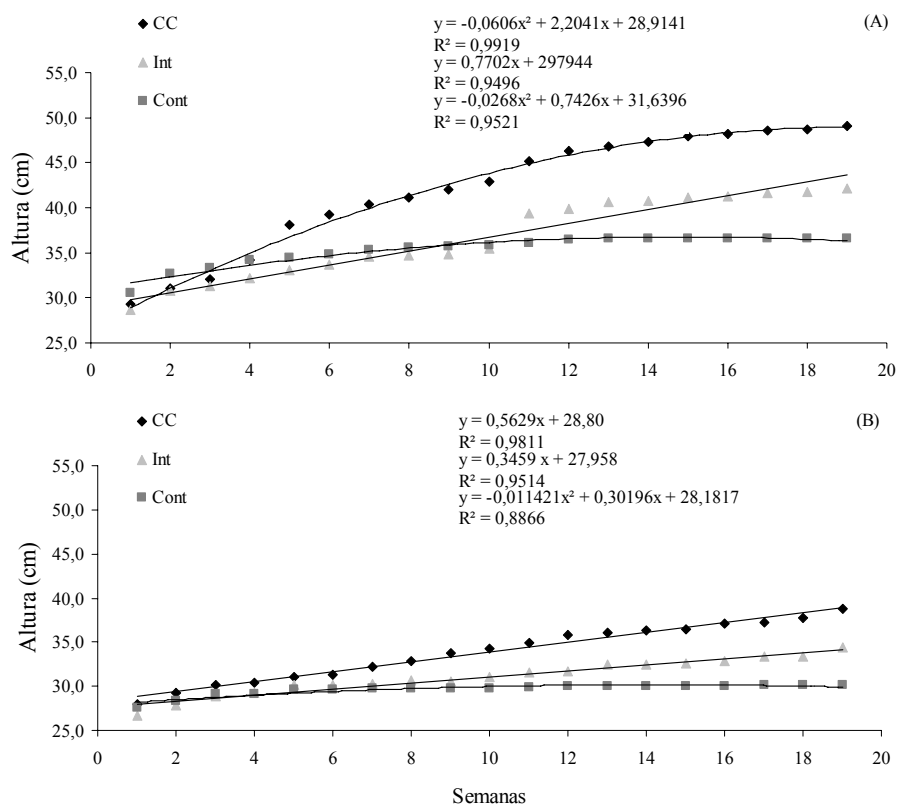


Gráfico 2 Altura das plantas de cultivares de café, (A) Mundo Novo (MN) e (B) Catuaí (CT) submetidas por 19 semanas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

Quanto ao número de ramos plagiotrópicos, de maneira geral, tanto as mudas de Mundo Novo quanto as de Catuaí, submetidas ao estresse por encharcamento apresentaram, somente no quinto mês de excesso hídrico, um menor número de ramos plagiotrópicos quando comparadas com aquelas sob capacidade de campo (Gráfico 3). Em média as mudas de Mundo Novo tiveram um decréscimo de 62,5% no número de ramificações. Entretanto, o número de ramos plagiotrópicos do Catuaí sob encharcamento contínuo foi inferior ao do

encharcamento intermitente. Comparativamente ao controle, o decréscimo foi de 78,9 e 36,8%, respectivamente.

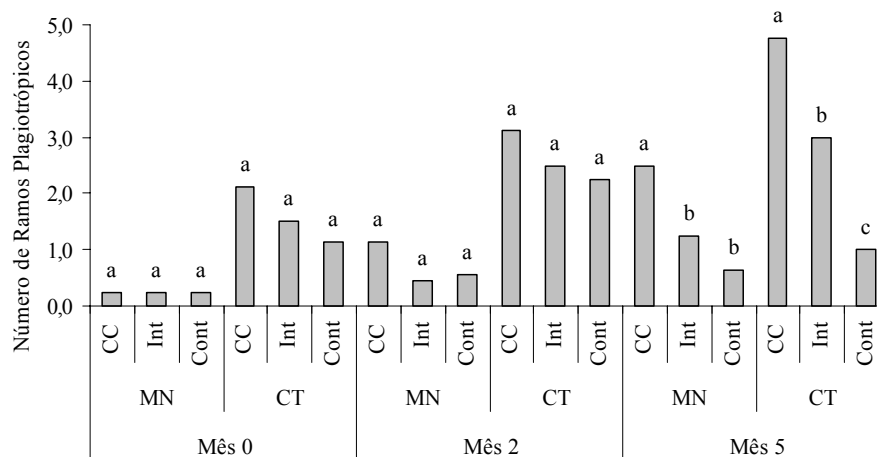


Gráfico 3 Número de ramos plagiotrópicos de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuai (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Ao longo do período de avaliação notou-se que esta característica variou entre os tratamentos. Assim como na capacidade de campo, sob encharcamento intermitente, as duas cultivares continuou lançando ramos durante todo o período amostral. Já para o encharcamento contínuo, a ramificação ocorreu até a 14ª semana na cultivar Mundo Novo e até a 10ª semana na cultivar Catuai (Gráfico 4). A partir daí, observou-se uma queda no número de ramos plagiotrópicos em função da senescência e morte dos mesmos.

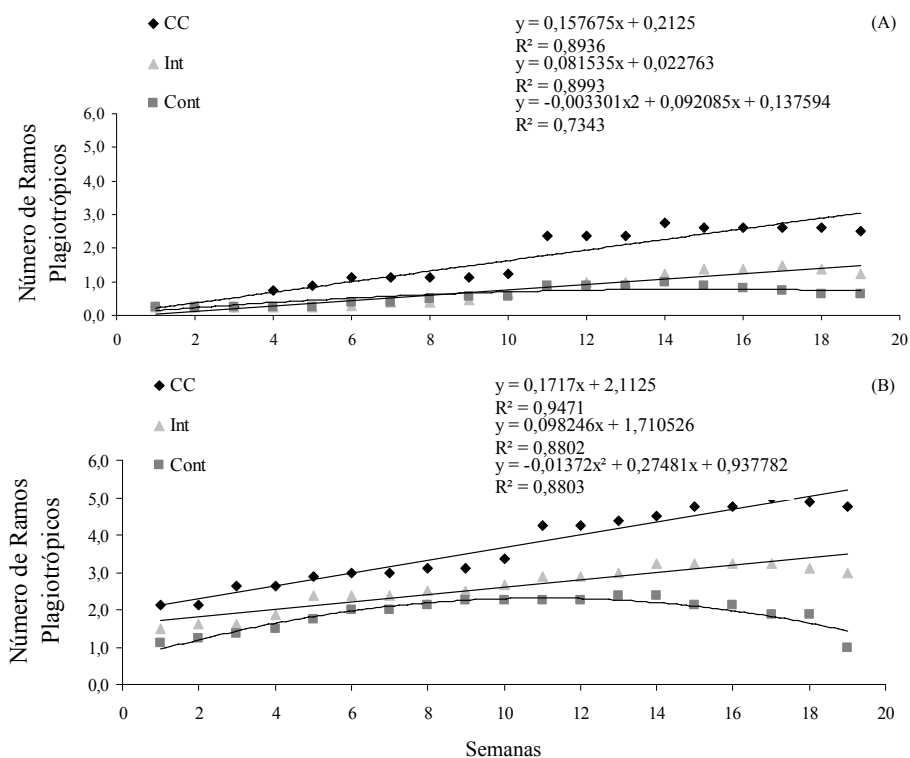


Gráfico 4 Número de ramos plagiotrópicos de cultivares de café, (A) Mundo Novo (MN) e (B) Catuaí (CT) submetidas por 19 semanas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

Quanto ao número total de folhas nas mudas, verifica-se que no segundo mês, somente o Catuaí continuamente encharcado, apresentou diferença significativa em relação ao controle. Nessa avaliação o encharcamento diminuiu o número de folhas em 24,7% (Gráfico 5). Aos 5 meses, ambas as cultivares foram afetadas pelos encharcamentos contínuo e intermitente. A cultivar Mundo Novo teve o número de folhas diminuído em 77,5 e 36,2%, respectivamente, em

relação ao controle. Já para o Catuaí o decréscimo foi, respectivamente, de 73,9 e 42,4%.

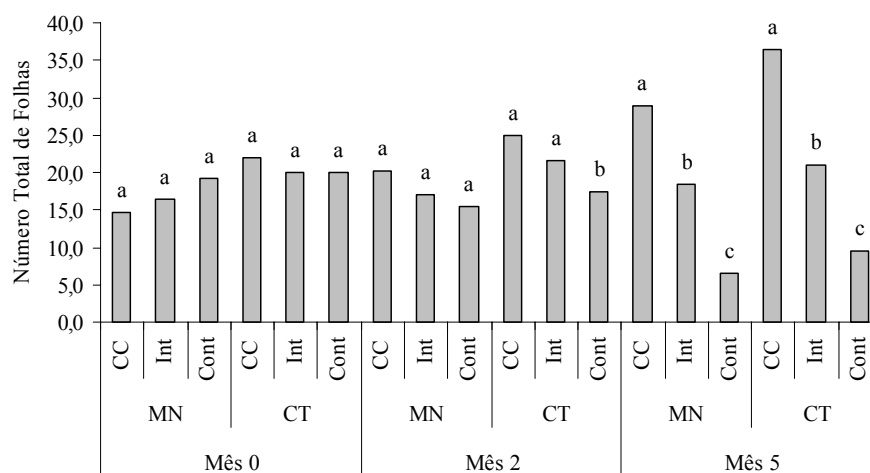


Gráfico 5 Número total de folhas de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Sob o encharcamento contínuo a cultivar Mundo Novo apresentou decréscimo linear no número de folhas com a evolução do estresse em relação ao tempo (Gráfico 6A). Por outro lado, o encharcamento intermitente, apresentou uma manutenção do número de folhas, sem abscisão. Resultados semelhantes foram observados para a Catuaí (Gráfico 6B).

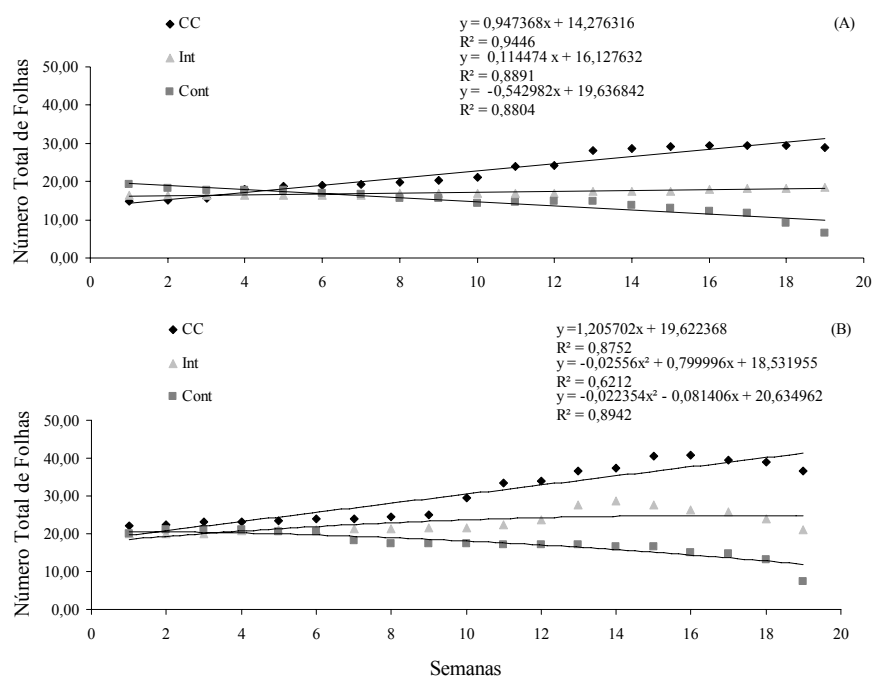


Gráfico 6 Número total de folhas de cultivares de café, (A) Mundo Novo (MN) e (B) Catuai (CT) submetidas por 19 semanas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

A área foliar total também foi afetada pelo excesso de água, sendo que no segundo mês, a cultivar Catuai sob encharcamento contínuo já apresentava um valor 28,8% menor que dos outros tratamentos (Gráfico 7). Aos cinco meses, essa diferença em relação ao controle, passou a ser de 69,2%. Em relação ao Mundo Novo, diferença significativa em relação ao controle, somente foi verificada ao quinto mês de encharcamento contínuo e intermitente. Nesse caso, o decréscimo na área foliar foi de 80,6 e 45,7%, respectivamente.

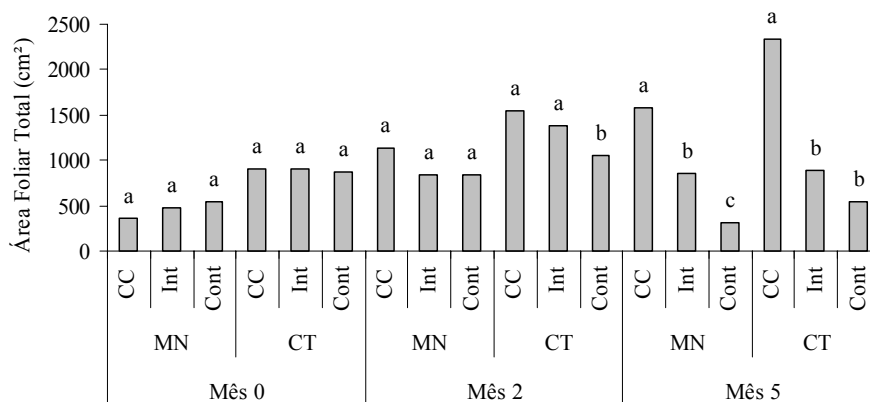


Gráfico 7 Área foliar total de duas cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

As cultivares Catuaí e Mundo Novo, a partir da 5ª e 7ª semana respectivamente, apresentaram uma acentuada queda na área foliar quando submetidas ao encharcamento contínuo (Gráfico 8). Sob encharcamento intermitente, a área foliar das mudas de Mundo Novo aumentou até a oitava semana estabilizando-se até o final do experimento (Gráfico 8A). Já para as mudas de Catuaí sob esse tratamento esta característica aumentou até a 14ª semana, caindo a seguir (Gráfico 8B).

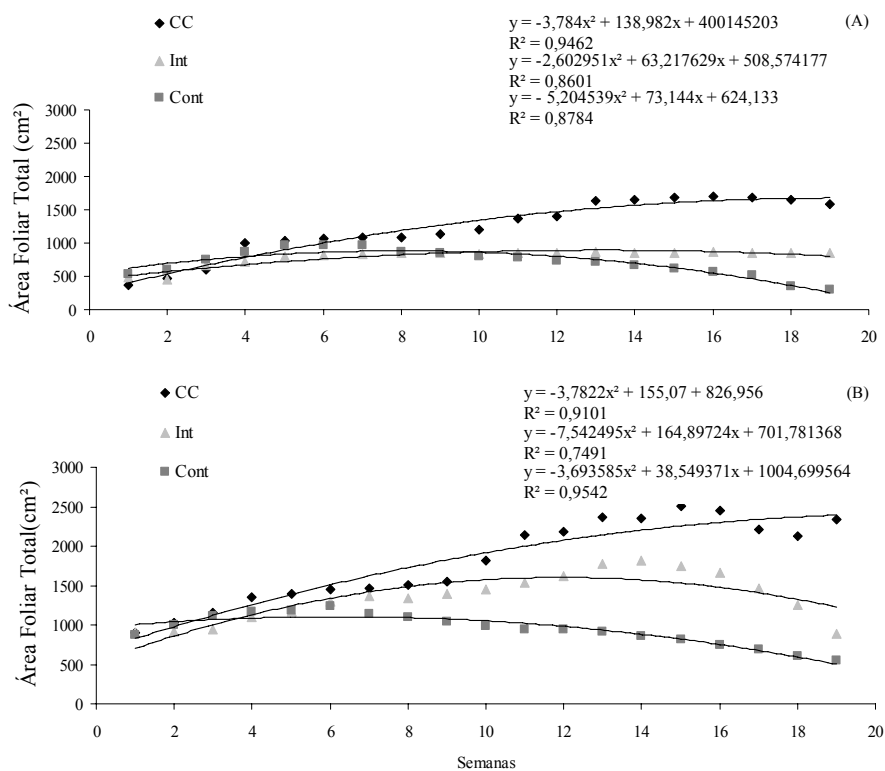


Gráfico 8 Área foliar total de cultivares de café, (A) Mundo Novo (MN) e (B) Catuaí (CT) submetidas por 19 semanas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

Em relação ao diâmetro do caule, verificou-se que ambas as cultivares apresentaram o mesmo comportamento frente aos diferentes regimes hídricos (Gráfico 9). Aos dois meses de tratamento, somente o encharcamento contínuo afetou esta variável, decrescendo em média 17,2%. Aos cinco meses a influência negativa no diâmetro do caule foi proporcional ao nível de estresse. Para as mudas de Mundo Novo os encharcamentos contínuo e intermitente, decresceram essa variável em 36,6 e 26,5%, respectivamente. Para a Catuaí, os decréscimos

foram, respectivamente, de 32,0 e 20,0%. No tempo, independentemente dos tratamentos, o diâmetro do caule, aumentou linearmente para ambas as cultivares (Gráfico 10).

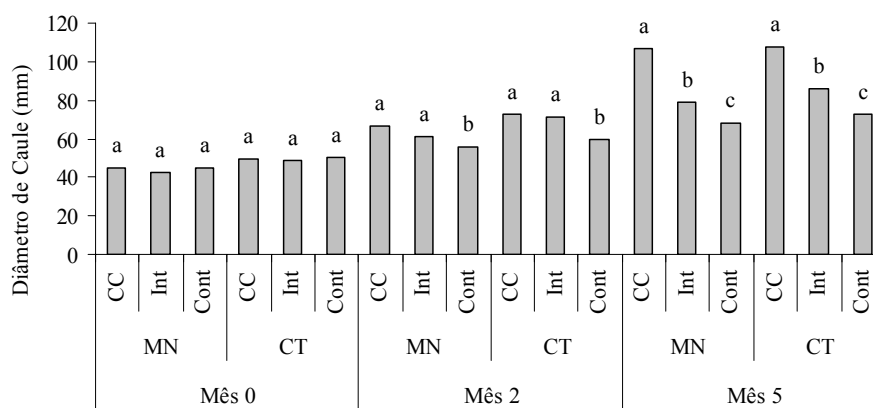


Gráfico 9 Diâmetro de caule de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuai (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

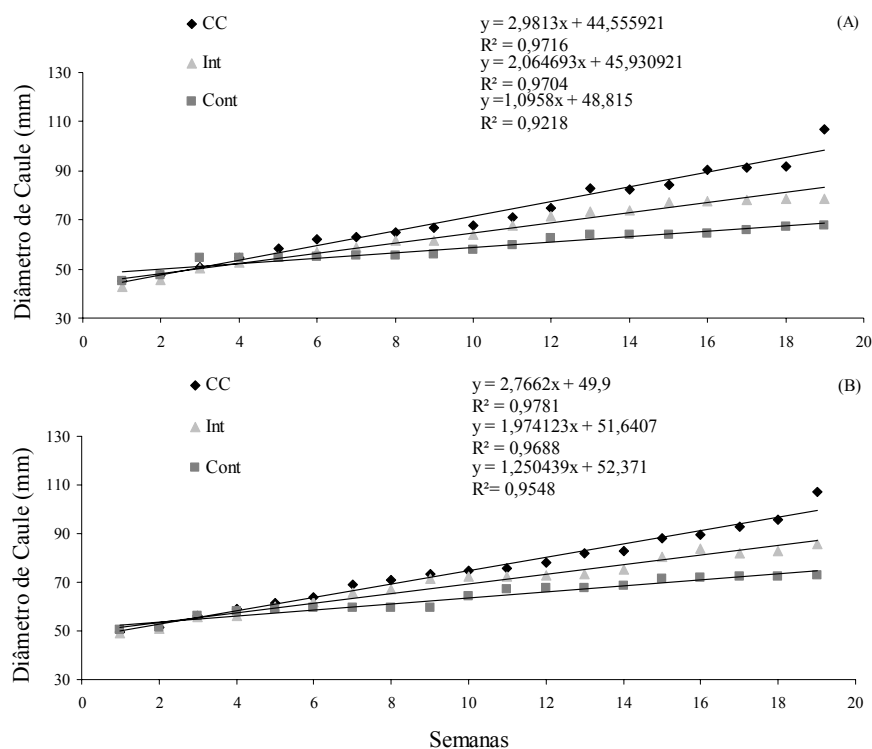


Gráfico 10 Diâmetro de caule de cultivares de café, (A) Mundo Novo (MN) e (B) Catuai (CT) submetidas por 19 semanas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

A análise da massa seca das folhas, caule e raízes das mudas de Mundo Novo e Catuai revelaram um comportamento semelhante aos 5 meses após a imposição dos tratamentos (Gráfico 11). Nesse caso, houve um decréscimo nessas variáveis diretamente relacionados ao nível de estresse, onde o encharcamento contínuo afetou em maior grau o acúmulo de massa seca daqueles órgãos que o tratamento intermitente. A única exceção refere-se à

massa seca das folhas das mudas de Catuaí continuamente encharcadas que no segundo mês foi menor que as dos demais tratamentos (Gráfico 11 A).

Muitas vezes, plantas em seu ambiente natural podem sofrer encharcamento do solo, passando por períodos de estresse que podem ser intermitentes, breves ou duradouros. Tal condição pode ser causada naturalmente, por períodos chuvosos intensos, má drenagem natural do solo e a elevação sazonal da água subsuperficial. Uma irrigação mal planejada também pode mimetizar essa condição adversa. As espécies sensíveis ao estresse por encharcamento desenvolvem sintomas, os quais resultam principalmente de distúrbios causados pela hipoxia ou anoxia nas raízes. Os mais comuns são a abscisão de folhas, flores e frutos, clorose nas folhas, redução no comprimento da raiz principal, redução no crescimento em altura, inibição da formação de primórdios foliares, redução na expansão foliar e até mesmo morte da planta (ARRUDA; CALBO, 2004). No presente caso, considerando somente a parte aérea, pode-se dizer, de maneira geral, que até dois meses de encharcamento, as cultivares Mundo Novo e Catuaí comportaram-se como espécies tolerantes. As únicas exceções para o Mundo Novo foram a altura das plantas (Gráfico 1) e o diâmetro do caule (Gráfico 9) que sofreram reduções significativas, principalmente quando as mudas foram submetidas ao encharcamento contínuo. No caso do Catuaí, as reduções impostas por este encharcamento no crescimento das mudas foram observadas para o número de folhas (Gráfico 5), área foliar (Gráfico 7), diâmetro do caule (Gráfico 9) e massa seca das folhas (Gráfico 11A).

Comparando agora o decréscimo percentual aos cinco meses, verifica-se que as mudas de Mundo Novo sob encharcamento contínuo decresceram a massa seca das folhas, caule e raiz em 94,3; 70,8 e 79,1%, respectivamente. Sob encharcamento intermitente esses valores foram de 41,2; 22,1 e 65,0%. Já quanto ao Catuaí, os decréscimos na massa seca das folhas, caule e raiz das

mudas sob encharcamento contínuo foram de 90,7; 58,3 e 81,2%, respectivamente. No caso do encharcamento intermitente os valores foram de 46,2; 27,6 e 66,4%.

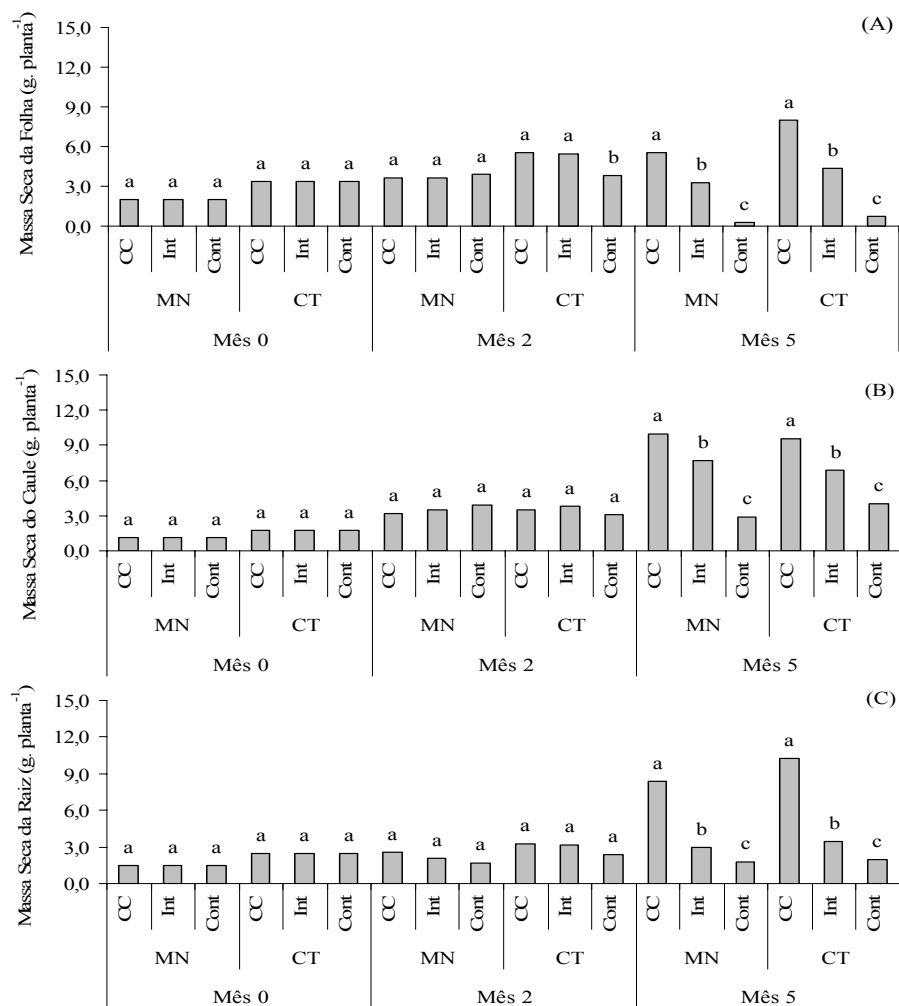


Gráfico 11 Massa seca de folha (A), Caule (B) e raiz (C) de duas cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

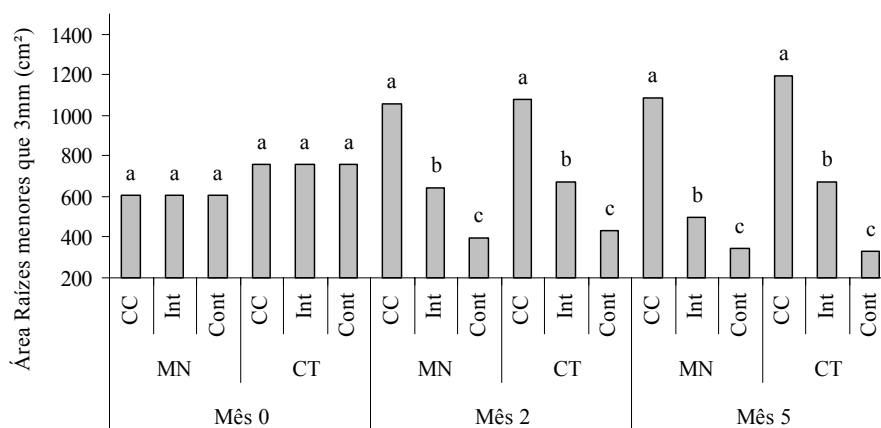


Gráfico 12 Área das raízes menores que 3 mm de duas cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras minúsculas comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Analisando a área das raízes absorventes, raízes menores que 3 mm, verificou-se que ambas as cultivares apresentaram, aos 2 meses de encharcamento contínuo e intermitente, perdas na ordem de 61,2 e 38,6 % e aos 5 meses 70,2 e 49,2% respectivamente, quando comparada com o controle (Gráfico 12). Os dados de massa seca das raízes (Gráfico 11C) comparados com os de área das raízes menores que 3 mm (Gráfico 12) indicam que as radículas foram as primeiras a morrerem, ocorrendo uma redução substancial já aos dois meses de estresse, enquanto que a massa seca das raízes só foram apresentar reduções no peso após 5 meses de indução ao encharcamento intermitente e contínuo. Carvalho e Ishida (2002) também verificaram em pupunheira que, sob efeito do alagamento, ocorre a diminuição da absorção de água, tanto pela

redução do comprimento e superfície total das raízes, em consequência da sua morte, como pelo aumento da resistência ao fluxo de água.

Ainda que não observado nenhum decréscimo na massa seca total das raízes aos dois meses, houve um efeito negativo tanto do encharcamento intermitente quanto do contínuo em ambas as cultivares, pela diminuição observada na área das radículas (Gráfico 12) e aparecimento de raízes superficiais. Por outro lado, a análise de crescimento realizada aos cinco meses de estresse pelo excesso de água no substrato, revelou que as duas cultivares sofreram reduções significativas em todas as variáveis estudadas (Gráficos 1 a 12). Quanto ao nível de estresse, o encharcamento contínuo, por ser um estresse mais severo, foi o mais prejudicial em ambas as ocasiões.

Analisando agora o comportamento das cultivares, percebe-se que pelo número e qualidade das variáveis afetadas, a Catuaí mostrou, aos dois meses de estresse, maior sensibilidade ao encharcamento. Dentre as variáveis afetadas, destacam-se o número, área e massa seca das folhas que passaram por reduções significativas na ordem de 24,7; 28,8 e 29,9%, quando as mudas dessa cultivar foram mantidas sob constante encharcamento. Como as folhas são órgãos diretamente responsáveis pela fotossíntese e transpiração, reduções dessa magnitude podem afetar outras variáveis de crescimento. Essa sensibilidade ao encharcamento, no entanto, foi equiparada com a do Mundo Novo aos cinco meses de tratamento pelo excesso de água, tanto intermitente quanto o contínuo.

As raízes em geral obtêm oxigênio (O_2) suficiente para a respiração aeróbica diretamente do espaço gasoso no solo. Um solo bem drenado e bem estruturado permite a difusão de O_2 em maior profundidade (VOESENEK et al., 2006). Entretanto, sob condições de alagamento, a difusão do O_2 no solo torna-se muito baixa, gerando um ambiente hipóxico (deficiência de O_2), que pode facilmente tornar-se anóxico (ausência de O_2) pela respiração de microorganismos e órgãos vegetais submersos. Isso pode provocar distúrbios

metabólicos nas plantas, diminuindo o seu crescimento vegetativo, prejudicando o crescimento reprodutivo e, se o período for mais prolongado, pode levar a planta à senescência e morte (BAILEY-SERRES; VOESENEK, 2008).

A anoxia ou hipoxia sofrida pelo sistema radicular em solos encharcados, em um primeiro momento, provoca queda imediata na respiração das raízes (LIAO; LIN, 1995), inibindo a produção de ATP, e o consequente suprimento de energia para o crescimento e desenvolvimento geral da planta. Algumas espécies, entretanto, possuem uma notável capacidade de tolerar ou até mesmo resistir a estas condições, podendo crescer vigorosamente em resposta ao encharcamento (COSTA et al., 2006). Todas as alterações que ocorrem na planta sob alagamento parecem estar relacionadas aos mecanismos de tolerância, levando a um ajustamento metabólico e morfoanatômico, que permite às plantas sobreviverem por períodos mais prolongados em condições de hipoxia (DREW, 1997; PEREIRA et al., 2008).

4.2 Pigmentos foliares e trocas gasosas

O encharcamento leva a uma deficiência de oxigênio no solo e, como consequência, as plantas manifestam vários distúrbios fisiológicos nos quais podem ser incluído amarelecimento das folhas, redução da fotossíntese e da condutância estomática (ARRUDA; CALBO, 2004). Em se tratando de mudas de cafeeiros, os dados dessa pesquisa mostram que os pigmentos fotossintéticos (clorofilas e carotenóides) sofreram poucas variações em função do encharcamento do substrato (Gráficos 13 e 14). De maneira geral, a cultivar Mundo Novo apresentou menores teores de clorofila “a” e de carotenóides quando o substrato foi encharcado continuamente. A diminuição da clorofila “a” refletiu em um menor teor de clorofila total. Já a cultivar Catuaí somente

apresentou diferenças no quinto mês, quando o teor de clorofila “a” foi menor no encharcamento contínuo.

Exceto essas variações, o encharcamento do solo, pelo menos durante um período de 5 meses, não comprometeu todos os pigmentos fotossintéticos, mostrando que o excesso de água não danificou a etapa fotoquímica da fotossíntese, sendo assim, não havendo uma limitação por falta de energia e poder redutor da etapa carboxilativa da Rubisco.

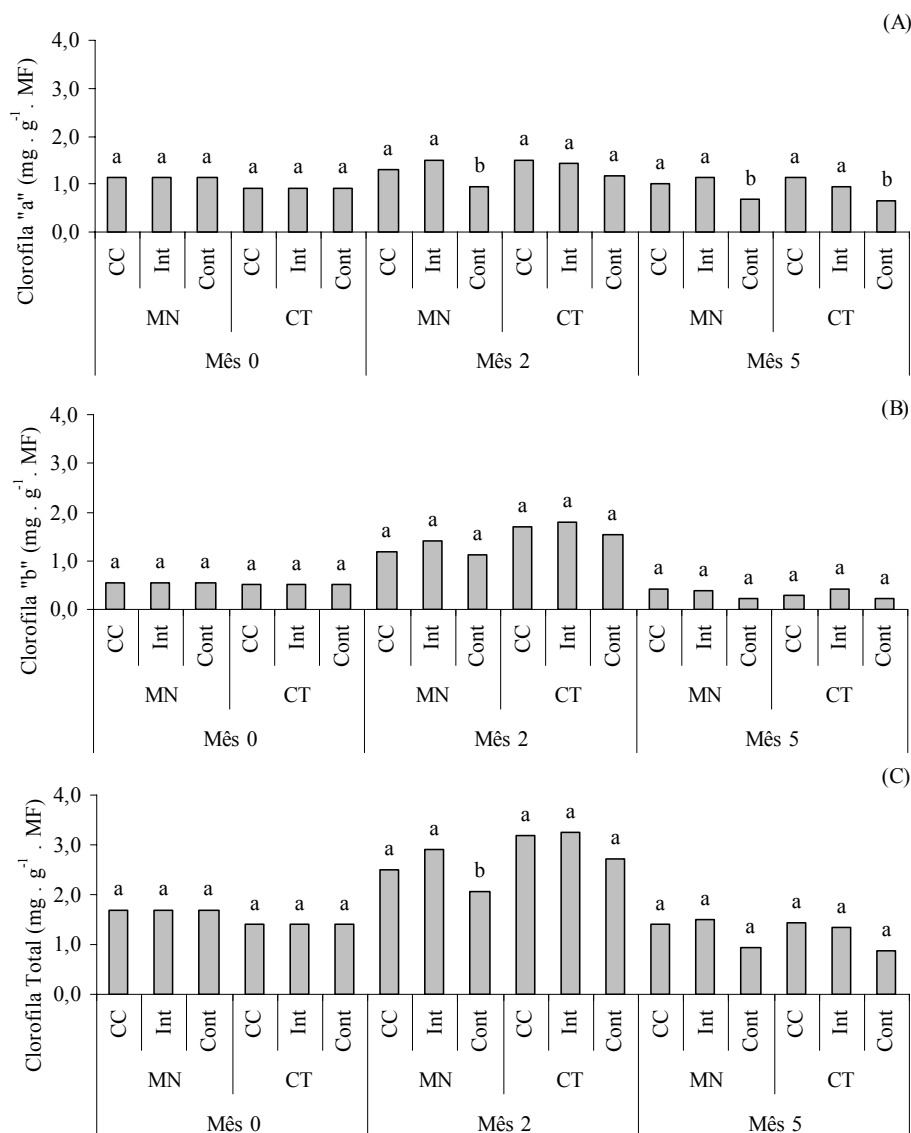


Gráfico 13 Concentração de clorofila "a" (A), "b" (B) e Total (C) de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

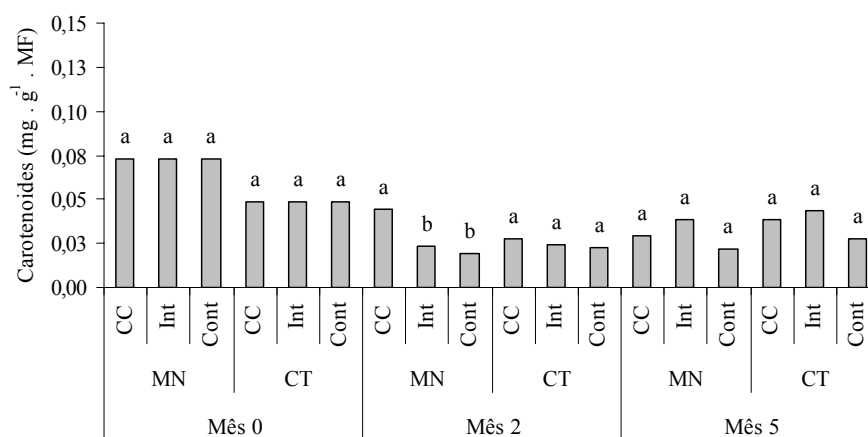


Gráfico 14 Concentração de carotenóides de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuai (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Ainda que os teores de pigmentos fotossintéticos não sofressem grandes variações, o encharcamento provocou alterações nas taxas fotossintéticas (Gráfico 15). Comparativamente ao controle, Mundo Novo e Catuai apresentaram aos dois meses de contínuo encharcamento decréscimos na ordem de 44,8 e 77,6% na fotossíntese líquida, respectivamente. Esta última cultivar mostrou-se também sensível ao encharcamento intermitente uma vez que a fotossíntese foi diminuída em 45,6%. Este decréscimo passou a ser mais pronunciado aos cinco meses de estresse, principalmente nas mudas mantidas sob encharcamento contínuo, cuja taxa aproximou-se de zero para ambas as cultivares. Desde o início da aplicação dos tratamentos, as taxas fotossintéticas caíram quase que continuamente (Gráfico 16). Para o Mundo Novo sob encharcamento contínuo e intermitente, os valores da fotossíntese aos cinco

meses foram, respectivamente, 88,9 e 48,5% menores que o valor inicial. Para o Catuaí, esses valores foram de 97,2 e 51,2%.

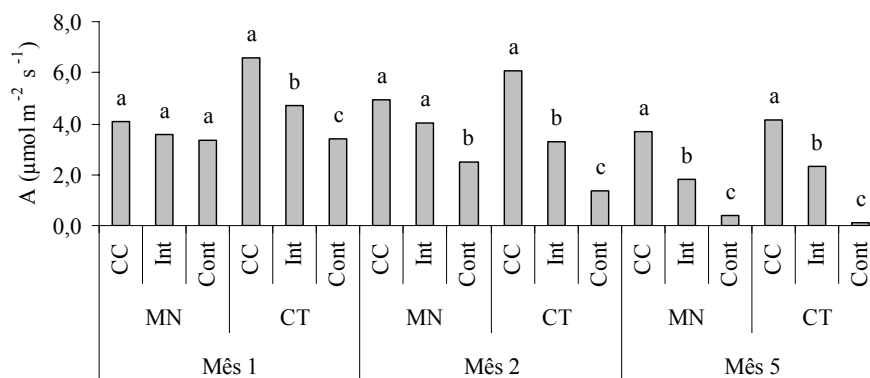


Gráfico 15 Taxa fotossintética líquida, A, de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

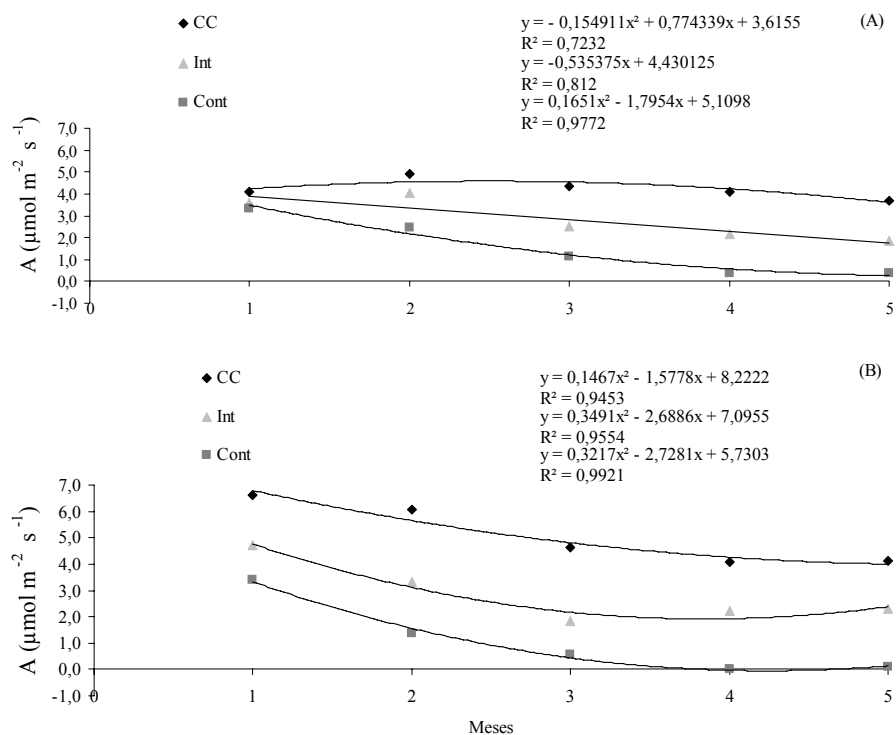


Gráfico 16 Taxa fotossintética líquida, A, de cultivares de café, (A) Mundo Novo (MN) e (B) Catuaí (CT) submetidas por 5 meses a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

Assim como a fotossíntese, a transpiração também foi fortemente afetada em relação ao tempo de estresse hipóxico a que as mudas foram submetidas. Até os dois meses de estresse, as taxas transpiratórias foram inferiores às do controle (Gráfico 17). A partir da terceira semana após indução às diferentes condições de disponibilidade de água no substrato, houve uma queda na taxa transpiratória, sendo esta mais acentuada nas mudas-controle. Aos cinco meses, todas as mudas estavam transpirando a taxas próximas (Gráfico 18).

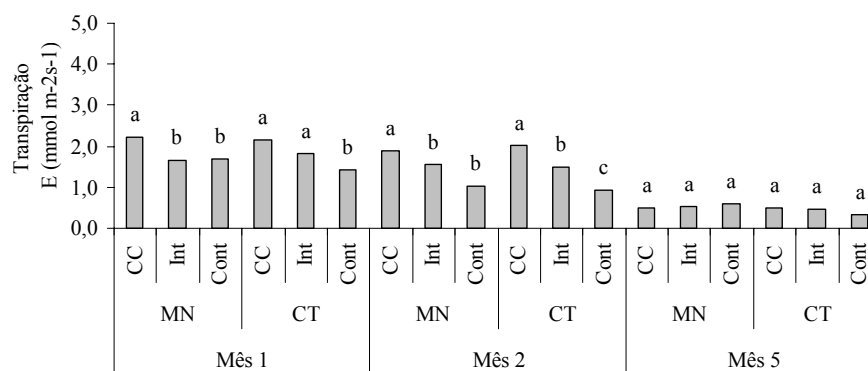


Gráfico 17 Transpiração de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuai (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

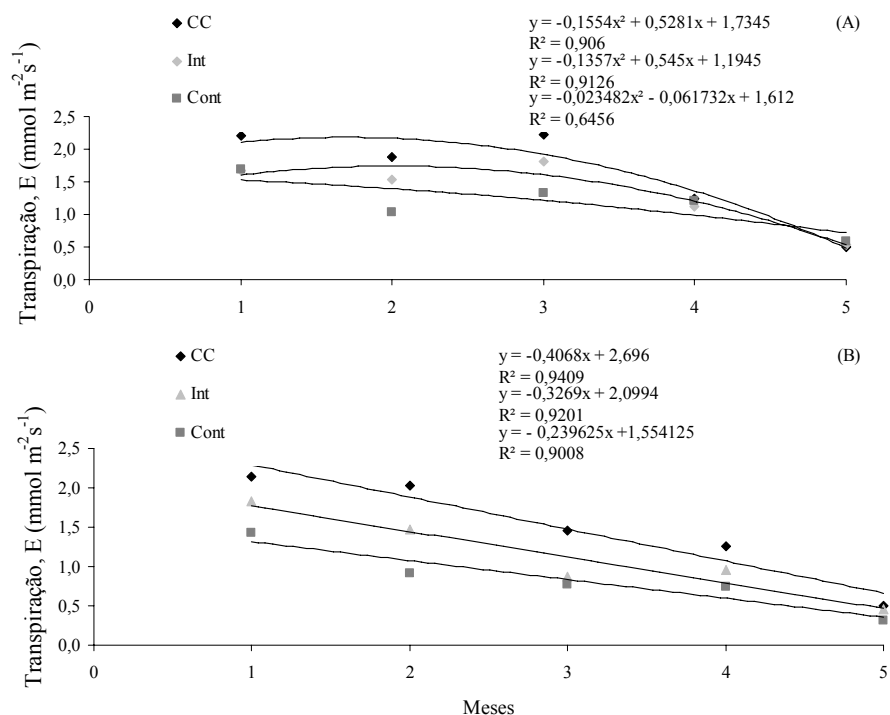


Gráfico 18 Transpiração de cultivares de café, (A) Mundo Novo (MN) e (B) Catuaí (CT) submetidas por 5 meses a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

As variações nas trocas gasosas observadas acima refletem o comportamento dos estômatos durante o período experimental (Gráfico 19). O que se pode destacar foi também a queda na condutância estomática com a continuidade do estresse observada na segunda avaliação, aos dois meses. Apesar de ter sido observada uma queda em ambas cultivares, a Catuaí, relativamente ao controle, foi mais afetada, uma vez que o valor da condutância estomática das mudas encharcadas foi estatisticamente inferior. Essa diminuição na condutância estomática pode estar relacionada com a diminuição da

permeabilidade e da condutividade hidráulica das raízes absorventes *per si* ou em decorrência da morte de radículas impostas pelo encharcamento (Gráfico 12). Neste caso, a diminuição da condutividade hidráulica da raiz pode aumentar a tensão interna de água, reduzindo o turgor das folhas e, conseqüentemente, a condutância estomática (DAVIES; FLORE, 1986; PEZESHKI, 2001; MIELKE et al., 2003). Alternativamente, a redução da condutância estomática pode estar relacionada à produção de ácido abscísico nas raízes ou nas folhas mais velhas, já que este hormônio tem sido apontado como um importante mecanismo responsável pelo fechamento estomático em condições de excesso de água no solo (ZHANG; DAVIES, 1986; ZHANG; ZHANG, 1994; YORDANOV et al., 2005). Esse mecanismo nas plantas está relacionado com a prevenção da perda d'água excessiva pela transpiração, e a manutenção de um equilíbrio hídrico positivo na planta já que o excesso de água, à semelhança do déficit hídrico, pode reduzir bastante a sua capacidade de absorção pelas raízes, (KOZLOWSKI, 1997; PEZESHKI, 2001). As reduções nas taxas fotossintéticas, nas três avaliações para a cultivar Catuaí e na segunda e quinta avaliação na cultivar Mundo Novo (Gráfico 15), e transpiratórias na primeira e segunda avaliação (Gráfico 17) após diferentes condições de disponibilidade de água no substrato das mudas sob encharcamento parecem corroborar com esta explicação.

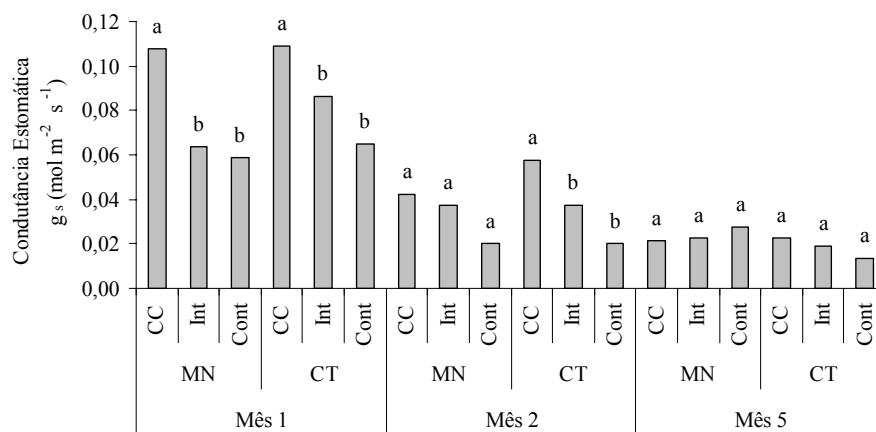


Gráfico 19 Condutância estomática de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuai (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

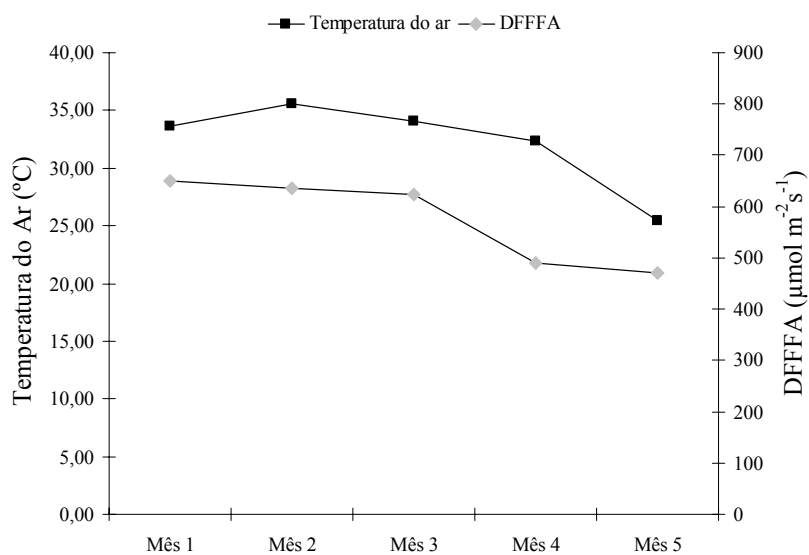


Gráfico 20 Temperatura foliar e densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) observado nos 5 meses de avaliação do experimento

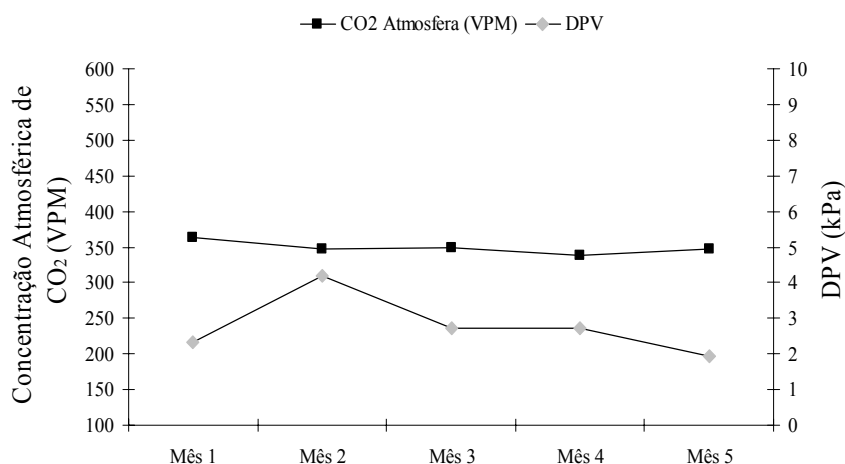


Gráfico 21 Concentração atmosférica de CO₂ e déficit de pressão de vapor (DPV) observado nos 5 meses de avaliação do experimento

Um fato chama atenção durante a condução do experimento, tanto nas mudas sob encharcamento contínuo e intermitente quanto nas controle, houve uma redução nas variáveis taxa fotossintética, transpiração e condutância estomática com o passar do tempo. Observando as condições climáticas durante a condução do experimento verificamos que a temperatura foliar, a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (Gráfico 20) e o déficit de pressão de vapor (Gráfico 21) apresentaram o mesmo comportamento, com um aumento nestas variáveis no segundo mês de condução do experimento seguido de queda nos demais meses. Assim podemos inferir que houve, além da influência das diferentes condições de disponibilidade de água no substrato, uma influência causada pelas mudanças climáticas durante a condução do experimento. Pelo fato do experimento ter sido implantado no Verão e a condução deste foi até o

Outono houve influência da sazonalidade que provocou esta queda nos parâmetros ecofisiológicos.

A variação sazonal da taxa de fotossíntese e da condutância dos estômatos em espécies arbóreas, nas regiões tropicais, está relacionada com as condições de DPV, temperatura do ar, radiação solar e umidade do solo, característica de cada estação do ano. Considerando-se o aspecto dinâmico tanto das condições ambientais como do crescimento e desenvolvimento das plantas nos diferentes meses do ano, as variações nas trocas gasosas devem estar relacionadas simultaneamente com a variação dos fatores climáticos e fisiológicos (MACHADO et al., 2002).

Quanto à eficiência do uso da água (EUA) (Gráfico 22 e 23) nos três primeiros meses após a indução dos estresses o ganho de carbono em relação à perda de água estava ocorrendo de forma satisfatória e constante, sendo que o fato mais relevante foi o seu aumento nas últimas avaliações, que se deu em decorrência da queda da temperatura e assim da condutância estomática diminuindo a transpiração. Pelo fato da queda da fotossíntese ter sido menor que a da transpiração nos tratamentos Controle e encharcado intermitente as plantas submetidas a estas condições de disponibilidade de água no substrato apresentaram no 5º mês uma maior EUA. Como o encharcamento contínuo nesta época apresentava taxas fotossintéticas mínimas este tratamento sentiu mais a queda da temperatura, da condutância estomática e da transpiração apresentando EUA menor que nos meses anteriores.

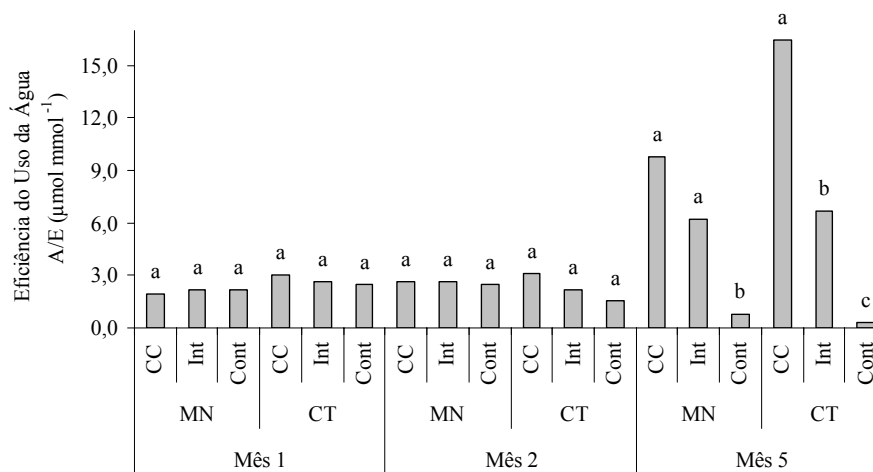


Gráfico 22 Eficiência do uso da água de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuai (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

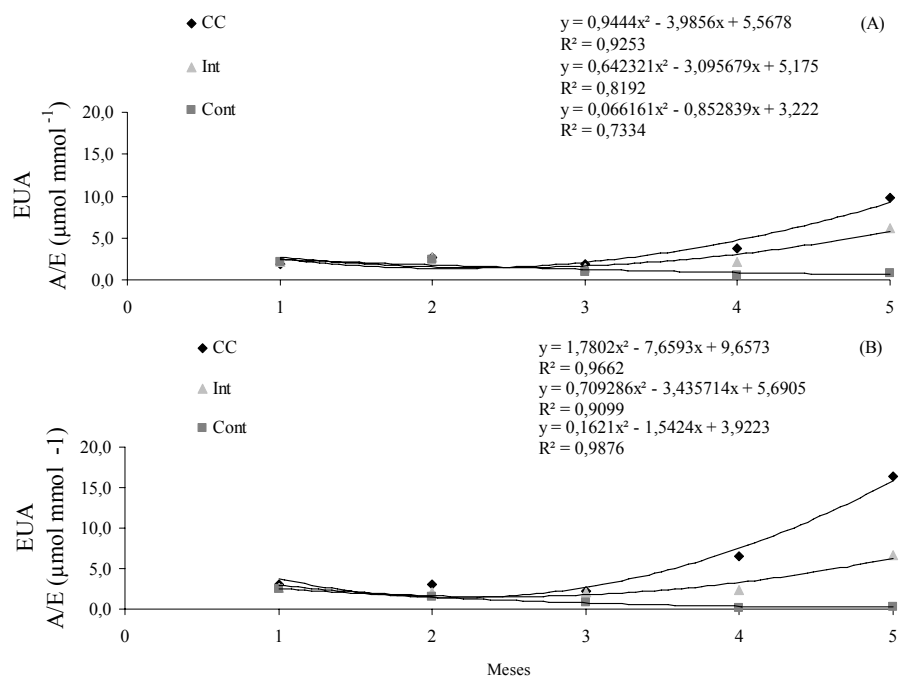


Gráfico 23 Eficiência do uso da água, A/E, de cultivares de café, (A) Mundo Novo (MN) e (B) Catuaí (CT) submetidas por 5 meses a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

Até o momento os dados mostraram a magnitude das trocas gasosas. Por outro lado, a análise da razão entre as concentrações intercelular (C_i) e atmosférica (C_a) de CO_2 (C_i/C_a) pode revelar se o CO_2 está sendo consumido pelas reações de carboxilação na folha (Gráfico 24). O que se percebe aos dois meses de estresse é que a cultivar Catuaí apresentou uma maior razão, quando sob encharcamento contínuo. Já na Mundo Novo esta maior relação somente foi observada aos 5 meses após a indução do estresse. Considerando-se que a concentração de CO_2 atmosférica manteve-se constante (Gráfico 21), o aumento na relação C_i/C_a deveu-se apenas a variações na concentração intercelular de

carbono (C_i). Uma vez que não houve diferenças significativas na condutância estomática e na transpiração das plantas controle e estressadas aos cinco meses de indução do estresse, os dados revelam que a queda na fotossíntese (Gráfico 16) estava diretamente relacionada à queda na atividade metabólica das reações de carboxilação. Desse modo, se a concentração intercelular de CO_2 está aumentando pode-se deduzir que o CO_2 que estava chegando às células do mesofilo não estava sendo fixado na fase carboxilativa, ocorrência de limitação bioquímica, possivelmente por danos na estrutura da Rubisco ou redução na regeneração da Ribulose 1,5-bifosfato (RuBP) (LIAO; LIN, 2001).

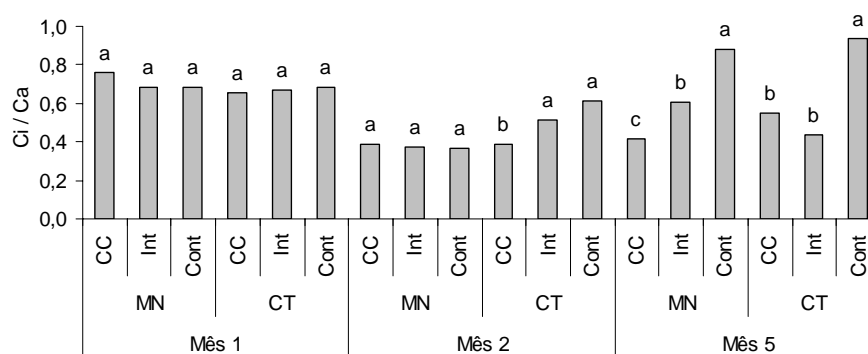


Gráfico 24 Razão entre as concentrações intercelular (C_i) e atmosférica (C_a) de CO_2 de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuai (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

4.3 Carboidratos

A análise de carboidratos nas folhas de mudas de Mundo Novo revelou, em comparação ao controle, um maior teor de açúcares redutores aos dois e aos cinco meses de encharcamento contínuo (Gráfico 25A). O teor de amido não diferiu do controle para este tratamento (Gráfico 26A). O encharcamento intermitente promoveu uma elevação nos teores desses carboidratos somente aos cinco meses de tratamento. Nas raízes, o estresse contínuo elevou os teores de açúcares redutores aos dois meses de tratamento (Gráfico 25B) e reduziu a concentração de amido aos cinco meses (Gráfico 26B). Quando o encharcamento foi intermitente, houve um aumento nos teores de carboidratos somente aos dois meses de estresse.

Considerando-se as folhas de Catuaí, a única diferença significativa quando as mudas estavam submetidas ao encharcamento contínuo ocorreu com a elevação dos teores de açúcares redutores aos cinco meses de tratamento (Gráfico 25A). Nas raízes, este tratamento diminuiu os teores de amido avaliados nas duas épocas (Gráfico 26B). Quando o estresse foi intermitente a única diferença observada foi aos dois meses, quando este tratamento elevou os teores de amido nas raízes.

De maneira geral, observa-se que os teores de açúcares redutores e de amido nas folhas e raízes das mudas de café sob excesso de água foram maiores ou, no mínimo, iguais àqueles observados nas plantas controle. Como as taxas fotossintéticas foram menores nas mudas sob encharcamento (Gráfico 15), conclui-se que esse acúmulo de açúcares redutores ocorreu em função do menor crescimento desses órgãos.

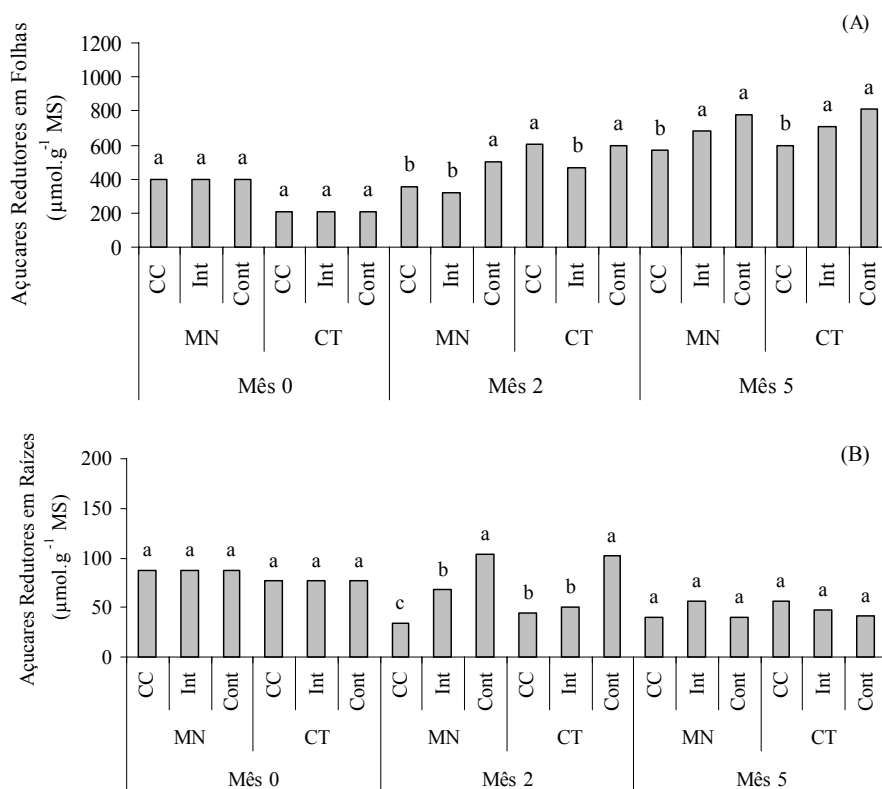


Gráfico 25 Concentração de açúcares redutores em folhas (A) e raízes (B) de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

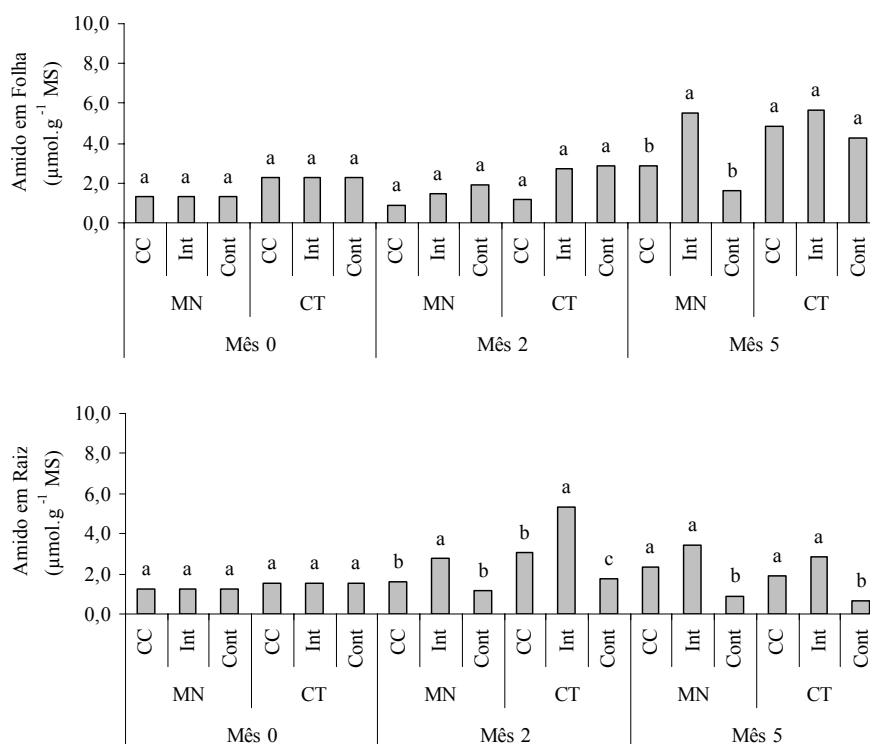


Gráfico 26 Concentração de amido em folhas (A) e raízes (B) de cultivares de café Mundo Novo (MN) e Catuaí (CT) submetidas a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont). As letras comparam as médias entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

Zanandrea et al. (2010) observaram que plantas submetidas a solos encharcados apresentaram concentrações elevadas de carboidratos nas folhas e raízes de Sesbânia, com concentrações na maioria dos casos superiores a das plantas controle. O acúmulo de açúcares solúveis nas raízes das plantas sob alagamento do solo tem sido relatada como um mecanismo de tolerância ao estresse (LIAO; LIN 2001; HENRIQUE et al., 2010). Desse modo, mudas de

café, a exemplo de Sesbânia, provavelmente armazenam açúcares em seus tecidos durante o período de inundação, o que pode ser uma importante adaptação metabólica para superar as condições de normoxia após a inundação.

O alagamento reduz a condutância estomática diminuindo assim a aquisição de carbono por meio da fotossíntese. Por outro lado, a translocação de açúcares solúveis das folhas para as raízes é bastante afetada pelo alagamento, e é drasticamente reduzida em espécies não-tolerantes (KOZLOWSKI, 1997; CARVALHO; ISHIDA, 2002). Deste modo, os açúcares solúveis produzidos na fotossíntese tendem a se acumular nas folhas, e não são translocados para as raízes, onde são necessários para manter a via glicolítica em funcionamento. Portanto, a maior disponibilidade de substrato respiratório, como a glicose, pode ser determinante na sobrevivência dos tecidos das raízes em ambientes anóxicos (VARTAPETIAN; JACKSON, 1997). No metabolismo das plantas sob baixa disponibilidade de oxigênio, a fosforilação oxidativa das mitocôndrias é bloqueada, e as células sofrem inevitavelmente a fermentação anaeróbica, substituindo assim o ciclo de Krebs no cumprimento por demandas celulares de ATP, proporcionando um rendimento líquido de 2 ATPs por molécula de glicose. Esta energia, 18 vezes menor que aquela produzida por plantas sob normoxia, é essencial para manter o metabolismo em nível basal, sendo, por isso, necessárias grandes quantidades de açúcares nos tecidos das raízes, para que possa ser gerado ATP suficiente para manter as células funcionando em condições hipóxicas (VARTAPETIAN, 1991; VARTAPETIAN; JACKSON, 1997; IRFAN et al., 2010).

Os açúcares solúveis, principalmente sacarose, glicose e frutose, também parecem desempenhar um papel importante na manutenção das funções de todas as células vivas (CARVALHO; ISHIDA, 2002; HENRIQUE et al., 2010).

4.4 Avaliações anatômicas

Um importante aspecto para a sobrevivência das espécies em ambientes inundáveis refere-se às adaptações anatômicas das plantas à baixa disponibilidade de O₂. Adaptações morfológicas expressas na formação de raízes adventícias, lenticelas hipertrofiadas e aumento na formação de aerênquima são frequentes em espécies tolerantes à hipoxia (SANTIAGO; PAOLI, 2007). Essas adaptações minimizam os efeitos da baixa disponibilidade de O₂ nos processos fisiológicos em algumas espécies tropicais (NUÑEZ-ELISEA et al., 1999). Para as folhas do cafeeiro, considerando-se o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, o índice estomático, a funcionalidade dos estômatos, as espessuras do parênquima paliçádico e esponjoso, as espessuras da epiderme adaxial e abaxial e, nas raízes, a espessura do córtex e do cilindro central, verifica-se que nenhuma destas características anatômicas sofreram alterações significativas quando as mudas estavam sob regime de saturação hídrica (Tabela 1). Também não foi visualizada a formação de aerênquimas nas raízes e nem lenticelas ou rachaduras no caule das mudas submetidas ao encharcamento.

Em algumas espécies arbóreas a plasticidade morfoanatômica está intrinsecamente relacionada à adaptabilidade vegetal às condições ambientais adversas. (ZANANDREA et al., 2010). Justo et al. (2005), estudando *Xylopia brasiliensis*, concluíram que as características anatômicas das folhas apresentaram plasticidade de resposta em função do estágio de desenvolvimento da planta e das condições ambientais.

Em trabalho realizado sobre avaliações anatômicas foliares em mudas de café ‘Catuai’ e ‘Siriema’ submetidas ao estresse hídrico, Grisi et al. (2008) não encontraram modificações na anatomia foliar do cafeeiro. No entanto a anatomia foliar do cafeeiro demonstra plasticidade para fatores como as condições de radiação, alterando as espessuras do parênquima paliçádico e esponjoso,

dimensões estomáticas entre outras (GOMES et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2006).

Os dados obtidos nesta pesquisa revelam que, assim como mudas de café submetidas ao déficit hídrico, a tolerância de mudas de café ao encharcamento não está relacionada a adaptações anatômicas ou morfológicas tanto das folhas quanto do caule e das raízes.

Tabela 1 Médias das avaliações anatômicas de folhas; diâmetro estomático polar e equatorial, índice estomático (I.E.), funcionalidade dos estômatos (Fun), espessura dos parênquimas paliçádicos e lacunoso e espessura da epiderme adaxial e abaxial; e radiculares; espessura do córtex e do cilindro central; de cultivares de café, Mundo Novo (MN) e Catuai (CT), submetidas por 5 meses a três condições de disponibilidade de água no substrato: capacidade de campo (CC), encharcamento intermitente (Int) e encharcamento contínuo (Cont)

Tempo	Cultivar	R.H	Folhas								Raízes	
			Estômatos				Espessura (µm)				Espessura (µm) Córtex	Diâmetro (µm) Cilindro
			Diâmetro(µm)		I.E.	Fun.	Epiderme		Parênquima			
Polar	Equatorial	Adaxial	Abaxial	Paliçádico			Lacunoso					
0	MN	CC	33,9 _{NS}	20,7 _{NS}	11,6 _{NS}	1,63 _{NS}	35,4 _{NS}	24,9 _{NS}	78,1 _{NS}	278,9 _{NS}	272,3 _{NS}	210,5 _{NS}
		Int	33,9 _{NS}	20,7 _{NS}	11,6 _{NS}	1,63 _{NS}	35,4 _{NS}	24,9 _{NS}	78,1 _{NS}	278,9 _{NS}	265,9 _{NS}	207,4 _{NS}
		Cont	33,9 _{NS}	20,7 _{NS}	11,6 _{NS}	1,63 _{NS}	35,4 _{NS}	24,9 _{NS}	78,1 _{NS}	278,9 _{NS}	308,9 _{NS}	216,0 _{NS}
	CT	CC	31,6 _{NS}	19,8 _{NS}	14,0 _{NS}	1,60 _{NS}	29,7 _{NS}	22,2 _{NS}	70,2 _{NS}	266,1 _{NS}	275,4 _{NS}	224,5 _{NS}
		Int	31,6 _{NS}	19,8 _{NS}	14,0 _{NS}	1,60 _{NS}	29,7 _{NS}	22,2 _{NS}	70,2 _{NS}	266,1 _{NS}	291,1 _{NS}	241,5 _{NS}
		Cont	31,6 _{NS}	19,8 _{NS}	14,0 _{NS}	1,60 _{NS}	29,7 _{NS}	22,2 _{NS}	70,2 _{NS}	266,1 _{NS}	291,1 _{NS}	241,5 _{NS}
2	MN	CC	31,8 _{NS}	20,0 _{NS}	12,9 _{NS}	1,60 _{NS}	32,9 _{NS}	27,1 _{NS}	72,8 _{NS}	255,2 _{NS}	285,4 _{NS}	239,9 _{NS}
		Int	30,4 _{NS}	18,2 _{NS}	12,8 _{NS}	1,66 _{NS}	34,0 _{NS}	24,8 _{NS}	75,6 _{NS}	296,4 _{NS}	240,0 _{NS}	224,3 _{NS}
		Cont	30,2 _{NS}	18,0 _{NS}	12,5 _{NS}	1,68 _{NS}	37,0 _{NS}	22,3 _{NS}	75,2 _{NS}	267,1 _{NS}	215,8 _{NS}	195,1 _{NS}
	CT	CC	26,0 _{NS}	15,4 _{NS}	12,7 _{NS}	1,68 _{NS}	31,9 _{NS}	22,2 _{NS}	66,9 _{NS}	336,7 _{NS}	210,7 _{NS}	191,3 _{NS}
		Int	24,2 _{NS}	16,0 _{NS}	13,3 _{NS}	1,52 _{NS}	33,3 _{NS}	20,2 _{NS}	69,3 _{NS}	316,1 _{NS}	245,4 _{NS}	234,9 _{NS}
		Cont	24,4 _{NS}	14,2 _{NS}	12,2 _{NS}	1,72 _{NS}	31,7 _{NS}	21,6 _{NS}	65,6 _{NS}	296,7 _{NS}	306,7 _{NS}	252,8 _{NS}
5	MN	CC	34,2 _{NS}	21,6 _{NS}	13,1 _{NS}	1,59 _{NS}	30,9 _{NS}	29,2 _{NS}	93,9 _{NS}	249,1 _{NS}	241,9 _{NS}	201,5 _{NS}
		Int	34,5 _{NS}	21,4 _{NS}	13,7 _{NS}	1,61 _{NS}	35,4 _{NS}	26,1 _{NS}	89,9 _{NS}	258,2 _{NS}	258,5 _{NS}	212,9 _{NS}
		Cont	34,2 _{NS}	20,8 _{NS}	13,3 _{NS}	1,71 _{NS}	35,8 _{NS}	28,3 _{NS}	104,2 _{NS}	259,8 _{NS}	268,1 _{NS}	210,0 _{NS}
	CT	CC	33,1 _{NS}	20,1 _{NS}	13,8 _{NS}	1,65 _{NS}	29,8 _{NS}	20,3 _{NS}	85,3 _{NS}	268,3 _{NS}	285,0 _{NS}	293,6 _{NS}
		Int	31,8 _{NS}	19,8 _{NS}	13,2 _{NS}	1,62 _{NS}	31,5 _{NS}	22,0 _{NS}	87,4 _{NS}	260,9 _{NS}	310,1 _{NS}	301,6 _{NS}
		Cont	31,7 _{NS}	19,7 _{NS}	13,6 _{NS}	1,62 _{NS}	26,7 _{NS}	20,7 _{NS}	79,4 _{NS}	283,5 _{NS}	284,5 _{NS}	244,0 _{NS}
C.V. (%)			8,34	9,56	8,22	6,8	7,82	7,75	11,58	9,62	20,89	20,6

Médias comparadas entre os regimes hídricos em cada época para cada cultivar, com base no teste de Scott-Knott sendo nenhuma das variáveis analisadas significativas (NS).

5 CONCLUSÃO

As mudas de café arábica suportaram até dois meses de encharcamento, sendo que aos cinco meses, após a indução dos tratamentos, ambas cultivares apresentaram respostas equiparadas com menor crescimento e desenvolvimento tanto da parte aérea como das raízes.

Plantas expostas ao encharcamento contínuo e intermitente apresentaram menor atividade carboxilativa na etapa bioquímica da fotossíntese.

O encharcamento do solo, por um período de 5 meses, não comprometeu os pigmentos fotossintéticos em mudas de café.

Sob estresse hídrico mudas de café Mundo Novo IAC 379-19 e Catuaí Vermelho IAC 44 não apresentaram plasticidade morfoanatômica e, assim, a tolerância do cafeeiro ao excesso hídrico não está relacionada a adaptações anatômicas ou morfológicas tanto das folhas quanto do caule e das raízes.

REFERÊNCIAS

ALFONSI, R. R. **Histórico climatológico da cafeicultura brasileira**. Informativo Garcafé. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 4 p.

ALVES, M. E. B. et al. Crescimento do cafeeiro sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, ago. 2000.

ALVIM, P. T. Moisture stress as a requirement for flowering of coffee. **Science**, Washington, v. 132, n. 3423, p. 354, Aug. 1960.

ANTUNES, R. C. B. et al. Área de observação e pesquisa em cafeicultura irrigada na região das vertentes de Minas Gerais – resultados de 1998/2000. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa café/Minasplan, 2000. p. 823-826.

ARRUDA, F. B.; GRANDE; M. A. Fator de resposta da produção do cafeeiro ao déficit hídrico em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, p. 139-145, abr. 2003.

ARRUDA, G. M. T.; CALBO, M. E. R. Efeitos da inundação no crescimento, trocas gasosas e porosidade radicular da carnaúba (*Copernicia prunifera* (Mill.) H.E. Moore). **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 219-224, jun. 2004.

ASSAD, E.D et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.

BAILEY-SERRES, J.; VOESENEK, L. A. C. J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, p. 313-339, Jun. 2008.

BARBOSA, J. N. et al. Distribuição espacial de cafés do estado de minas gerais e sua relação com a qualidade. In: VI SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2009, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2009.

BARROS, R. S. et al. Determinação da área de folhas do café (*Coffea arabica* L cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, mar. 1973.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

CARVALHO, C. J. R.; ISHIDA, F. Y. Respostas de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth) jovens ao alagamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 9, p. 1231-1238, set. 2002.

CHAVES, M. M. Effects of water déficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 234, p. 1-16, Jan. 1991.

CLARK, R. N.; HILER, E. A. Plant measuements as indicators of crop water déficits. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 4, p. 466-469, Aug. 1973.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira, Café Safra 2011, primeira estimativa, janeiro/2011**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2011. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_52_41_bol_etim_cafe_1a_estimativa_safra_2011.pdf. Acesso em: 01 fev. 2011.

COSTA, A. M. et al. O efeito da inundação do solo sobre o crescimento inicial de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake, guapuruvu. **Natureza on line**, Santa Teresa, v. 4, n.1, p. 7-13, jun. 2006.

CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**: Parte I – Células e tecidos. 2. ed. São Paulo: Roca, 1986. 304 p.

DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 1- 6, Apr. 2004.

DaMATTA, F. M.; MAESTRI, M. Photoinhibition and recovery of photosynthesis in *Coffea arabica* and *C. canephora*. **Photosynthetica**, Prague, v. 34, n. 3, p. 439-446, Sept. 1997.

DaMATTA, F. M.; RENA A. B. Tolerância do café à seca. In: ZAMBOLIN, L. **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade**. Viçosa: UFV, 2001. p. 65-100.

DaMATTA, F.M.; RENA, A. B. Relações hídricas no cafeeiro. In: Encarnação, R. O.; Afonso Jr, P. C.; Rufino J. L. S. **I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**. Brasília: Embrapa Café, 2002, p.9-44.

DAVIES, F.S.; FLORE, J.A. Flooding, gas exchange and hydraulic conductivity of highbush blueberry. **Physiologia Plantarum**, Lund, v. 67, n. 4, p. 545-551, Aug. 1986.

DEUNER, S. et al. Peróxido de hidrogênio e ácido ascórbico influenciando a atividade de enzimas antioxidantes de mudas de cafeeiro. **Revista Ceres**, Viçosa, V. 55, n. 2, p. 135-140, mar. 2008.

DIAS, N. S. et al. Água no meloeiro. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**, Pelotas, v. 27, set. 2004.

DIAS, P. C. et al. Crescimento e alocação de biomassa em duas progênes de café submetidas a déficit hídrico moderado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2005. 1CD-ROM.

DISCHE, Z. General color reactions. In: WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. **Methods of carbohydrate chemistry**. London: Academic Press, 1962. p. 484-488.

DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism : injury and acclimatation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**. Palo Alto, v. 48, p. 223-250, Jun. 1997.

EASTERLING, W.E. et al. Food, fibre and forest products. In: PARRY, M.L. et al. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 273-313.

EVANGELISTA A. W. P.; CARVALHO L. G.; SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p. 445-452, dez. 2002.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Influência do sombreamento nas características fisiológicas envolvidas no crescimento de espécies de coffeea. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAP, 1994. p. 289-290. 1 CD-ROM.

FARIA, M. A. et al. Influência das lâminas de irrigação na maturação e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) – 1ª colheita. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DE CAFÉS DO BRASIL, 2000. Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG: 2000. 1 CD-ROM.

FERNANDES, A.L.T. et al. Deficiência hídrica e uso de granulados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n. 3, p. 376-381, dez. 2000.

FERNANDES, A.L.T; SANTINATO, R.; SANTO, J.E.; AMARAL, R. Comportamento vegetativo-reprodutivo do cafeeiro catuaí cultivado no Oeste Baiano sob irrigação por pivô central. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1., 1998, Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU/DEAGO, 1998. 1 CD-ROM.

FERREIRA, D. F. **Sistema Para Análise De Variância Para Dados Balanceados (SISVAR)**. Lavras, 1999. 92p.

GOMES, I.A.C. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de Coffea arabica L. cv. “Oeiras” sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, fev. 2008.

GOMIDE, M. B. et al. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-123, dez. 1977.

GRENHO, A. I. S. **Influência do estresse hídrico na produtividade e qualidade de cinco genótipos de café**. 2007. 29 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

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, dez. 2008.

GUERRA, A. F. et al. Novo enfoque para o sistema de produção de café irrigado do Oeste da Bahia. In: ANUÁRIO DA CAFEICULTURA DO CERRADO DA BAHIA, 7., 2007, Luis Eduardo Magalhães. **Anais...** Barreiras/BA: AIBA – Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia. p. 99-106. 2007b.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **Irrigação & Tecnologia Moderna – Item**, Brasília, n.º 73, p.52-61, mar. 2007a.

GUERRA, A. F. et al. **Irrigação do Cafeeiro no Cerrado**: estratégia de manejo de água para uniformização de florada. Planaltina: Embrapa Cerrados, Comunicado técnico 122, dez. 2005. 4 p.

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

HENRIQUE, P.C. et al. Características fisiológicas e anatômicas de plantas de sibipiruna submetidas à hipoxia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 1, p. 70-76, fev. 2010.

IRFAN, M. et al. Physiological and biochemical changes in plants under waterlogging. **Protoplasma**, Wien, v. 241, n. 1, p. 3-17, May 2010.

JENSEN, M. E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph. Madison, American Society of Agricultural Engineers. 1983. 829 p.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. 2. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1940. 523 p.

JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, A. F. O. **Safira: sistema de análise de fibras e raízes**. São Carlos: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária, 2008. 21p.

JUSTO, C. F. et al. Plasticidade anatômica das folhas de *Xilopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 112-123, mar. 2005.

KOZLOWSKI, T. T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology Monograph**, Victoria, n. 1, p. 1-29, Mar. 1997.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica: Universidade Rural, 1997, 127 p.

LABOURIAU, L. G.; OLIVEIRA, J. G.; SALGADO- LABOURIAU, M. L. Transpiração de *Schizolobium parahyba* (Vell) Toledo I. Comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 237-257, dez. 1961.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Effect of flood stress on morphology and anaerobic metabolism of *Momordia charantia*. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 105-113, Jan. 1995.

LIAO, C. T.; LIN, C. H. Physiological adaptation of crop plants to flooding stress. **Proceedings of the National Science Council**, Taipei, v.25, n. 3, p.148-157, July 2001.

LICHTENTHALER, H.K.; BUSCHMANN C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. In: WROLSTAD, R. E. et al. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. Davis: John Wiley & Sons, 2001. F 4.3.1 – F 4.3.8.

MACHADO, E. C. et al. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranja 'Valência'. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 53-58, mar. 2002.

MARTIM, S. A. **Pulverização do cafeeiro com Açúcar: potencial de uso em mudas submetidas à deficiência hídrica e na recuperação de plantas atingidas por Glyphosate**. 2003. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

MARTINS, C. C. et al. Crescimento inicial do café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.3, p. 193-201, set. 2006.

MARTINS, C. C. et al. Drip irrigation management on coffee crop (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, Jun. 2007.

MELO, E. F. **Modificações ecofisiológicas, bioquímicas e anatômicas em cafeeiro progênie siriema sob deficiência hídrica**. 2008. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MIELKE, M.S. et al. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa Americana* seedlings to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 50, n. 3, p. 221-231, Dec. 2003.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v.31, n.3, p. 426-428, Mar. 1959.

NASCIMENTO, E. A. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 03, p. 852-857, jun. 2006.

NOGUEIRA, R. M. C.; ARAÚJO, E. de L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 500 p.

NÚÑEZ-ELISEA, R. et al. Influence of flooding on net CO₂ assimilation, growth and stem anatomy of *Annona* species. **Annals of Botany**, Exeter, v.84, n. 6, p. 771-780, Dec.1999.

PEREIRA, F. J. et al. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p.1649- 1656, dez. 2008.

PEZESHKI, S.R. Wetland plant responses to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 46, n. 3, p. 299-312, Dec. 2001.

PIMENTEL, J. S. et al. Estimation of transpiration in coffee crop using heat dissipation sensors. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 187-195, Feb. 2010.

ROTONDANO, A.K.F. **Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade dos grãos do cafeeiro (Coffea arabica L.) sob diferentes lâminas de irrigação**. 2004. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

SANTIAGO, E. F.; PAOLI, A. A.S. Respostas morfológicas em *Guibourtia hymenifolia* (Moric.) J. Leonard (Fabaceae) e *Genipa americana* L. (Rubiaceae), submetidas ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 30, n. 1, p. 131-140, mar. 2007.

SCOTT A. J.; KNOTT M. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Malden, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SILVA, S. D. A. et al. Combining the ability of maize genotypes for flooding tolerance. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.2, p. 391-396, Apr. 2006.

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

SOARES, J. M.; COSTA, F. F.; SANTOS, C. R. Manejo de irrigação em fruteiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. 1 CD-ROM.

VARTAPETIAN, B. B. Flood-sensitive plants under primary and secondary anoxia: ultrastructural and metabolic responses. In: JACKSON, M. B.; DAVIS, D. D.; LAMBERS, H. **Plant life under oxygen deprivation: ecology, physiology and biochemistry**. Amsterdam: The Hague, SPB Academic, 1991. p. 201-216.

VARTAPETIAN, B. B.; JACKSON, M. B. Plant adaptations to anaerobic stress. **Annals of Botany**, London, v. 79, Suppl 1, p. 3-20, Jan. 1997.

VOESENEK, L. A. C. J. et al. How plants cope with complete submergence. **New Phytologist**, Malden, v. 170, n. 2, p. 213-226, Mar. 2006.

YORDANOV, N.D.; ALEKSIEVA, K.; MANSOUR, I. Improvement of the EPR detection of irradiated dry plants using microwave saturation and thermal treatment. **Radiation Physics and Chemistry**. Oxford, v. 73, n. 1, pp. 55-60, May 2005.

ZANANDREA, I. et al. Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. **Australian Journal of Botany**. Collingwood, v. 57, n. 8, p. 661-669, Dec. 2009.

ZHANG J.; DAVIES W.J. Chemical and hydraulic influences on the stomata of flooded plants. **Journal of Experimental Botany**. Oxford, v. 37, n. 10, p. 1479-1491, Apr.1986.

ZHANG, J.; ZHANG, X. Can early wilting of old leaves account for much of the ABA accumulation in flooded pea plants? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 45, n. 9, p. 1335-1342, May 1994.