

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEIEIRO CONILON

MARIA CHRISTINA JUNGER DELÔGO DARDENGO

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do
Espírito Santo, como parte das
exigências do Programa de
Pós-Graduação em Produção
Vegetal, para obtenção do
título de Mestre em Produção
Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis

Co-orientadores: Prof. Dr. José Eduardo M. Pezzopane
Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos

**ALEGRE
ESPÍRITO SANTO - BRASIL
FEVEREIRO – 2006**

INFLUÊNCIA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO CRESCIMENTO INICIAL DO CAFEEIRO CONILON

MARIA CHRISTINA JUNGER DELÔGO DARDENGO

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal do
Espírito Santo, como parte
das exigências do Programa
de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, para
obtenção do título de Mestre
em Produção Vegetal.**

Aprovada em 24 de fevereiro de 2006.

Prof. Dr. João Batista Pavesi Simão
Escola Agrotécnica Federal de Alegre

Dr. José Francisco T. do Amaral
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. José Eduardo M. Pezzopane
Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-orientador)

Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos
Universidade Federal do Espírito Santo
(Co-orientador)

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo Nequinha, pelo apoio e companheirismo.

Aos meus filhos, Marina e Lucas, razão maior do meu viver.

Ao meu pai Alceu e à minha irmã Terezinha (*in-memorian*).

À minha mãe Celeyda, exemplo de mulher, dignidade e perseverança.

Ao meu irmão Zeca, pela capacidade de superação e sabedoria.

AGRADECIMENTOS

Reconhecer a importância de colaboradores no meu trabalho científico é, antes de tudo, um ato de agradecimento. Saber que nunca estive sozinha, que minha ausência foi sentida por parentes, familiares e amigos, serviu como motivo para superar as adversidades encontradas. Busquei forças naquilo que me sustenta - a minha formação familiar. Nela se reflete aquilo que sou - essência de princípios e valores que me foram passados por meus pais. Por tudo isso, agradeço primeiro a Deus por sua infinita bondade e a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Edvaldo Fialho dos Reis, por ter decidido a orientar-me. A sua decisão permitiu que eu pudesse realizar o tão sonhado Curso de Mestrado. Aos poucos fui conquistando sua confiança e seu respeito que foram traduzidos em informações e orientações imprescindíveis para bem conduzir este trabalho e, também, pela dedicação e auxílio nas análises dos dados experimentais e organização da dissertação.

Ao Professor Renato Ribeiro Passos, por todo empenho e pronto atendimento nas questões relativas à minha dissertação e demais atividades;

Ao Professor José Eduardo Macedo Pezzopane, pelas preciosas informações e disponibilidade de equipamentos essenciais ao desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Diretor Geral, Professor Edson Fosse Filho, e ao Vice-Diretor, Professor Carlos Humberto Sanson Moulin, da Escola Agrotécnica Federal de Alegre-ES (EAFA-ES), pelo apoio e incentivo.

Aos colegas da EAFA-ES, Jéferson, Maurício e Fábio, que se revezaram para me substituir nas tarefas diárias.

Ao Raul, responsável pelo viveiro da EAFA-ES, pela produção e seleção das mudas utilizadas neste trabalho científico.

Aos funcionários da ARCEL (Aracruz Celulose), Edmundo, Júlio e Jurandir, pela realização das medidas de trocas gasosas com o IRGA. Ao Dr. Ricardo Penchel, pelas informações sobre a bomba de Scholander.

Ao Professor José Frederico Centurion, que me orientou na determinação da curva de retenção de água no solo, com envio do programa específico, o que facilitou todo o procedimento e entendimento. Isso tudo se deu sem ao menos me conhecer.

Aos amigos Adriano, Sandro e Teóphilo. Saibam que, a ajuda de vocês foi fundamental tanto para o meu aprendizado nas disciplinas, quanto na condução do experimento. As trocas de informações, esclarecimentos e inúmeras dicas foram essenciais ao meu retorno à Universidade. Tenho certeza que desenvolvemos uma amizade (interessada ou não) que irá perdurar.

Aos demais colegas de mestrado, especialmente ao meu ex-aluno Fabrício.

Aos alunos da Graduação, Daniela, Pauliene, Eduardo e tantos outros que, em algum momento, deram sua parcela de contribuição na obtenção dos dados experimentais.

Ao meu amigo Rogério, que esteve presente desde a implantação do experimento até análise de dados, quando auxiliou na elaboração de sofisticados gráficos.

Aos funcionários do NEDTEC pela presteza e colaboração.

Ao Nequinho, fica difícil expressar, por palavras, tudo que fez para que sentisse segura nesta nova investida da minha vida. Tenho consciência de que não foi fácil para ele conviver com minhas novas atribuições, estresses e ausências. Esteve presente em todas as tarefas, principalmente nas mais difíceis, quero dizer, nas pesagens dos vasos. Daí chamá-lo, carinhosamente, de meu “escravo branco“. A sua participação foi decisiva, pois não conseguiria desenvolver, de forma eficiente, toda a metodologia proposta. A rotina diária nos aproximou e, tenho certeza que, ao final saímos fortalecidos em todos os aspectos, principalmente na vida e no amor.

BIOGRAFIA

MARIA CHRISTINA JUNGER DELÔGO DARDENGO, filha de Celeyda Junger Delôgo e Alceu Delôgo, nasceu em Jerônimo Monteiro, estado do Espírito Santo, no dia 24 de outubro de 1959.

Em 1977, ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, curso de Agronomia, diplomando-se em dezembro de 1980.

Em março de 1981, iniciou sua atividade profissional na Escola Agrotécnica de Santa Teresa-ES, Instituição Federal - Ministério da Educação, vinculada à Secretaria de Educação Média e Tecnológica - SEMTEC, exercendo a função de Professora de 1° e 2° Graus. Lá esteve até 1987, quando foi transferida para Escola Agrotécnica Federal de Alegre-ES.

Em 1984, concluiu o Curso de Formação de Professores da Parte Especial do Currículo do Ensino do 2° Grau na Escola Superior de Lavras - MG, conferindo-lhe a Habilitação em Técnicas Agropecuárias.

Em 1990, concluiu o Curso de Especialização de Engenharia de Irrigação – Pós-Graduação “Lato Sensu” por Tutoria à Distância, na Universidade Federal de Viçosa - MG.

Em fevereiro de 2004 iniciou o curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), tendo sido concluído em 24 de fevereiro de 2006, conferindo-lhe o título de Mestre em Produção Vegetal.

CONTEÚDO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1- A CULTURA DE CAFÉ	3
2.2- CAFEICULTURA IRRIGADA.....	6
2.3- DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DO SOLO.....	8
2.4- CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO.....	10
2.5- POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1- LOCAL, CULTURA E SOLO.....	14
3.2- CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO.....	17
3.3- ÁGUA DISPONÍVEL E LÂMINA DE IRRIGAÇÃO.....	18
3.4- AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO.....	20
3.5- ANÁLISES ESTATÍSTICAS	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5. CONCLUSÕES.....	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
7. ANEXO.....	55

RESUMO

DARDENGO, Maria Christina Junger Delôgo, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, Fevereiro de 2006. **Influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro conilon.** Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis. Co-orientadores: José Eduardo Macedo Pezzopane; Renato Ribeiro Passos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da umidade do solo na capacidade de campo determinada nas tensões de 0,006 MPa (CC₁), 0,010 MPa (CC₂) e 0,033 MPa (CC₃) e de diferentes níveis de déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%), no crescimento inicial do cafeeiro conilon e no potencial hídrico foliar medido na antemanhã, em um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, cultivando-se as plantas em vasos de 12 litros durante 255 dias. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, distribuído em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições para cada solo. As avaliações de crescimento foram realizadas a cada 60 dias e os dados analisados pela técnica de superfície de resposta. O teor de umidade do solo na capacidade de campo varia com a tensão adotada em sua determinação. O crescimento do cafeeiro conilon em DH 0% foi superior aos obtidos nos déficits hídricos de 33% e 67% do LV e do PVA. O maior crescimento da cultura foi observado na CC₂ do LV e na CC₁ do PVA. O menor crescimento foi obtido nos déficits hídricos da capacidade de campo determinada na tensão de 0,003 MPa (CC₃) do LV e do PVA, o que inviabiliza a sua

adoção na estimativa da lâmina de irrigação, utilizando-se a câmara de pressão de Richards. O potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{am}) mostrou-se bom indicador do grau de hidratação das plantas. A maior hidratação foliar foi observada em DH 0%, sendo para o LV na CC₂ ($\Psi_{am} = -0,17$ MPa), estando a água retida pelo solo a um potencial matricial (Ψ_m) de $-0,010$ MPa, e para o PVA na CC₁ ($\Psi_{am} = -0,33$ MPa), cujo Ψ_m foi de $-0,006$ MPa. A menor hidratação ocorreu em DH 67% na CC₃ tanto para o LV ($\Psi_{am} = -0,68$ MPa) como para o PVA ($\Psi_{am} = -1,30$ MPa), estando a água retida a um Ψ_m de $-0,20$ MPa, para ambos os solos. Em DH 33% e DH 67% nos níveis de capacidade de campo do LV e do PVA, foram verificadas reduções nos valores da área foliar, altura e diâmetro do caule das plantas. O acúmulo de matéria seca total e potencial hídrico foliar antemanhã observados no LV foram superiores aos do PVA, em todos os níveis de capacidade de campo e déficits hídricos, resultando em maior crescimento inicial do cafeeiro conilon, neste solo.

Palavras-chave: umidade do solo, potencial hídrico foliar, déficit hídrico, crescimento vegetal, cafeeiro.

ABSTRACT

DARDENGO, Maria Christina Junger Delôgo, M.Sc., Federal University of the Espírito Santo, February of 2006. **Influence of the water readiness in the initial growth of the coffee plant conilon.** Major Advisor: Edvaldo Fialho dos Reis. Advisors: José Eduardo Macedo Pezzopane; Renato Ribeiro Passos.

The objective of this work was to evaluate the influence of the soil humidity in the field capacity in the tensions of 0,006 MPa (FC₁), 0,010 MPa (FC₂) and 0,033 MPa (FC₃) and of different levels of water deficits (WD 0%, WD 33% and WD 67%) in the initial growth of the coffee plant conilon and in the leaf water potential measured in the anti-morning, in a Red-Yellow Oxisol (OR) and Red-Yellow Ultisol (URY). The experiment was let vegetation home, being cultivated the plants in vases of 12 liters during 255 days. The adopted experimental design was randomized entirely, mounted in outline of subdivided portions, with three repetitions for each soil. The growth evaluations were achieved each 60 days and the analyzed data by the surface technique of answering. The tenor of soil humidity in the field capacity varies with the adopted tension in its determination. The growth of the coffee plant conilon in WD 0% was higher to the obtained in the water deficits of 33% and 67% of OR and URY. The largest growth of the culture was observed in FC₂ of OR and in FC₁ of URY. The smallest growth was obtained in the water deficits of the certain field capacity in the tension of 0,033 MPa (FC₃) of OR and URY, what unfeasible its adoption in the estimate of the irrigation sheet, being used the camera of pressure of Richards. The

leaf water potential anti-morning (Ψ_{am}) showed to be a good indicator of the degree of hydration of the plants. The largest hydration to foliate was observed in WD 0%, being in CC₂ for OR ($\Psi_{am} = -0,17$ MPa), being the water kept by the soil to a potential matric (Ψ_m) of $-0,010$ MPa and in CC₁ for URY ($\Psi_{am} = -0,33$ MPa), which Ψ_m was the $-0,006$ MPa. To smallest hydration happened in WD 67% and in the FC₃, also for OR ($\Psi_{am} = -0,68$ MPa) as for URY ($\Psi_{am} = -1,3$ MPa), being the water kept of Ψ_m of $-0,20$ MPa, for both soils. In WD 33% and WD 67% in the levels of the capacity of field of OR and URY, they were verified a reduction in the values leaf area, height and diameter of the stem of the plants. The accumulation of total dry matter and leaf water potential anti-morning observed in OR were superior to the of URY, in all of the levels of the field capacity and water deficits, resulting in the larger initial growth of the coffee plant conilon in this soil.

Keywords: soil water content, leaf water potential anti-morning, water deficit, growth vegetable, coffee plant.

1. INTRODUÇÃO

O estado do Espírito Santo destaca-se no cenário nacional como maior produtor de café conilon (*Coffea canephora* Pierre). A espécie é cultivada na maioria dos municípios, envolvendo principalmente pequenos e médios produtores, sendo responsável pela geração de empregos e sustentabilidade econômica.

Com a expansão da cafeicultura para áreas consideradas climaticamente marginais quanto ao déficit hídrico, a irrigação passou a ser uma tecnologia necessária para a garantia da produtividade e qualidade do cafeeiro. Entretanto, a quantificação adequada do volume de água a ser aplicado por determinado método de irrigação nos períodos críticos da cultura, que se situa na fase de máximo crescimento vegetativo e produtivo, tem sido um desafio para os profissionais da área. Para precisa quantificação do fornecimento de água às plantas, é necessário conhecer a relação funcional entre a umidade do solo e o seu potencial matricial no momento da irrigação, conhecida como curva de retenção de água no solo.

As plantas raramente estão em plena hidratação. Elas sofrem déficits hídricos que levam a inibição do crescimento vegetal e da fotossíntese, considerado como principal fator limitante da produtividade do cafeeiro. Assim, torna-se necessário definir quando e quanto irrigar, não proporcionando condições para que as plantas sofram por estresse ou excesso hídrico. O potencial de água na folha medido antes do nascer do sol (antemanhã), quando a planta não estiver transpirando, é um indicativo desse momento, pois há tendência de equilíbrio entre as condições hídricas da planta e do solo.

As pesquisas sobre a disponibilidade hídrica do solo e o potencial de água na folha do cafeeiro conilon são recentes e existe carência de informações,

principalmente, para a variedade Robusta Tropical (EMCAPER 8151). Portanto, é preciso intensificar os estudos sobre a melhor época de irrigação, o método mais eficiente e a quantidade de água que propicia melhor desempenho da cultura sem comprometimento nos custos de produção. As medidas do potencial hídrico foliar são de fundamental importância para caracterização dos níveis críticos de hidratação do cafeeiro conilon, possibilitando assim, um manejo de irrigação mais eficiente.

A umidade do solo é um dos fatores limitantes da produtividade agrícola. A capacidade de campo, considerada como o máximo conteúdo de água retido pelo solo depois que o excesso tenha sido drenado, representa o limite superior da água disponível do solo para as plantas. Muitas tentativas têm sido feitas para associar a capacidade de campo com o conteúdo de água retido no solo em equilíbrio com as tensões de 0,006 MPa, 0,010 MPa e 0,033 MPa. Contudo, ainda não há uma posição consensual, entre os pesquisadores, quanto à correta tensão associada à capacidade de campo para diferentes solos, quando se utiliza a câmara de pressão de Richards.

Levando-se em consideração estes aspectos, o presente trabalho tem o seguinte objetivo geral:

- Avaliar a influência da umidade na capacidade de campo determinada nas tensões de 0,006 MPa (CC_1), 0,010 MPa (CC_2) e 0,033 MPa (CC_3) e de diferentes níveis de déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) no crescimento inicial do cafeeiro conilon e no potencial hídrico foliar medido antes do nascer do sol, em dois solos (Latosolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1- A CULTURA DO CAFÉ

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café, apresentando como principais produtores os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Bahia e Rondônia (AGRIANUAL - FNP, 2006). A safra de café, 2005/2006, segundo a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento), fechou em 32,94 milhões de sacas, porém, uma safra reduzida em função da bi-anualidade, sendo 23,82 milhões de sacas de café arábica e 9,12 milhões de sacas de robusta, o que representa cerca de 30% da produção mundial, estimada em 115 milhões de sacas de 60 kg. A produção brasileira, como também a mundial, poderia ser bem mais significativa, caso condições desfavoráveis ao cultivo que reduzem a sua produtividade não ocorressem, particularmente o suprimento limitado de água (Dias et al., 2005).

O Espírito Santo destaca-se como o maior produtor brasileiro de café conilon (*Coffea canephora* Pierre), apresentando aproximadamente 346 mil hectares plantados, sendo responsável por 70% da produção nacional. A espécie é cultivada na maioria dos municípios, envolvendo, principalmente, pequenos e médios produtores, totalizando cerca de 33.477 propriedades, 59,6% das 56.169 produtoras, que têm no café sua principal fonte de renda (SEBRAE, 2006).

O café é uma planta tropical adaptada a regiões equatoriais baixas, quentes e úmidas. É originário da África (Congo Belga e Costa do Marfim), sendo introduzido no Brasil em 1727, trazido da Guiana Francesa. No estado do Espírito Santo, mais

precisamente em Vitória, o produto chegou nos primórdios do século XIX, pela região Sul, provavelmente como uma expansão das áreas de cultivo do Norte fluminense. A partir da década de 1960, e mais fortemente em 1971, com o plano de renovação e revigoração da lavoura cafeeira, observaram-se os primeiros plantios comerciais de café robusta (conilon), no município de São Gabriel da Palha, que se expandiram para toda região e, posteriormente, para o Sul do Estado (Schmidt et al., 2004). O cafeeiro conilon pertence à espécie *Coffea canephora* Pierre, seção *Eucoffea*, subseção *Erythrocoffea*, genericamente conhecido por café robusta, como o nome sugere, tem origem no elevado vigor (robustez) das plantas (Matiello, 1998).

Desde 1985, pesquisas na área de melhoramento genético em populações de café conilon, pertencentes à espécie *Coffea canephora*, foram desenvolvidas pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER). Como resultados desse programa, foram lançadas e recomendadas em 1993 as primeiras variedades clonais para o Espírito Santo, denominadas, respectivamente: EMCAPA 8111 – maturação precoce, EMCAPA 8121 – maturação intermediária; EMCAPA 8131 – maturação tardia. Em 1999, foi lançada a variedade clonal; EMCAPA 8141 - Robustão Capixaba, tolerante à seca. Posteriormente, em 2000, foi lançada a variedade EMCAPER 8151 - Robusta Tropical, de propagação por sementes, mais rústica, com ampla base genética e adaptada às diversas condições de cultivo no Estado. Mais recentemente, em 2004, foi lançada a variedade clonal; INCAPER 8142 - Conilon Vitória. Essas novas variedades têm sido a base para a renovação do parque cafeeiro da espécie no Espírito Santo e contribuído, de forma efetiva, para o avanço tecnológico da cultura em todo o País (Fonseca et al., 2004).

O crescimento do cafeeiro é influenciado por vários fatores, destacando-se os genéticos e edafoclimáticos. Além do acúmulo de matéria seca, pode-se também expressar o crescimento de uma espécie utilizando a matéria seca produzida num período de tempo, por meio da taxa de crescimento absoluto (TCA) e da taxa de crescimento relativo (TCR). O primeiro índice representa a matéria seca produzida por unidade de área ou de planta durante certo tempo e o segundo representa a dinâmica de acúmulo de matéria seca, ao longo do tempo, relacionada à sua matéria seca inicial. Assim, a taxa de crescimento relativo representa o acúmulo de matéria seca por unidade de matéria seca e por unidade de tempo (Bragança et al., 2005).

A periodicidade do crescimento vegetativo do cafeeiro está associada a diversos fatores, tais como: temperatura, fotoperíodo, irradiância, suprimento de água

e nutrientes. Em geral, altas intensidades luminosas, déficits hídricos e extremos de temperatura afetam as respostas fotossintéticas do cafeeiro ao ambiente, limitando o seu crescimento. A taxa máxima de crescimento coincide com o aumento da duração do dia em várias regiões cafeeiras, sendo que as maiores taxas são verificadas na época em que o fotoperíodo é mais longo, enquanto as taxas menores, ocorrem nos dias mais curtos (Mantovani et al., 2001).

O café conilon é tradicionalmente cultivado nas regiões quentes, com maior tradição nas zonas baixas do estado do Espírito Santo, com plantios concentrados em altitude abaixo de 400-500m, com maior expressão na região norte/noroeste (77%) e na sul (11%), onde as temperaturas médias anuais situam-se na faixa de 22 a 26°C (Matiello, 1998).

Quanto ao regime hídrico, beneficia-se de uma estação seca moderada, sendo que até 150 - 200 mm de déficit hídrico, não ocorrem problemas sensíveis e, entre 200 e 400 mm, é necessário irrigar, com prioridade para os períodos críticos da cultura: da iniciação floral até a granação dos frutos, considerando-se, ainda, os períodos de maior crescimento vegetativo da planta. Acima deste limite a produção é afetada significativamente e a irrigação deve ser uma prática obrigatória (Matiello et al., 2002). A utilização de práticas de conservação da umidade do solo ou de irrigação podem ser formas de mitigar os problemas de deficiência hídrica e de incrementos à produção (Arruda & Grande, 2003).

A exigência do cafeeiro em umidade do solo é bastante variável, de acordo com as fases do ciclo da planta. Nas condições do Brasil, no período de vegetação e frutificação, que vai de outubro a maio, o cafeeiro precisa de umidade disponível no solo. Na fase de colheita e repouso, de junho a setembro, a necessidade é menor e o solo pode apresentar teores de umidade mais baixos, sem que isso cause grandes prejuízos para a planta. Esta deficiência hídrica neste período pode estimular o florescimento do cafeeiro, conduzindo, ainda uma florada mais uniforme no reinício das chuvas ou mesmo pela irrigação (Matiello et al., 2002).

Em relação às condições físicas do solo, dois fatores principais devem ser observados: a profundidade e a capacidade de armazenar água. A profundidade efetiva do solo para o cafeeiro deve ser no mínimo de 150 cm, quando as condições de textura e estrutura do solo são boas, apesar da maior parte das raízes ativas (finas) concentrarem-se na primeira camada de solo até 30 cm. Esta profundidade poderá ser menor caso seja adotada a irrigação. Em relação à textura, os solos com

textura média são os mais favoráveis ao desenvolvimento das raízes. Não são indicados, para o cafeeiro, solos com menos de 15 a 20% de argila, salvo em condições especiais, devendo apresentar ainda uma boa porosidade, permitindo, assim, maior armazenamento de água e ar (Matiello et al., 2002).

Dentre as principais classes de solos da Bacia Hidrográfica do Itapemirim, situada no sul do estado do Espírito Santo, destacam-se o Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), por serem predominantes e tradicionalmente destinados ao cultivo da cultura, considerados como solos aptos para cafeeiro em função de suas características físicas e químicas (Santos, 1999).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos são solos minerais não hidromórficos, característicos de regiões tropicais úmidas, com horizonte B latossólico (B_W), seqüência de horizontes A - B_W - C, de textura muito variada, havendo registro de teores de argila desde 15% até 80%, sendo que ao longo do perfil as diferenças texturais do A para B são pequenas. Do ponto de vista químico, em geral, são solos de baixa fertilidade, tendo como primeiros fatores limitantes ao seu aproveitamento, reduzidos teores de bases trocáveis, de micronutrientes e de fósforo, e, ainda, elevada concentração de alumínio. Já os Argissolos Vermelho-Amarelos, apresentam as mais variadas profundidades, com horizonte A ou E seguidos de horizonte B textural (B_t), com distinta diferenciação do horizonte B textural do A ou E, seja pela cor, seja pela textura. Podem ser tanto eutróficos, como distróficos ou álicos. Os eutróficos, em sua maioria, estão relacionados, principalmente, ao material de origem e/ou regiões de clima mais seco; os distróficos e álicos são encontrados em ambientes de clima úmido, apresentando, naturalmente, restrições quanto à fertilidade. Os álicos apresentam saturação por alumínio maior que 50%. Ademais, podem apresentar poucos ou muitos minerais primários facilmente intemperizáveis, argilas de atividade baixa (Oliveira et al., 1992).

2.2- CAFEICULTURA IRRIGADA

A cafeicultura irrigada ocupa cerca de 10% da cafeicultura brasileira, totalizando 200 mil hectares, distribuídos, principalmente, nos estados do Espírito Santo (60 a 65%), Minas Gerais (20 a 25%) e Bahia (10 a 15%) (EMBRAPA, 1999).

De acordo com a AGRIANUAL - FNP (2002), são irrigados cerca de 35% da área de conilon do Espírito Santo e sul da Bahia e quase 25% das culturas do oeste e leste do cerrado mineiro.

O déficit hídrico é considerado como principal fator limitante da produtividade do cafeeiro, uma vez que a maior parte das áreas cultivadas com café conilon, no Brasil, está localizada em regiões que apresentam restrição hídrica. Este problema poderia ser equacionado, ou pelo menos minimizado, com o emprego da irrigação. Todavia, a topografia desfavorável, em muitos casos, dificulta o seu uso e em decorrência dos custos elevados, a irrigação nem sempre é viável para pequenos agricultores, sobre os quais, em larga escala, baseia-se o cultivo do cafeeiro robusta no Brasil (Lima, 2001). Em cafeeiro, para recomendar um manejo racional da irrigação, é de capital importância quantificar o efeito do estresse hídrico, notadamente sobre a transpiração, a fotossíntese, o crescimento vegetativo e reprodutivo, a estabilidade da produção e a produtividade, uma vez que, sabidamente, a assimilação do carbono é fortemente afetada pela desidratação do solo (Bernardo et al., 2001).

A irrigação do cafeeiro pode ter objetivo de eliminar o déficit hídrico durante todo o ciclo da cultura ou em fases específicas, quando em condição de demanda hídrica média ou baixa. O suprimento de água em quantidades e intervalos corretos pode ocasionar grandes aumentos de produtividade na lavoura cafeeira, além de menores perdas para a planta (Soares et al., 2003). Segundo Gutiérrez & Meinzer (1994), estimativas precisas da necessidade de água para o café são essenciais, pois a falta de água pode reduzir substancialmente o crescimento da planta, sem que, com isso, esta mostre sinais de murchamento ou outros sintomas visíveis de baixa umidade no solo.

Uma vez que a irrigação é a principal atividade humana consumidora de água, torna-se necessário definir quando e quanto irrigar, não proporcionando condições para que as plantas sofram por estresse ou excesso hídrico. O momento exato de efetuarem-se as irrigações associado ao volume de água a ser aplicado na cultura, são fundamentais para o uso eficiente da água na cafeicultura irrigada. Entretanto, o principal problema na irrigação do cafeeiro é quantificar adequadamente o volume de água a ser aplicado por determinado método de irrigação nos períodos críticos da cultura (Sousa et al., 2003).

Segundo Matiello et al. (2002), o período crítico para o cafeeiro se situa na fase de máximo desenvolvimento vegetativo e produtivo, que vai de outubro/novembro a março/abril, causando redução no desenvolvimento da planta, da produção, do tamanho dos frutos, no tipo do café e no rendimento do café em coco e beneficiado. Na maioria das regiões produtoras no centro-sul, e em lavouras adultas, se irriga o cafeeiro em duas fases importantes: na diferenciação floral (março a maio) suprindo a falta de chuvas e no período de pré-florada (agosto a setembro), para a floração normal e evitar desfolhas excessivas das plantas pós-colheita. Os mesmos autores citam que as regiões prioritárias para utilização da irrigação na cafeicultura brasileira na zona de café conilon concentram-se na maior parte do estado do Espírito Santo, no extremo sul da Bahia e até em certas áreas de Rondônia.

2.3- DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DO SOLO

O solo é o reservatório de água para as plantas. A água é retida através de sua interação com a matriz e de todas as práticas de manejo agrícola que visam a manutenção de nível de água em condições ideais para o desenvolvimento das culturas (Reichardt, 1988).

A idéia de quantificar a água retida no solo vem desde o início do século XX, quando surgiu o conceito de capacidade de campo (CC), a partir dos trabalhos de Veihmeyer & Hendrickson (1931), sendo definida como a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha sido drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias depois de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de textura e estrutura uniformes. Este é um conceito arbitrário uma vez que a capacidade de campo é o resultado de um comportamento dinâmico da água no solo e não uma característica intrínseca de sua matriz (Reichardt, 1988), ou seja, uma propriedade física do solo.

O termo capacidade de campo descreve a condição de movimento da água livre no solo sob ação da gravidade, com sentido vertical para baixo e intensidade muito lenta ou nula, ou seja, quando o fluxo no perfil do solo se torna desprezível ou mesmo cessa, depois de algum tempo, a umidade em que o solo se encontra é

denominada de capacidade de campo, o que equivaleria dizer que não há variação da umidade com o tempo (Bernardo et al., 2005). Desse modo, a capacidade de campo é um conceito ideal de um estado de energia transitório e dinâmico, fundamentalmente um ponto de equilíbrio da relação água-solo (Carvalho et al., 1996). É reconhecido que a capacidade de campo não apresenta valor único para um dado solo, uma vez que dificilmente a condição de equilíbrio entre a quantidade de água e a força gravitacional será atingida. Há remoção de água por drenagem, evaporação e transpiração, bem como acréscimo por chuva, irrigação e orvalho (Souza & Reichardt, 1996). Apesar das dificuldades associadas, o conceito de capacidade de campo é de indiscutível utilidade, por indicar o limite superior aproximado da quantidade de água disponível para as plantas (Van Lier, 2000).

A água disponível do solo para as plantas corresponde ao intervalo de umidade no qual está retida pela matriz do solo e pode ser absorvida pelas raízes (Andrade et al., 1998). A capacidade de campo representa o limite superior desse intervalo, aceito como máximo conteúdo retido pelo solo depois que o excesso tenha sido drenado. O limite inferior é representado pelo ponto de murcha permanente (PMP), que refere-se ao teor de água abaixo do qual a planta não consegue absorver água do solo em quantidades que atendam sua demanda evapotranspirimétrica, devido a forte retenção matricial (Mello et al., 2002). Comumente, assume-se que essa umidade ocorre quando a tensão de água no solo é de 15 atm (1,5 MPa). Todavia, vários pesquisadores têm observado que a umidade no ponto de murcha permanente pode variar para diferentes espécies de plantas, estágio de desenvolvimento, condições do ambiente e atributos do solo (Paixão et al., 2004; Procópio et al., 2004; Reichardt & Timm, 2004).

Apesar da recomendação da determinação da capacidade de campo "in situ" (Andrade et al., 1998; Reichardt, 1988), por ser excessivamente trabalhosa e demorada, têm sido adotados os métodos de laboratório. O método clássico descrito por Richards (1947), denominado de câmara de pressão de Richards, fixou o potencial matricial da capacidade de campo em -0,033 MPa. Para Reichardt (1988), nos solos característicos das regiões tropicais e úmidas, esse critério deve ser alterado para potenciais maiores, da ordem de -0,010 MPa e -0,006 MPa. Diante disso, Ruiz et al. (2003) ao pesquisarem 80 Latossolos e 8 Neossolos Quartzarênicos, observaram que a capacidade de campo ocorre, nestes solos, em potenciais maiores que -0,033 MPa.

Segundo Bernardo et al. (2005), a tensão correspondente à capacidade de campo, dependendo do tipo de solo, pode variar de 1/20 a 1/3 atm, sendo 1/3 atm (0,033 MPa) para solos de textura fina e 1/10 atm (0,010 MPa) para solos de textura grossa. Vários trabalhos têm sugerido a tensão de 0,010 MPa e 0,033 MPa para estimar a capacidade de campo (Van Lier, 2000; Néto & Rezende, 2000; Souza & Reichardt, 1996). Por sua vez, a tensão de 0,006 MPa foi sugerida por Mello et al. (2002), Andrade et al. (1991), Ferreira & Marcos (1983), como uma possível estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo dos solos.

2.4- CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

O conhecimento da capacidade máxima de armazenamento de água no solo é fundamental para estimativa correta da lâmina de irrigação (Queiroz & Carvalho, 2004). Para a precisa quantificação do fornecimento de água às plantas, é imprescindível conhecer a relação funcional entre umidade do solo e o seu potencial matricial na zona radicular das culturas (Dourado Neto et al., 1990). Esta relação é denominada de curva característica de água no solo ou curva de retenção de água (Reichardt & Timm, 2004; Tormena & Silva, 2002).

A curva de retenção de água é específica de cada solo e depende de vários atributos (Beutler et al., 2002), sendo considerada fundamental para os estudos relacionados com o balanço e disponibilidade de água às plantas, com a dinâmica da água e solutos no solo e com a infiltração, irrigação e drenagem (Tormena & Silva, 2002; Centurion et al., 1997). De posse da curva de retenção de água de um solo, pode-se estimar o potencial matricial, conhecendo-se a umidade, ou vice-versa.

A quantidade de água retida no solo, em equilíbrio com um determinado potencial, é função do tamanho e volume dos poros e da superfície específica das partículas da fase sólida, dependendo, principalmente, da quantidade e natureza da fração argila (Arruda et al., 1987). Aplicando-se uma pequena sucção à água em um solo saturado, esvaziar-se-ão os maiores poros. Incrementando a tensão, o solo perderá mais água, correspondendo àquela que ocupava os grandes poros, incapazes de retê-la contra a sucção aplicada. Um aumento gradual da tensão resultará em um esvaziamento de poros progressivamente menores até que, nas

tensões muito altas, apenas poros muito pequenos conseguem reter água. A cada valor de tensão corresponde um valor de potencial matricial e, conseqüentemente, umidade volumétrica. O potencial matricial, por ser considerado uma pressão negativa, apresenta valores numericamente iguais aos da tensão, porém com sinal oposto (Reichardt & Timm, 2004).

Para altos conteúdos de água, nos quais fenômenos capilares são de maior importância na retenção de água, esta depende da densidade do solo e da porosidade, enquanto que para menores conteúdos de água, em que o fenômeno de adsorção domina, depende mais da textura e da superfície específica do solo (Demattê, 1988; Hillel, 1970). Na determinação de elevados valores de potencial matricial, a curva de retenção de água no solo depende da geometria da amostra, isto é, do arranjo e das dimensões dos poros. Já para baixos teores de água, o potencial matricial praticamente independe de fatores geométricos, sendo a densidade do solo e a porosidade de pouca importância em sua determinação. Assim, desde que a geometria do sistema não varie com o tempo, a curva de retenção é única e não precisa ser determinada em cada experimento (Reichardt & Timm, 2004).

Devido à variabilidade metodológica ser bastante grande na determinação da curva de retenção, principalmente nas altas tensões, e enquanto não se tem uma padronização universal ou, pelo menos nacional, deve-se optar pela curva de retenção completa e não apenas pela capacidade de campo e ponto de murcha permanente, bem como o controle da temperatura na sala de operação do equipamento, uma vez que a retenção de água em um dado potencial é dependente da temperatura (Moraes & Libardi, 1993).

Vários são os trabalhos que procuram ajustar a curva de retenção. Atualmente, tem-se utilizado a equação de Van Genuchten (1980) que propôs um modelo matemático empírico, em função do comportamento do fenômeno, utilizando como variável independente, o módulo de potencial matricial e como variável dependente, a umidade a base de volume. Para determinação dos parâmetros empíricos (α , n e m) do modelo de Van Genuchten, foi desenvolvido o programa computacional conhecido como Curvaret (Dourado Neto et al., 1990) e o software SWRC, versão 2.00 (Dourado Neto et al., 2000).

2.5- POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

O solo armazena água que será utilizada pela planta. Esta absorverá a água dependendo do seu estágio fenológico, da fisiologia e dos fatores ambientais. A energia da atmosfera induz a evaporação da água contida no solo e a transpiração das plantas (Larcher, 2000). O potencial de água na folha, ou potencial hídrico foliar, caracteriza seu estado energético e influencia o fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera que, segundo DaMatta & Rena (2001), é governado por diferenças de potenciais.

A água exerce efeitos sobre o solo e planta em função de sua energia livre, denominada de potencial total de água (Ψ_w), cujo estado de referência é a água pura, que apresenta $\Psi_w = 0$. A energia livre da água no solo é inferior a zero e a água move-se em resposta a forças físicas, em direção a regiões de baixo potencial hídrico ou de baixa energia livre. Devido ao transporte de água ser um processo passivo, as plantas podem absorver água somente quando o seu potencial hídrico for menor que o do solo. À medida que o solo torna-se mais seco, a planta, similarmente, torna-se menos hidratada, ou seja, atinge um menor potencial hídrico. Os valores de potencial hídrico dependem das condições de crescimento e do tipo de planta (Taiz & Zeiger, 2004).

De maneira geral, para culturas em pleno desenvolvimento, sem déficit de água, os valores do potencial total da água no solo variam de -0,1 a -1,0 atm (-0,01 a -0,1 MPa). Na planta, nas mesmas condições, o potencial total varia de -5 a -40 atm (-0,5 a -4 MPa) e, na atmosfera, de -100 a -1000 atm (-10 a -100 MPa). Daí, o movimento normal da água é do solo para a planta e desta para a atmosfera (Reichardt & Timm, 2004).

As plantas raramente estão em plena hidratação. Elas sofrem déficits hídricos, que, sendo de curta duração, não afetam o seu crescimento e desenvolvimento. Assim, deve ser diferenciado o déficit que ocorre durante o dia, ocasionado pela transpiração, daquele que atua em um período mais longo que levam à inibição do crescimento vegetal e da fotossíntese (Silva et al., 2001). Por sua vez, o estresse hídrico tem vários efeitos sobre o crescimento, um dos quais é a limitação da expansão foliar, o que causa redução da área foliar e, conseqüentemente, redução na taxa fotossintética, já que a fotossíntese é

proporcional a ela (Taiz & Zeiger, 2004). A importância da área foliar é amplamente conhecida por ser um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química. Assim sendo, a superfície foliar é a base do rendimento potencial da cultura (Favarin et al., 2002).

O potencial hídrico foliar é uma medida do grau de hidratação de uma planta e, assim, fornece um índice relativo do estresse hídrico do qual a planta está submetida (Taiz & Zeiger, 2004). O potencial hídrico foliar antemanhã, medido antes do nascer do sol, quando a planta não estiver transpirando, é um parâmetro indicativo do armazenamento da água no solo, uma vez que há tendência de equilíbrio entre as condições hídricas da planta e solo (DaMatta & Rena, 2001; Silva et al., 2001).

Em geral, cafeeiros irrigados apresentam potencial hídrico foliar mais elevado do que os não irrigados (Barreto et al., 2005; Rodrigues et al., 2003; Soares, 2001). Segundo DaMatta et al. (2000), o potencial hídrico foliar antemanhã do cafeeiro conilon, observado em clones tolerantes à seca e em plantas não irrigadas, foi de -0,29 MPa (clone 14) e -0,61 MPa (clone 120), Em clones sensíveis, também não irrigados, esse potencial foi de -1,59 (clone 46) e -0,99 MPa (clone 201), demonstrando que as diferenças genéticas foram determinantes para maior adaptabilidade desses clones à baixa umidade do solo. Por sua vez, Pinheiro (2004), ao estudar clones de café conilon, impôs um déficit hídrico com suspensão da irrigação, até que o potencial hídrico foliar na antemanhã atingisse -3,0 MPa, como medida diferencial de tolerância à seca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1- LOCAL, CULTURA E SOLO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Núcleo de Estudos e de Difusão de Tecnologia em Floresta, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC), no município de Jerônimo Monteiro-ES, localizado nas coordenadas 20° 47' 25" S e 41° 23' 48" W a 120 m de altitude, vinculado ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES).

A espécie vegetal utilizada foi *Coffea canephora* Pierre, variedade Robusta Tropical (EMCAPER 8151), de propagação por sementes, cultivada em vaso com capacidade de 12 litros. O transplântio das mudas nos vasos foi realizado no dia 13 de dezembro de 2004. Para garantir o pegamento das mudas, os vasos foram irrigados diariamente durante 15 dias (13/12/2004 a 28/12/2004). Em seguida, foram definidos os tratamentos e as plantas cultivadas por um período de 240 dias (28/12/2004 a 28/08/2005), totalizando 255 dias.

Na Figura 1, são apresentados os dados médios semanais da temperatura (T) e da umidade relativa do ar (UR) obtidos de uma estação automática (datalogger), modelo CR10 da Campbell Scientific, a partir da instalação de sensores de temperatura e umidade do ar, modelo HMP35C da Campbell Scientific, no período de avaliação compreendido entre 2 de fevereiro a 28 de agosto de 2005. Pela referida figura, observa-se que os extremos de temperatura foram 14,12°C e 41,88°C, enquanto os extremos de umidade relativa do ar foram 23,83% e 93,26%.

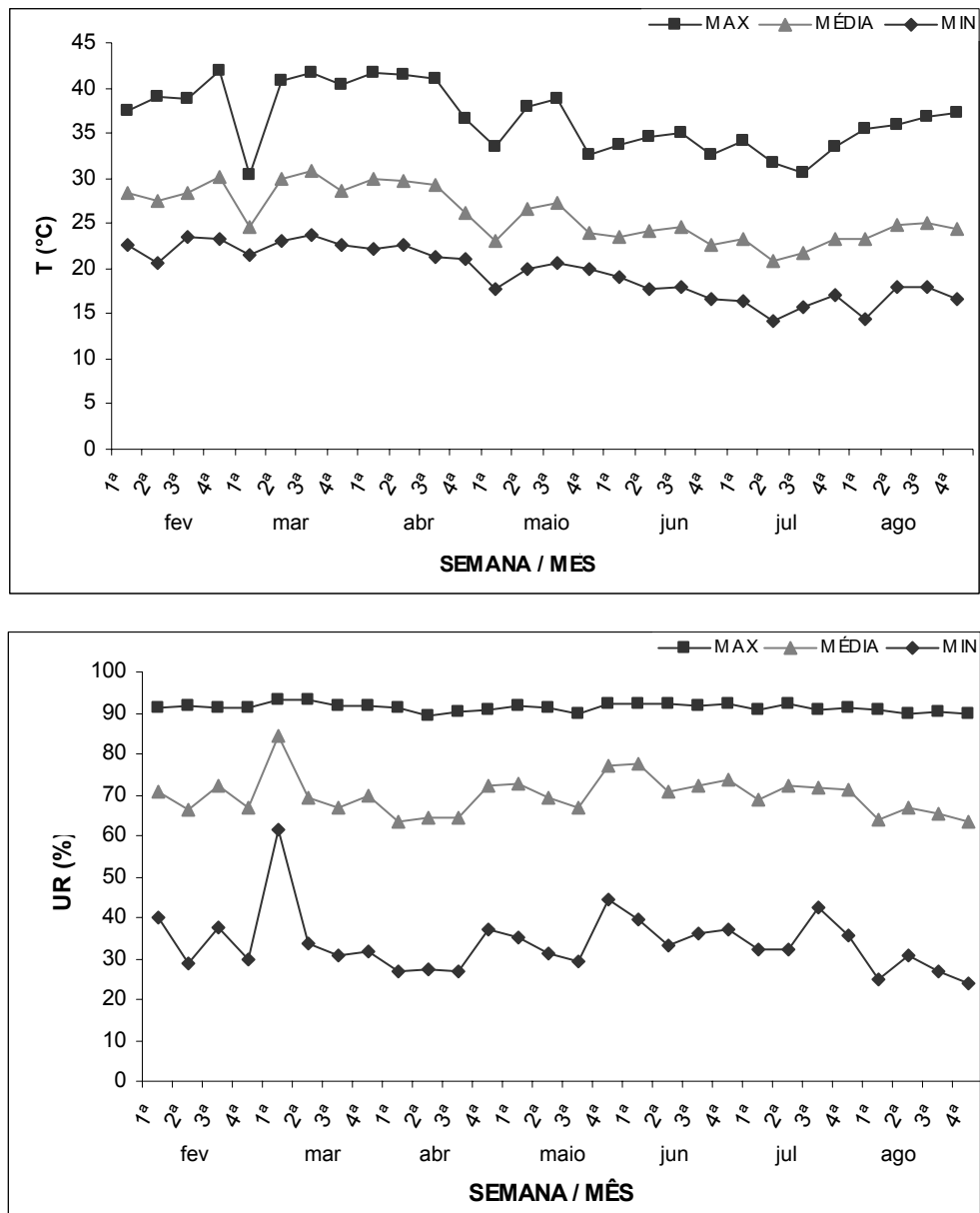


Figura 1 - Valores médios semanais de temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR), no interior da casa de vegetação, referentes ao período de fevereiro a agosto de 2005.

Os solos utilizados foram o Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), predominantes na região Sul do Espírito Santo, considerados por Santos (1999) como aptos ao cultivo do cafeeiro conilon. Foram coletadas amostras deformadas de cada solo à profundidade de 0,00 – 0,30m, sendo estas submetidas ao esboroamento e passagem em peneira de 2 mm, destinadas às análises física e química dos solos. Na análise física determinaram-se: granulometria (areia, silte e argila), densidade do solo, densidade de partículas e

porosidade total, conforme EMBRAPA (1997). Os atributos físicos dos solos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos físicos do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) à profundidade de 0,00 - 0,30m

Solo	Análise Granulométrica ⁽¹⁾				Ds ⁽²⁾	Dp ⁽³⁾	P _T ⁽⁴⁾
	AG	AF	Silte	Argila			
	----- g kg ⁻¹ -----				-----kg dm ⁻³ -----		m ³ m ⁻³
LV	236	80	105	579	1,22	2,23	0,453
PVA	360	172	256	212	1,28	2,50	0,488

⁽¹⁾ AG= areia grossa (2-0,2mm); AF= areia fina (0,2-0,05mm); Silte (0,05-0,002mm); Argila (< 0,002mm)

⁽²⁾ Ds= densidade do solo; ⁽³⁾ Dp= densidade de partículas; ⁽⁴⁾ P_T= porosidade total

A aplicação de corretivos e de adubos químicos foram realizadas com base na análise química dos solos (Tabela 2), conforme o Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Espírito Santo: 4^a aproximação (Dadalto & Fullin, 2001). A calagem foi feita 30 dias antes do transplântio das mudas, utilizando-se calcário dolomítico com PRNT de 90% nas quantidades de 9,5 g/vaso de 12 litros para o LV e 6,8 g/vaso de 12 litros para o PVA, para elevar a saturação das bases para 70%. A adubação fosfatada foi realizada 10 dias antes do transplântio das mudas, utilizando-se o superfosfato simples nas quantidades de 31,3 g/vaso para o LV e 52,1 g/vaso para o PVA. Após o pegamento das mudas, foram realizadas as adubações nitrogenada e potássica, por cobertura. Na adubação nitrogenada, a uréia foi utilizada como fonte de nitrogênio, na quantidade de 2,8 g/vaso em três aplicações, sendo a primeira um mês após o pegamento das mudas e as demais com intervalo de 40 dias, para ambos os solos (LV e PVA). Na adubação potássica, utilizou-se o cloreto de potássio, na quantidade de 3,2 g/vaso para o LV e 4,8 g/vaso para o PVA, em duas aplicações, realizada aos 30 e 120 dias após o pegamento das mudas.

Tabela 2 - Resultados da análise química do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) à profundidade de 0,00 - 0,30m

Solo	Ph	MO (g kg ⁻¹)	P (mg dm ⁻³)						CTC	V (%)
				K	Ca	Mg	H +Al	SB		
LV	5,4	19	6,0	0,3	2,1	1,3	4,1	3,7	7,8	47,4
PVA	5,6	18	3,0	0,1	1,8	0,8	3,0	2,7	5,7	47,8

Extração e determinação: pH em água (1:2,5); P, K, Na: Mehlich 1; Ca, Mg, Al: KCl (1 M); H+Al: acetato de cálcio (0,5 M); MO: dicromato de potássio (1 mol L⁻¹) e titulação pelo sulfato ferroso (0,5 mol L⁻¹)

3.2 - CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

As curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo e do Argissolo Vermelho-Amarelo, por secamento, foram determinadas conforme EMBRAPA (1997), a partir de amostras deformadas, previamente peneiradas, que depois de saturadas por no mínimo 12 horas, foram levadas à câmara de pressão de Richards com placa porosa para estabilização, adotando-se um tempo não inferior a três dias e posterior determinação da umidade gravimétrica (U), correspondente às tensões de: 0,006; 0,010; 0,033; 0,08; 0,10; 0,30; 0,50; 1,0 e 1,5 MPa, com três repetições. A umidade volumétrica (θ) para cada uma das tensões foi obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo ($\theta = U \cdot D_s$).

Os valores médios de umidade volumétrica na curva de retenção de cada solo foram ajustados utilizando-se o modelo matemático proposto por Van Genuchten, descrito na equação 1:

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \cdot h)^n]^m \quad (1)$$

Em que:

θ = umidade a base de volume

θ_r = umidade volumétrica residual a tensão de 15.000 cm de água

θ_s = umidade volumétrica de saturação

h = tensão em cm de água

α , n e $m = [1 - (1/n)]$ são parâmetros empíricos determinados pelo software Soil Water Retention Curves (SWRC), versão 2.0.

Na análise do modelo matemático adotado para o ajuste da curva de retenção, utilizou-se o erro médio percentual (EMP), expresso pela equação 2:

$$EMP = \frac{\sum_{i=1}^J \frac{|O_i - E_i|}{O_i}}{J} 100 \quad (2)$$

Em que:

J = número de observações

O = valor observado experimentalmente

E = valor estimado pelo modelo

3.3- ÁGUA DISPONÍVEL E LÂMINA DE IRRIGAÇÃO

A água disponível (AD) foi calculada observando-se os valores de umidade volumétrica na curva de retenção de cada solo para a capacidade de campo (CC) determinada nas tensões de 0,006 MPa (CC₁), 0,010 MPa (CC₂) e 0,033 MPa (CC₃) e para o ponto de murcha permanente (PMP) na tensão de 1,5 MPa, utilizando-se a seguinte expressão: AD = CC – PMP (Centurion & Andrioli, 2000). A partir da água disponível, foram estabelecidas as umidades dos déficits hídricos de 33% e 67% (DH 33% e DH 67%), destinadas ao cálculo da lâmina de irrigação, em ambos os solos estudados.

A lâmina de irrigação (L) para ausência de déficit hídrico (DH 0%), ou seja, umidade do solo mantida próxima à capacidade de campo, foi calculada pela expressão: $L = AD \times V_s$, sendo AD água disponível e V_s volume de solo do vaso (0,012 m³). Todavia, as lâminas de irrigação a serem aplicadas para elevar o teor de umidade do solo (U_a) à capacidade de campo nos déficits de 33% e 67% AD, foram calculadas pela equação: $L = [(CC - U_a)/10] \times D_s \times Z$ (Sousa et al., 2003), sendo:

L - Lâmina de irrigação em mm, CC - umidade na capacidade de campo % em peso, U_a - umidade atual do solo % em peso, D_s - densidade do solo em $g\ cm^{-3}$ e Z - profundidade do sistema radicular em cm. Para transformar a lâmina irrigação (L) em volume (mL/vaso), multiplicou-se L pela área do vaso ($0,048\ m^2$).

Previamente, realizou-se a uniformização dos pesos de todos os vasos após o transplante das mudas. Decorrido o período destinado ao pegamento das mudas, retirou-se amostra de solo dos vasos destinadas à determinação da umidade pelo método termogravimétrico (EMBRAPA, 1997), sendo reposta a mesma quantidade de solo do vaso. Em seguida, procedeu-se a elevação do teor de umidade do solo (U_{GA}) à capacidade de campo determinada na tensão de 0,006 MPa pela câmara de pressão de Richards, com posterior pesagem dos vasos. Uma vez estabelecido o peso dos vasos e correspondente umidade da CC_1 (0,006 MPa), buscou-se determinar os pesos dos vasos na CC_2 (0,010 MPa) e na CC_3 (0,033 MPa), e os déficits hídricos de 33% e 67% de todos os níveis da capacidade de campo do LV e PVA. Para tanto, foi feito o monitoramento da umidade do solo e pesagem dos vasos a cada 12 horas, até que fossem obtidos os teores de umidade de cada tratamento.

O estabelecimento e controle do teor da umidade dos déficits hídricos da CC_1 , CC_2 e CC_3 foi feito pelo monitoramento do peso do vaso da repetição 1 (R_1) de cada tratamento, incluindo solo, planta e umidade. As irrigações foram feitas manualmente por diferença de pesagem, sendo a umidade dos solos elevada até a capacidade de campo. O ajuste dos pesos dos vasos à umidade gravimétrica estimada (U_E) para os níveis da capacidade de campo e déficits hídricos foi feito mensalmente, devido ao incremento propiciado pelo crescimento das plantas, utilizando-se as seguintes expressões:

$$F = [(U_E - U_A) \times PV] / 100$$

$$PV_C = PV + F$$

Em que:

F = fator de ajuste da umidade gravimétrica

U_E = umidade gravimétrica estimada para os níveis de capacidade de campo (CC_1 , CC_2 e CC_3) e déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) em %

U_A = umidade gravimétrica atual em %

PV = peso do vaso em kg

PV_C = peso do vaso calculado em kg

3.4- AVALIAÇÕES DE CRESCIMENTO

As avaliações de crescimento foram realizadas aos 60, 120, 180 e 240 dias para determinação da matéria seca da parte aérea e raízes, ou seja, matéria seca total (MS_T), altura da planta (AP), diâmetro do caule (DC) e área foliar (AF). Para obtenção da matéria seca total, as plantas foram secas em estufa a 75°C, até atingirem massa constante (72 horas). A altura da planta foi determinada considerando-se a região compreendida entre o coleto e a gema apical e o diâmetro do caule foi medido a 2 cm do solo utilizando-se o paquímetro digital da marca Starrett, modelo 727. Já a área foliar foi medida a partir de um integrador de área foliar, modelo LI-3100 da marca Li-cor.

As medições do potencial hídrico foliar foram realizadas aos 120, 180, 210 e 240 dias após o pegamento das mudas nos vasos, antes do nascer do sol, às 05:00 horas (antemanhã), utilizando-se uma bomba de pressão construída segundo Scholander et al. (1965), destinada ao estudo da tensão da seiva no xilema. A bomba é equipada com um Manômetro Digital de Processo, modelo GULpress 1000 da Gulton do Brasil Ltda, câmara de pressão, válvula de escape do gás da câmara, registro conectado ao cilindro de gás N_2 (nitrogênio), borracha e anel de vedação da câmara (Figura 2).

Para realização das medidas do potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{am}), selecionou-se o segundo par de folhas completamente expandidas dos ramos ortotrópicos, de uma planta por tratamento. A folha do cafeeiro conilon, após ser destacada do ramo, foi inserida na câmara da bomba deixando-se a base do pecíolo aparente. Aplicou-se uma pressão em carga crescente e gradual até que a seiva xilemática começasse a surgir na superfície do pecíolo, cuja observação é feita com auxílio de luz artificial e lente de aumento (lupa) (Figura 3). Neste instante, fez-se a leitura do manômetro e a pressão observada correspondeu ao potencial hídrico da

seiva xilemática. Foram realizadas 18 leituras (3 níveis de capacidade de campo x 3 níveis de déficit hídrico x 2 folhas/planta) para cada solo em cada medição, fazendo-se o uso da média por planta, todas realizadas no mesmo dia para cada solo, totalizando-se dois dias para esta avaliação.



Figura 2 - Componentes da bomba tipo Scholander.



Figura 3 - Vista da folha do cafeeiro conilon na câmara de pressão da bomba tipo Scholander.

3.5- ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, sendo as parcelas um fatorial 3 x 3, onde o fator capacidade de campo apresentou três níveis ($CC_1 = 0,006$ MPa, $CC_2 = 0,010$ MPa e $CC_3 = 0,033$ MPa) e o fator déficit de água no

solo também apresentou três níveis (DH 0%, DH 33% e DH 67%) e as subparcelas corresponderam ao número de dias após o pegamento das mudas, quando se procederam as avaliações de crescimento do cafeeiro conilon, em quatro níveis (E1= 60, E2= 120, E3= 180 e E4= 240), num delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, para cada solo (LV e PVA).

Nas análises estatísticas, utilizou-se a técnica de superfície de resposta para obtenção das equações de ajustes das características de crescimento, por meio do Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (SAEG). Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste “t” ao nível de 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação. Para o potencial hídrico foliar, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, por meio do SAEG.

Os gráficos da curva de retenção e das superfícies de resposta foram gerados pelo programa computacional MATLAB 6.0 e os cortes das superfícies de resposta e clima foram elaborados no Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 exibe as equações do modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980), cujos parâmetros empíricos (α , n e m) foram obtidos mediante programa computacional elaborado por Dourado Neto et al. (2000), destinadas ao ajuste das curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) na profundidade de 0,00 - 0,30m. Para correlacionar os valores de umidade volumétrica, estimados e observados, experimentalmente, nas tensões utilizadas na determinação da curva de retenção, utilizou-se o erro médio percentual (EMP) proposto por Chong et al. (1982). Nota-se que, de maneira geral, os valores do EMP do LV foram menores dos que o do PVA, o que denota melhor ajuste do modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980) para este solo (Tabela 4).

Tabela 3 - Equações de ajustes para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), segundo modelo de Van Genuchten (1980) ⁽¹⁾

Solo	⁽¹⁾ $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \cdot h)^n]^m$
LV	$\theta = 0,239 + (0,453 - 0,239) / [1 + (0,026859 \cdot h)^{1,527469}]^{0,345322}$
PVA	$\theta = 0,129 + (0,488 - 0,129) / [1 + (0,097296 \cdot h)^{1,502570}]^{0,334474}$

Tabela 4 - Umidade volumétrica observada (θ_o), umidade volumétrica estimada (θ_E) pela equação de Van Genuchten (1980) e erro médio percentual (EMP) do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA)

Tensão (cca)	θ_o	θ_E	EMP_LV	θ_o	θ_E	EMP_PVA
	----- m ³ m ⁻³ -----	----- m ³ m ⁻³ -----		----- m ³ m ⁻³ -----	----- m ³ m ⁻³ -----	
1	0,453	0,453	0,00	0,488	0,484	0,82
60	0,388	0,384	3,03	0,281	0,274	2,49
100	0,342	0,358	4,67	0,229	0,242	5,67
330	0,317	0,306	3,47	0,204	0,192	5,88
800	0,287	0,281	2,09	0,175	0,169	3,42
1000	0,283	0,277	2,12	0,170	0,165	2,94
3000	0,265	0,260	1,87	0,151	0,150	0,66
5000	0,251	0,255	1,99	0,143	0,145	2,10
10000	0,240	0,250	4,17	0,132	0,140	6,06
15000	0,239	0,248	3,77	0,129	0,138	6,98

A quantidade de água retida em determinado potencial é característica específica de cada solo, sendo o resultado da ação conjunta de vários fatores. Reichardt (1987, 1996) afirma que a textura é o principal determinante da retenção de água e que, de maneira geral, solos de textura fina, com elevadas proporções de silte e argila, possuem maior capacidade de armazenamento de água. Nesse sentido, percebe-se que as curvas de retenção do LV e do PVA não são semelhantes e que os maiores conteúdos de água estão relacionados às tensões mais baixas, ou seja, valores mais altos de potencial matricial (Figura 4). Observa-se que os conteúdos de água do LV, de textura argilosa, foram mais elevados do que os obtidos no PVA, de textura franco-argilo-arenosa, em todas as tensões do intervalo de água disponível, ressaltando a importância da fração argila na retenção de água pelo solo. Isto está de acordo com Néto & Rezende (2000) e Carvalho et al. (1999), que verificaram a maior retenção de água em solos de textura mais fina.

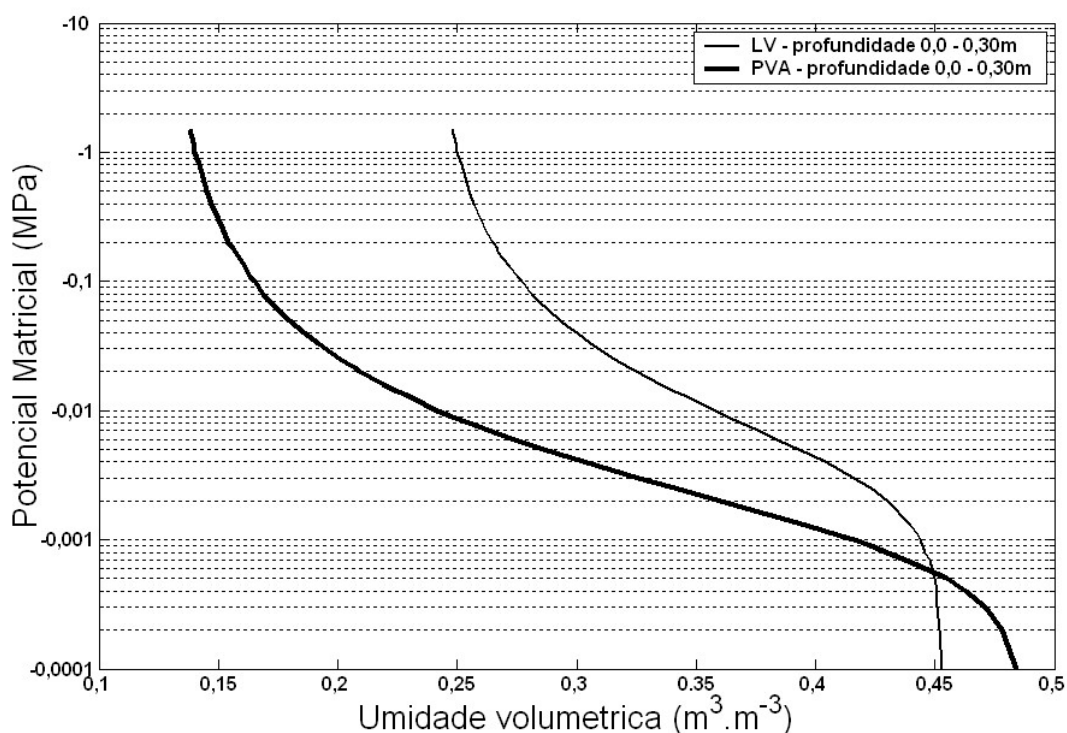


Figura 4 - Curvas de retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) à profundidade de 0,00 - 0,30m.

Os conteúdos de água disponível para o mesmo nível de capacidade de campo (CC_1 , CC_2 e CC_3) do LV e do PVA foram iguais ou muito próximos entre si (Figura 5). Os valores obtidos na tensão de 0,010 MPa e 0,033 MPa representam, respectivamente, 80,88% e 42,64% no LV e 76,47% e 39,71% no PVA em relação aos obtidos na tensão de 0,006 MPa. Por sua vez, os menores valores de água disponível, em ambos os solos, foram obtidos na capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa. Assim, a capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa não representa a máxima retenção de água dos solos estudados (LV e PVA), o que é corroborado por Reichardt (1988), uma vez que a menor retenção de água, nesta tensão, está associada à baixa atividade das argilas e à textura do LV e do PVA. Isto influenciará no manejo da irrigação, uma vez que está diretamente relacionado com as necessidades hídricas das culturas, com as características hidráulicas do sistema de irrigação selecionado e com a capacidade de retenção de água pelo solo na profundidade efetiva da raiz de uma cultura específica (Soares et al., 1998).

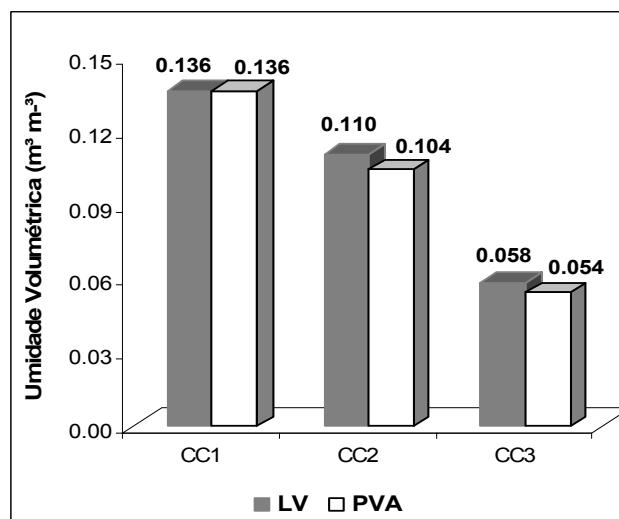


Figura 5 – Valores de água disponível do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) nos níveis de capacidade de campo: $CC_1=0,006$ MPa, $CC_2= 0,010$ MPa e $CC_3= 0,033$ MPa.

Os valores de umidade volumétrica e lâminas de irrigação nos níveis de capacidade de campo (CC_1 , CC_2 e CC_3) e de déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) estão representados nas Figuras 6 e 7 para o LV e PVA, respectivamente. Observa-se que o teor de umidade na capacidade de campo varia com a tensão adotada em sua determinação, utilizando-se a câmara de pressão de Richards, o que interfere na estimativa da lâmina de irrigação. Assim, a umidade volumétrica obtida nas tensões de 0,006; 0,010 e 0,033 MPa foi de, respectivamente, 38,4%; 35,8% e 30,6% para o LV e de 27,4%; 24,2% e 19,2% para o PVA. Com isso, foram estabelecidos valores distintos de água disponível, e, conseqüentemente, diferentes lâminas de irrigação para o mesmo solo.

Pela análise da Figura 6, verifica-se que para a CC_1 do LV e déficit hídrico de 33%, ao se aplicar a lâmina de 540 mL/vaso, a umidade de 33,9% foi elevada a 38,4% e no déficit hídrico de 67%, a lâmina de irrigação de 1090 mL/vaso foi necessária para elevação da umidade de 29,3% para 38,4%. Por sua vez, para a CC_2 e déficit hídrico de 33%, ao se aplicar a lâmina de 440 mL/vaso, elevou-se a umidade de 32,2% para 35,8% e no déficit hídrico de 67%, ao se aplicar a lâmina de 880 mL/vaso, a umidade foi elevada de 28,4% para 35,8%. Da mesma forma, para a CC_3 e déficit hídrico de 33%, ao se aplicar a lâmina de 230 mL/vaso, elevou-se a umidade de 28,7% para 30,6% e no déficit hídrico de 67%, foi necessária a lâmina de 470 mL/vaso para elevação da umidade de 26,7% para 30,6%.

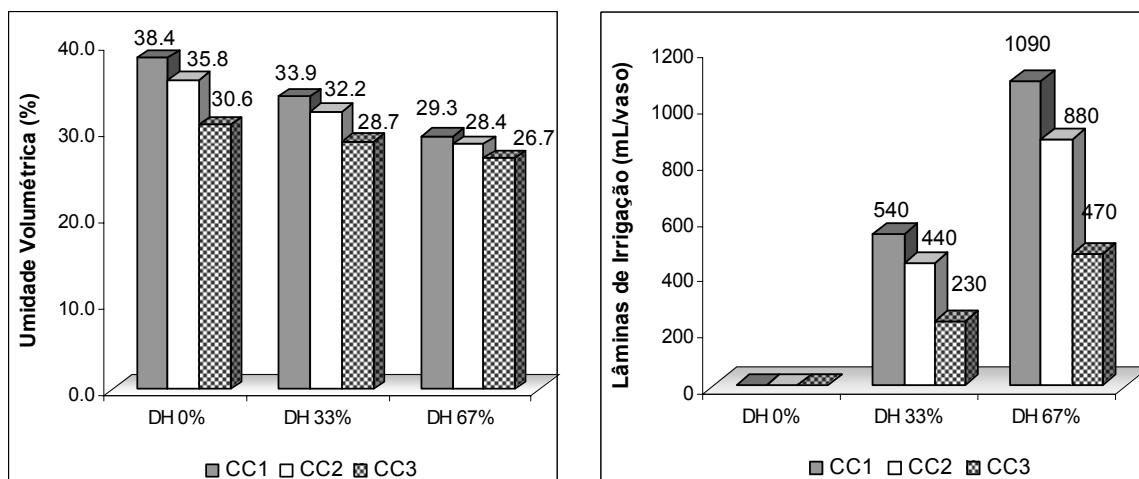


Figura 6 – Valores médios de umidade volumétrica e lâminas de irrigação nos níveis de capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) e déficits hídricos (DH 0%; DH 33% e DH 67%) do Latossolo Vermelho-Amarelo (LV).

Analisando a Figura 7, verifica-se que para a CC₁ do PVA e déficit hídrico de 33%, ao se aplicar a lâmina de 540 mL/vaso, a umidade de 22,9% foi elevada a 27,4% e no déficit hídrico de 67%, a lâmina de irrigação de 1090 mL/vaso foi necessária para elevação da umidade de 18,3% para 27,4%. Por sua vez, para a CC₂ e déficit hídrico de 33%, ao se aplicar a lâmina de 410 mL/vaso, elevou-se a umidade de 20,8% para 24,2% e no déficit hídrico de 67%, ao se aplicar a lâmina de 840 mL/vaso, a umidade foi elevada de 17,2% para 24,2%. Da mesma forma, para a CC₃ e déficit hídrico de 33%, ao se aplicar a lâmina de 210 mL/vaso, a umidade foi elevada de 17,4% para 19,2% e no déficit hídrico de 67%, a lâmina de 430 mL/vaso foi necessária para elevação da umidade de 15,6% para 19,2%.

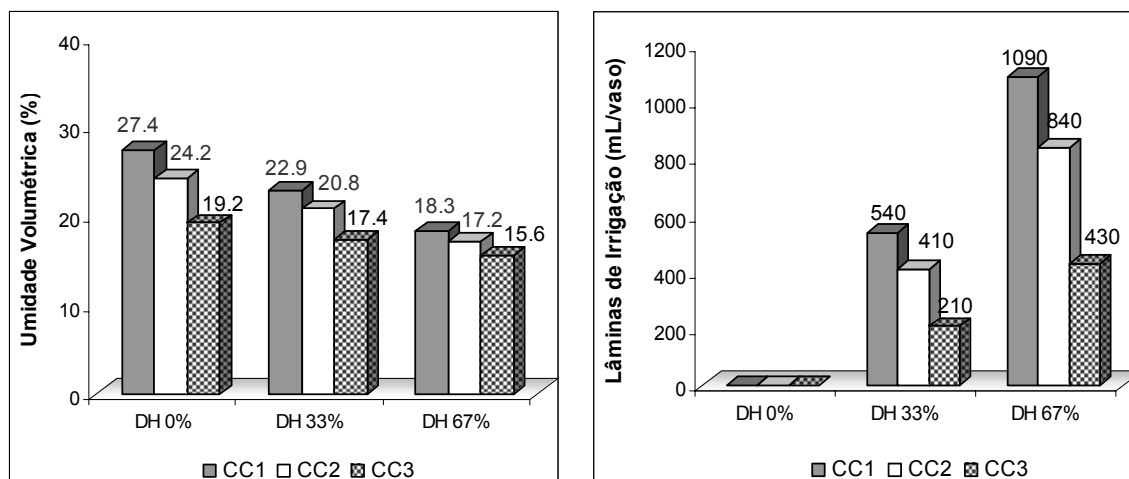


Figura 7 – Valores médios de umidade volumétrica e lâminas de irrigação nos níveis de capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) e déficits hídricos (DH 0%; DH 33% e DH 67%) do Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

O potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{am}) é um indicativo do armazenamento de água no solo (Larcher, 2000). A medição Ψ_{am} é a maneira efetiva de se avaliar o grau de hidratação da planta, pois na antemanhã há tendência de equilíbrio entre o potencial de água na folha e o do solo (Silva et al., 2001). Nas Figuras 8 e 9 são apresentados os resultados de potencial hídrico foliar antemanhã do cafeeiro conilon e de potencial matricial de água no solo, respectivamente, para o LV e o PVA.

No período em estudo, observou-se no LV que o Ψ_{am} oscilou de -0,17 a -0,45 MPa na ausência de déficit hídrico da CC₁, CC₂ e CC₃; de -0,21 a -0,53 MPa no déficit hídrico de 33% da CC₁, CC₂ e CC₃; e de -0,35 a -0,68 MPa no déficit hídrico de 67% da CC₁, CC₂ e CC₃. A diferença entre o Ψ_{am} do cafeeiro conilon na ausência de déficit hídrico (DH 0%) e déficits de 33% e 67% (DH 33% e DH 67%), refletiu o estado hídrico do solo, estando a água retida a um potencial matricial médio de -0,007 MPa, -0,015 MPa e -0,044 MPa na CC₁; de -0,010 MPa, -0,02 MPa e -0,08 MPa na CC₂ e de -0,04 MPa, -0,07 MPa e -0,18 MPa na CC₃, para os mesmos déficits hídricos. O melhor estado hídrico das plantas foi observado aos 120 dias em DH 0% na CC₂ (Ψ_{am} = -0,17 MPa) a um potencial matricial de -0,010 MPa no LV e a menor hidratação ocorreu aos 240 dias no déficit hídrico de 67% na CC₃ (Ψ_{am} = -0,68 MPa), cujo potencial matricial do solo foi de -0,20 MPa (Figura 8).

Para o PVA, o potencial hídrico foliar medido na antemanhã (Ψ_{am}) oscilou de -0,33 a -0,90 MPa na ausência de déficit hídrico da CC_1 , CC_2 e CC_3 ; de -0,47 a -1,15 MPa no déficit hídrico de 33% da CC_1 , CC_2 e CC_3 ; e de -0,64 a -1,30 MPa no déficit hídrico de 67% da CC_1 , CC_2 e CC_3 . Assim como foi observado no LV, a diferença entre o Ψ_{am} do cafeeiro conilon na ausência de déficit hídrico (DH 0%) e déficits de 33% e 67% (DH 33% e DH 67%), refletiu o estado hídrico do solo, estando a água retida a um potencial matricial médio de -0,007 MPa, -0,012 MPa e -0,04 MPa na CC_1 ; de -0,01 MPa, -0,02 MPa e -0,07 MPa na CC_2 ; e de -0,04 MPa, -0,07 MPa e -0,17 MPa na CC_3 , para os mesmos déficits hídricos. O melhor estado hídrico das plantas foi observado aos 120 dias em DH 0% da CC_1 ($\Psi_{am} = -0,33$ MPa), a um potencial matricial de -0,006 MPa, e a menor hidratação ocorreu aos 240 dias no déficit hídrico de 67% da CC_3 ($\Psi_{am} = -1,30$ MPa), cujo potencial matricial de água no solo foi de -0,20 MPa (Figura 9).

Os valores médios do potencial hídrico foliar do cafeeiro conilon na antemanhã (Ψ_{am}), obtidos no LV foram de -0,23, -0,25 e -0,40 MPa na CC_1 ; de -0,23, -0,35 e -0,45 MPa na CC_2 ; e de -0,35, -0,46 e -0,59 MPa na CC_3 em DH 0%, DH 33% e DH 67%, respectivamente. No PVA, os valores médios do potencial hídrico foliar na antemanhã (Ψ_{am}) foram de -0,40, -0,54 e -0,72 MPa na CC_1 ; de -0,49, -0,58 e -0,79 MPa na CC_2 ; e de -0,63, -0,94 e -1,15 MPa na CC_3 em DH 0%, DH 33% e DH 67%, respectivamente.

Neste estudo, os valores mais baixos de Ψ_{am} foram observados aos 240 dias no déficit hídrico de 67% da CC_3 no LV (-0,68 MPa) e no PVA (-1,30 MPa), valores estes inferiores a -2,00 MPa, considerado por Kumar & Tieszen (1976) como crítico para cafeeiro. Por sua vez, elevados valores de Ψ_{am} foram obtidos na CC_2 do LV (-0,17 MPa) e na CC_1 do PVA (-0,33 MPa) na ausência de déficit hídrico. Resultados semelhantes foram obtidos, por Barreto et al. (2005), em cafeeiro irrigado que mantiveram um potencial hídrico foliar médio de -0,20 MPa na antemanhã, contra -0,67 MPa, durante a imposição do déficit hídrico de três meses, em um Latossolo Vermelho Escuro com 60% de argila.

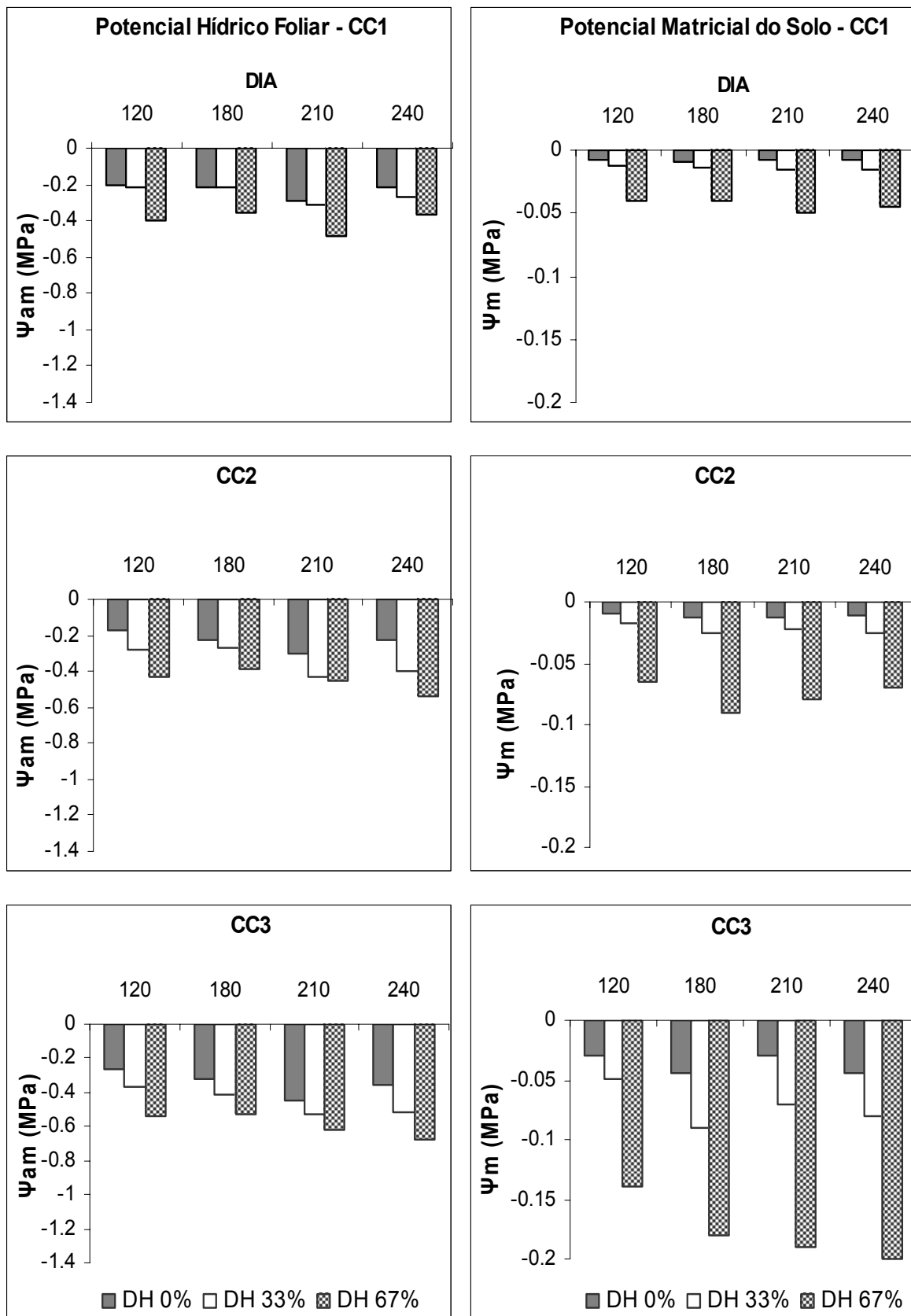


Figura 8 - Potencial hídrico foliar do cafeeiro conilon na antemanhã (Ψ_{am}) e potencial matricial do solo (Ψ_m) nos níveis de capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) e déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) observados no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV).

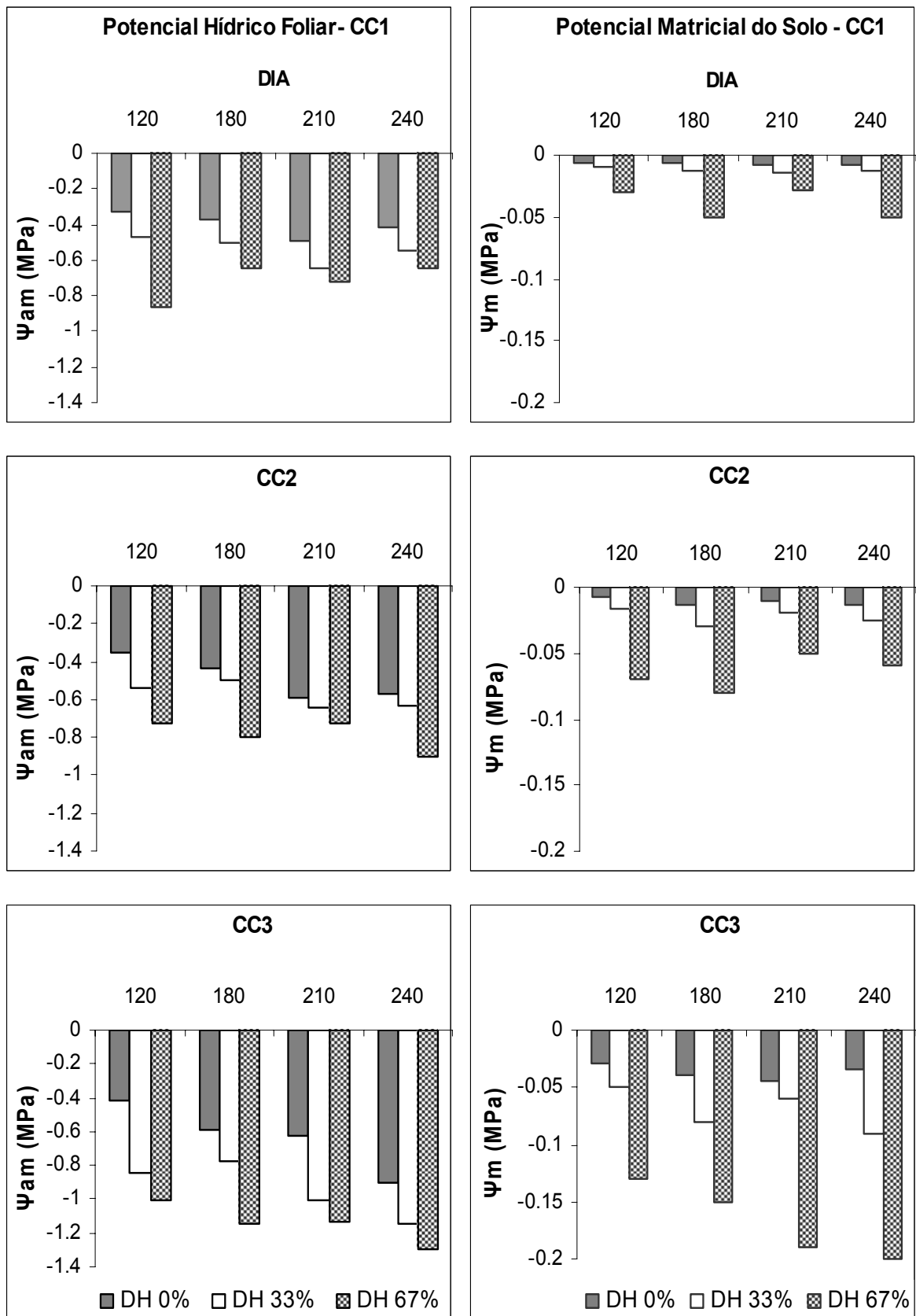


Figura 9 - Potencial hídrico foliar do cafeeiro conilon na antemanhã (Ψ_{am}) e potencial matricial do solo (Ψ_m) nos níveis de capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) e déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) observados no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Na análise de variância apresentada na Tabela 5, verifica-se que não houve interação entre os níveis da capacidade de campo (CC_1 , CC_2 e CC_3) e déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%), em ambos os solos (LV e PVA). Assim, cada fator foi estudado separadamente. Não se observaram diferenças significativas entre os valores do Ψ_{am} obtidos nos níveis da capacidade de campo determinada nas tensões de 0,006 MPa (CC_1) e 0,010 MPa (CC_2), que diferiram estatisticamente daqueles obtidos na tensão de 0,033 MPa (CC_3), tanto no LV quanto no PVA. Por sua vez, verifica-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de Ψ_{am} nos níveis de déficits hídricos, em ambos os solos (Figura 10).

Diante do exposto, percebe-se que a variação do Ψ_{am} está associada ao potencial matricial de água no solo (Ψ_m) e, conseqüentemente, à umidade do solo. Nota-se que a maior disponibilidade hídrica do LV condicionou o cafeeiro conilon a elevados valores de Ψ_{am} superando os resultados obtidos no PVA, em todos os níveis de capacidade de campo e déficits hídricos.

TABELA 5 – Análise de variância do potencial hídrico foliar do cafeeiro conilon para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) nos níveis de capacidade de campo e déficits hídricos

FV	GL	Quadrado Médio	
		LV	PVA
Déficit hídrico (DH)	2	13,3740*	41,4609*
Capacidade de campo (CC)	2	9,2939*	41,8269*
CC x DH	4	0,2694 ^{ns}	1,8285 ^{ns}
Resíduo	27	0,4175	1,3537
CV (%)		17,61	16,87
Média (MPa)		0,37	0,69

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

ns - não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

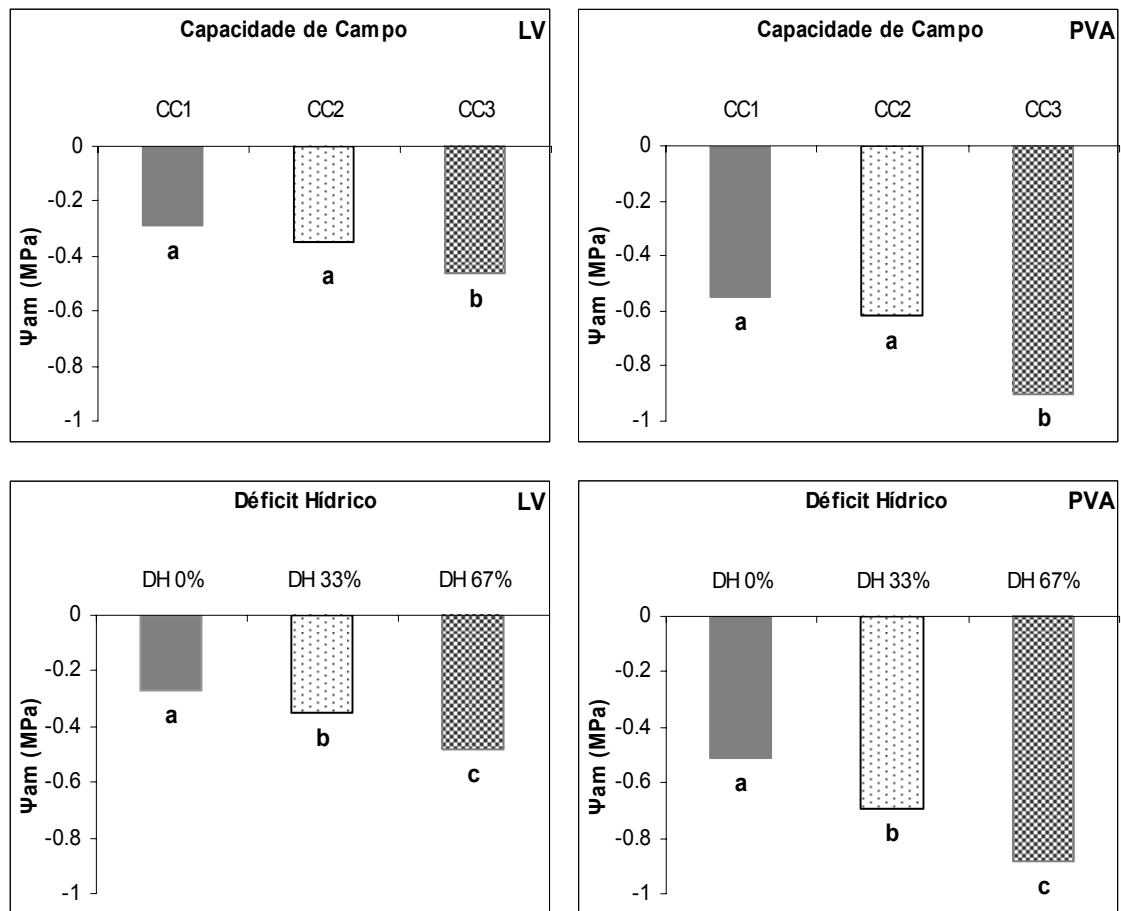


Figura 10 – Potencial hídrico foliar antemanhã (Ψ_{am}) nos níveis de capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) e déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) observados no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

As Equações 1 e 2 referem-se às superfícies de resposta, em que a estimativa do acúmulo de matéria seca total (\hat{Y}_{MS_T}), foi feita em função dos déficits hídricos (DH), expressos em porcentagem, e do número de dias após a instalação do experimento (D), para a capacidade de campo determinada na tensão de 0,006 MPa no LV e no PVA (Figura 11). Os valores da variável dependente de matéria seca total (MS_T) no LV tenderam a crescer com o número de dias após a instalação do experimento, em todos os níveis de déficits hídricos, devido ao comportamento quadrático, e a decrescer na aplicação dos déficits hídricos de 33% e 67% (DH 33% e DH 67%) em relação à ausência de déficit hídrico (DH 0%), devido a apresentar comportamento linear. Já no PVA, a variável dependente MS_T teve comportamento quadrático em relação ao número de dias após a instalação do experimento e dos déficits hídricos. Os valores de MS_T tenderam a crescer com o número de dias após

a instalação do experimento, em todos os níveis de déficits hídricos, e a decrescer na aplicação do déficit hídrico de 33% (DH 33%) em relação à ausência de déficit hídrico (DH 0%) e a crescer em DH 67%.

$$\hat{Y}_{MST} = 14,6121 - 0,1734 * D + 0,0026 * D^2 + 0,2053 * DH - 0,0038 * D * DH \quad R^2 = 0,99 \quad (1)$$

$$\hat{Y}_{MST} = 27,6552 - 0,1302 * D + 0,0012 * D^2 - 0,9539 * DH + 0,0124 * DH^2 \quad R^2 = 0,85 \quad (2)$$

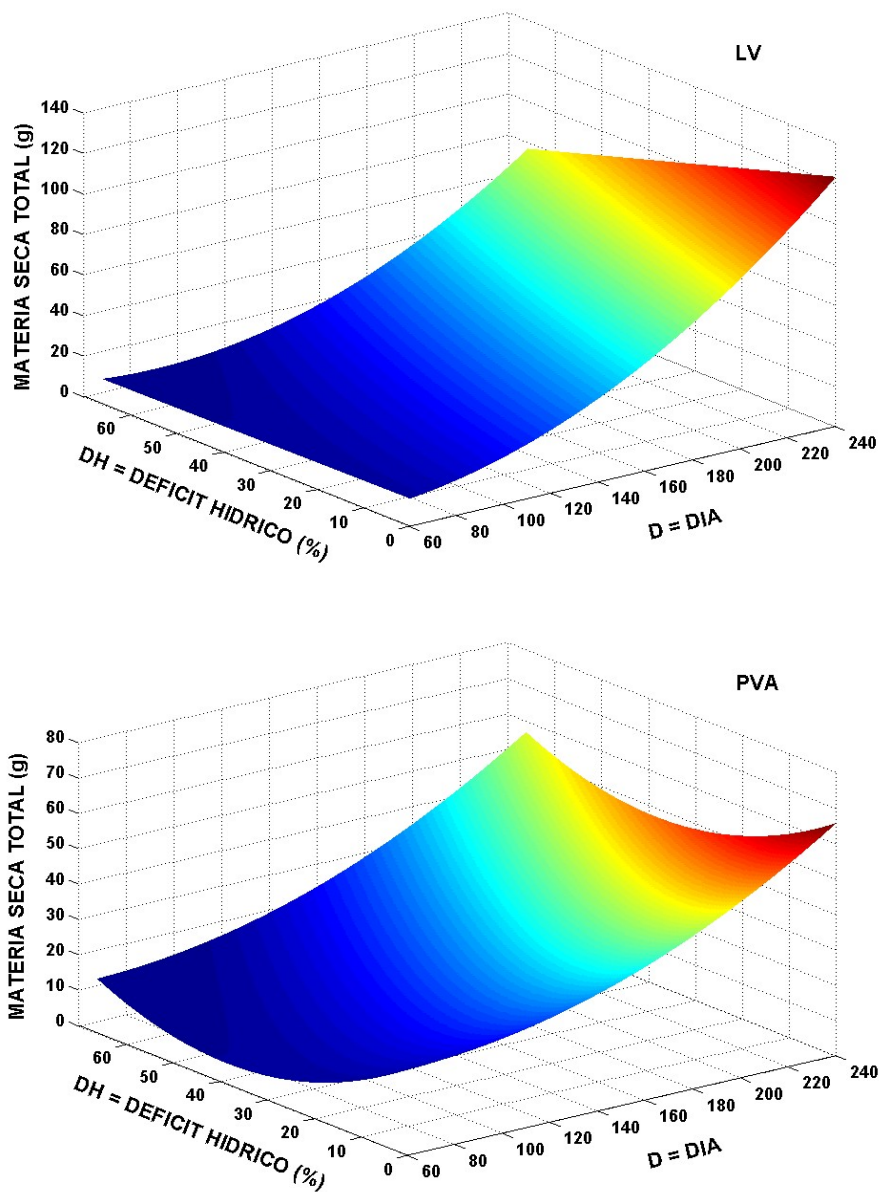


Figura 11 - Superfícies de resposta de matéria seca total do cafeeiro conilon em função dos déficits hídricos (DH) da capacidade de campo determinada na tensão de 0,006 MPa (CC_1) e do número de dias após a instalação do experimento (D) observadas no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Na Figura 12, estão representadas as curvas de matéria seca total (MS_T), obtidas de cortes das superfícies de resposta relativas às equações 1 e 2, nos déficits hídricos (DH) e no número de dias após a instalação do experimento (D), para a capacidade de campo determinada na tensão de 0,006 MPa no LV e no PVA.

Ainda na Figura 12, verifica-se que para a CC_1 do LV, o acúmulo de MS_T do cafeeiro conilon aos 240 dias em DH 0% de 126,88 g foi superior aos obtidos em DH 33% e DH 67%. Esses resultados indicam que em DH 33% e DH 67% ocorreu redução de 18,4% e 37,4%, respectivamente, no acúmulo de matéria seca total. Para o PVA, o acúmulo de MS_T de 71,19 g em DH 0% também superou os resultados obtidos em DH 33% e DH 67%, com redução em seus valores de 25,2% e 11,5%, respectivamente. Contudo, a curva de MS_T em DH 67% chama atenção pelo posicionamento acima da DH 33% devido ao maior acúmulo de matéria seca total do cafeeiro conilon em todo o período de avaliação do experimento. Isso deve ser melhor investigado, podendo-se supor que foi uma resposta positiva da cultura à maior lâmina de irrigação aplicada neste solo (1090 mL/vaso) em relação as lâminas aplicadas em DH 0% e DH 33%, o que denota maior eficiência no uso da água.

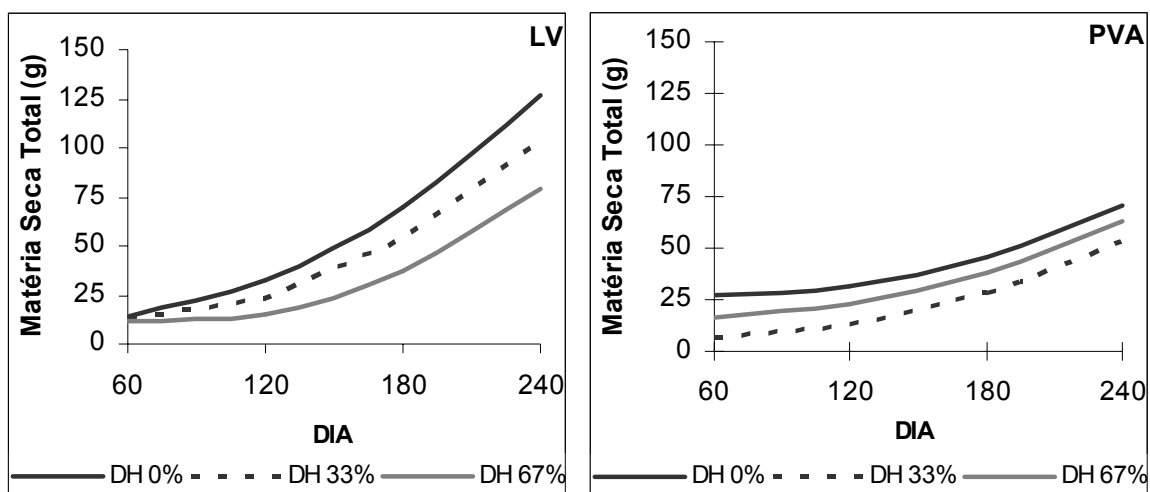


Figura 12 - Acúmulo de matéria seca total do cafeeiro conilon nos déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) em relação ao número de dias após a instalação do experimento (D) na capacidade de campo determinada na tensão de 0,006 MPa no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

As Equações 3 e 4 referem-se às superfícies de resposta, em que a estimativa do acúmulo de matéria seca total (\hat{Y}_{MS_T}) foi feita em função dos déficits hídricos (DH), expressos em porcentagem, e do número de dias após a instalação do experimento (D), para capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa no LV e no PVA (Figura 13). Os valores da variável dependente MS_T tenderam a crescer com o número de dias após a instalação do experimento, em todos os níveis de déficits hídricos, devido ao comportamento quadrático, e a decrescer na aplicação dos déficits hídricos de 33% e 67% (DH 33% e DH 67%), em relação à ausência de déficit hídrico (DH 0%), devido a apresentar comportamento linear, tanto no LV como no PVA.

$$\hat{Y}_{MS_T} = 37,6552 - 0,6459 * D + 0,0044 * D^2 + 0,0951 * DH - 0,0026 * D * DH \quad R^2 = 0,98 \quad (3)$$

$$\hat{Y}_{MS_T} = 14,1219 - 0,0027 * D + 0,0006 * D^2 - 0,0358 * DH - 0,0008 * D * DH \quad R^2 = 0,94 \quad (4)$$

Na Figura 14, estão representadas as curvas de matéria seca total (MS_T), obtidas de cortes das superfícies de resposta relativas às equações 3 e 4, nos déficits hídricos (DH) e no número de dias após a instalação do experimento (D) para a capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa no LV e no PVA.

Ainda pela Figura 14, observa-se pelas diferenças entre as curvas do LV e PVA que estes solos apresentaram comportamentos distintos quanto ao acúmulo de matéria seca total (MS_T). Verifica-se que o acúmulo de MS_T do cafeeiro conilon no LV, aos 240 dias, foi mais elevado do que no PVA, em todos os níveis de déficits hídricos. Nota-se em DH 33% e DH 67%, tal como ocorreu em 0,006 MPa, redução no acúmulo de matéria seca total de 13% e 26,4% no LV e de 15,5% e 31,2% no PVA, respectivamente. Contudo, comparando-se os valores de matéria seca total em DH 0%, verifica-se que o resultado obtido no PVA (51,93 g) corresponde a apenas 37,3% do LV (139,16 g), caracterizando a diferença existente entre os solos quanto ao armazenamento de água e disponibilização à cultura, refletindo em seu crescimento e, sobretudo, na produção de MS_T .

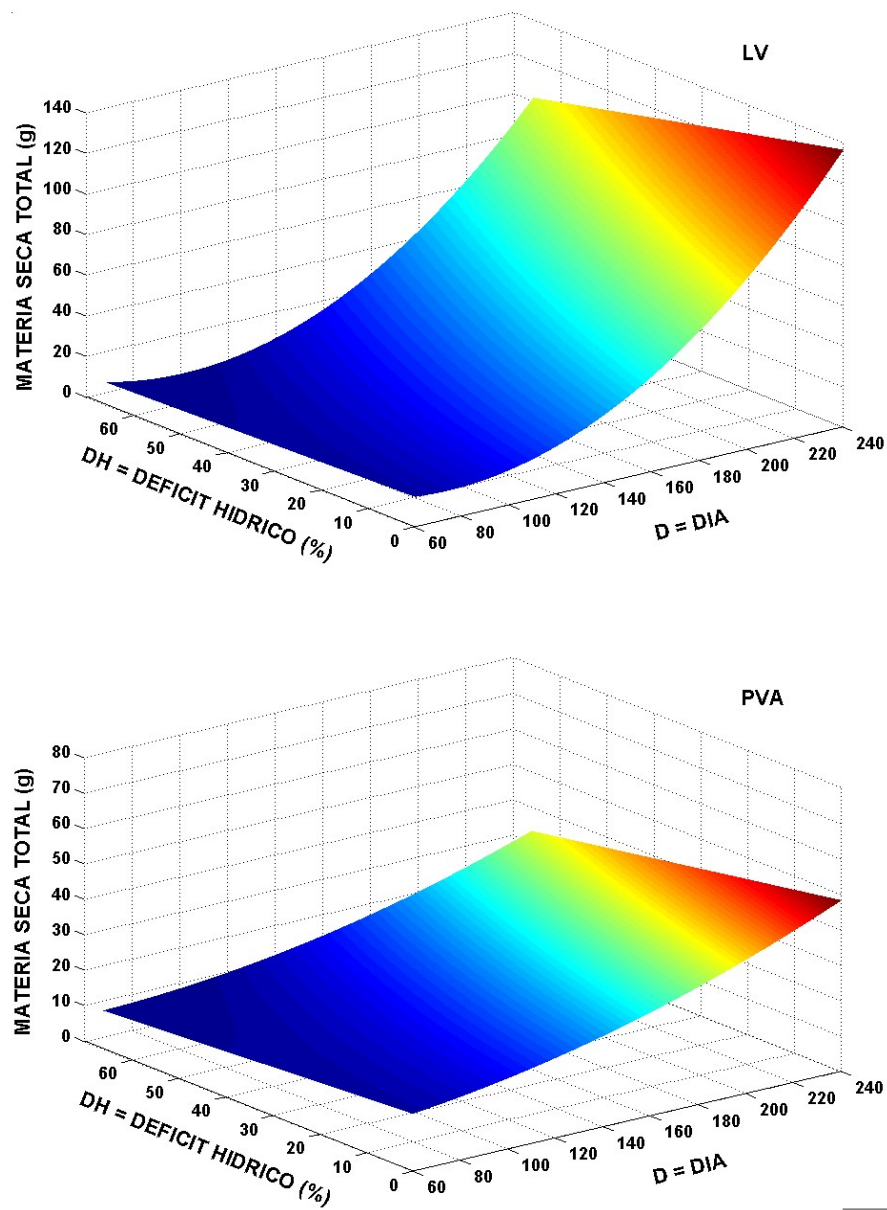


Figura 13 – Superfícies de resposta de matéria seca do cafeeiro conilon em função dos déficits hídricos (DH) da capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa (CC_1) e do número de dias após a instalação do experimento (D) observadas no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

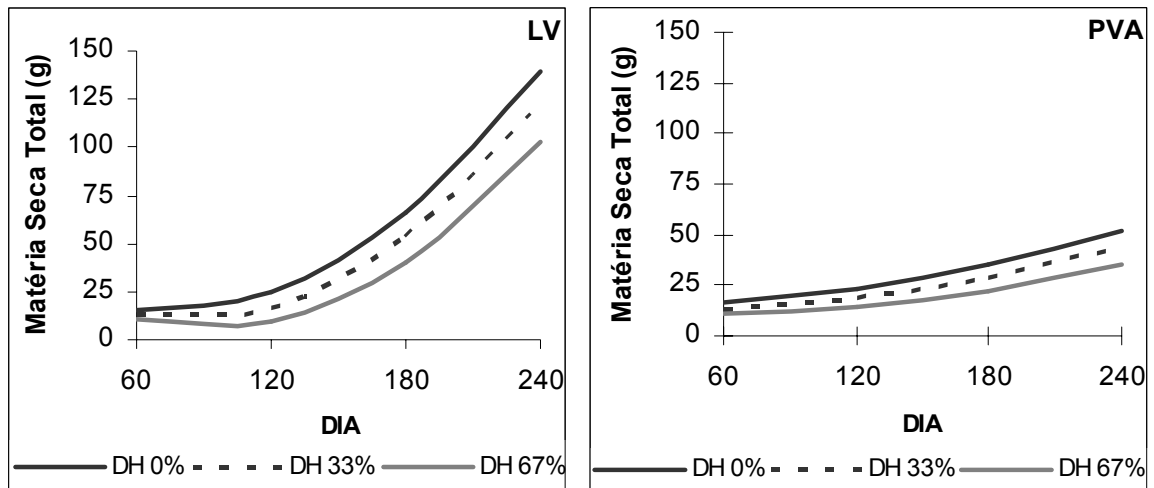


Figura 14 - Acúmulo de matéria seca total do cafeeiro conilon nos déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) em relação ao número de dias após a instalação do experimento (D) na capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

As Equações 5 e 6 referem-se às superfícies de resposta, em que a estimativa do acúmulo de matéria seca total (\hat{Y}_{MS_T}) foi feita em função dos déficits hídricos (DH), expressos em porcentagem, e do número de dias após à instalação do experimento (D), para capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa no LV e no PVA (Figura 15). Os valores da variável dependente matéria seca total (MS_T), tal como aconteceu na CC_2 , tenderam a crescer com o número de dias após a instalação do experimento, em todos os níveis de déficits hídricos, devido apresentarem comportamento quadrático, e a decrescer na aplicação dos déficits hídricos de 33% e 67% (DH 33% e DH 67%), em relação à ausência de déficit hídrico (DH 0%), devido ao comportamento linear, tanto no LV como no PVA.

$$\hat{Y}_{MS_T} = 16,6896 - 0,2013 * D + 0,0017 * D^2 + 0,1038 * DH - 0,0020 * D * DH \quad R^2=0,94 \quad (5)$$

$$\hat{Y}_{MS_T} = 15,0191 - 0,0841 * D + 0,0005 * D^2 - 0,0368 * DH - 0,0003 * D * DH \quad R^2=0,81 \quad (6)$$

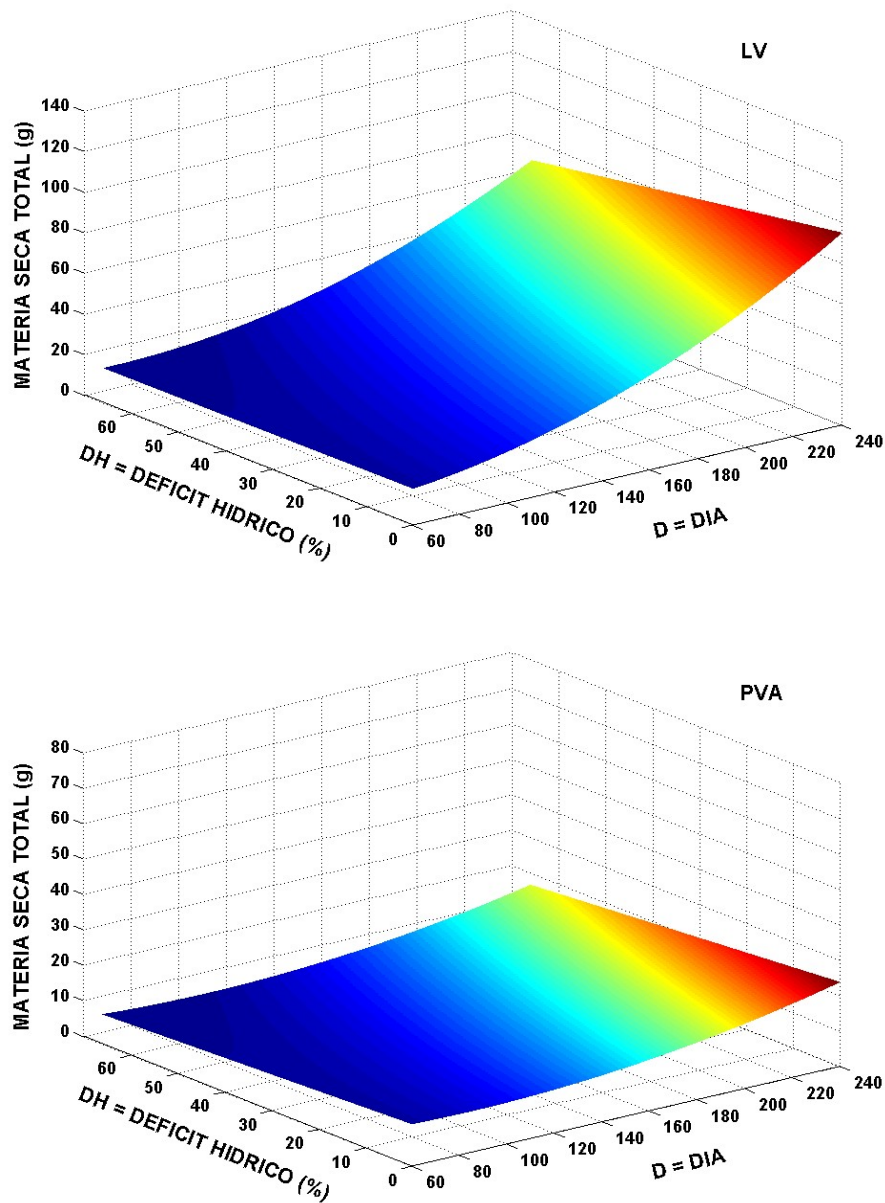


Figura 15 – Superfícies de resposta de matéria seca do cafeeiro conilon em função dos déficits hídricos (DH) da capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa (CC_1) e do número de dias após a instalação do experimento (D) observadas no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Na Figura 16, estão representadas as curvas de matéria seca total (MS_T), obtidas de cortes das superfícies de resposta relativas às equações 5 e 6, nos déficits hídricos (DH) e no número de dias após a instalação do experimento (D), para a capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa no LV e no PVA. Aos 240 dias, nota-se que a curva em DH 0% posicionou-se acima das demais devido ao maior acúmulo de MS_T no LV (70,32 g) e PVA (25,15 g). Em DH 33% e

DH 67%, houve redução no acúmulo de MS_T de 18,2% e 36,9% no LV e de 15,5% e 31,6% no PVA, respectivamente. Diante disso, verifica-se que os resultados de MS_T nos déficits hídricos da CC_3 foram inferiores aos obtidos na CC_1 e CC_2 .

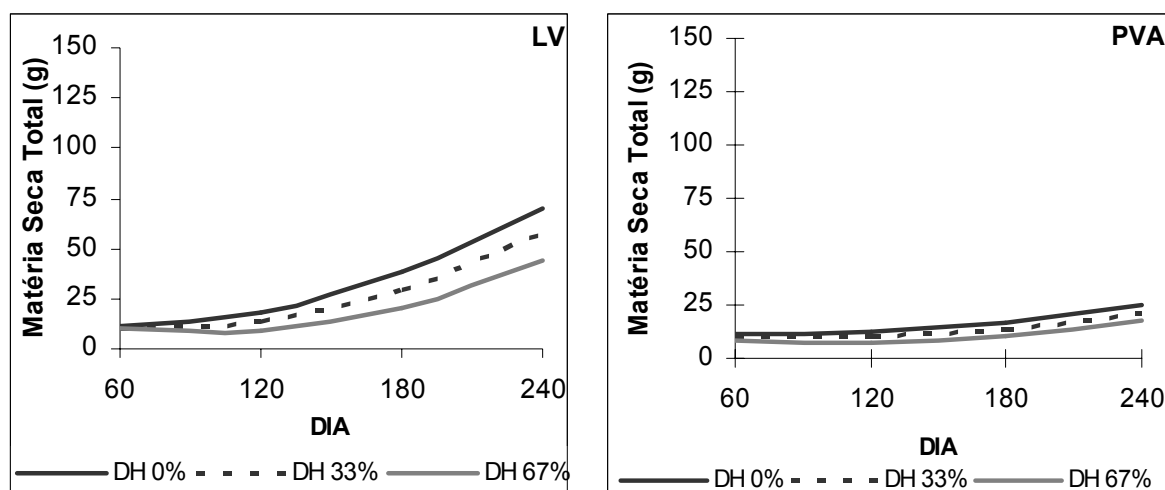


Figura 16 - Acúmulo de matéria seca total do cafeeiro conilon nos déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) em relação ao número de dias após a instalação do experimento (D) na capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Para se avaliar a necessidade ou não da irrigação em determinado momento, pode-se fazer uso do fator de disponibilidade de água no solo, que para o cafeeiro, não deve ultrapassar o limite máximo de 60% (Bonomo, 1999). Desse modo, conforme esperado, no déficit hídrico de 67% da água disponível do LV e do PVA, observou-se menor acúmulo de matéria seca total (MS_T) do cafeeiro conilon em todos os níveis da capacidade de campo (CC_1 , CC_2 e CC_3) com relação aos resultados obtidos quando o teor de umidade do solo foi mantido próximo à capacidade de campo (DH 0%). Contudo, verifica-se que as lâminas de irrigação estimadas para a capacidade de campo determinada nas tensões de 0,010 MPa (CC_2) no LV e 0,006 MPa (CC_1) no PVA, promoveram o maior crescimento do cafeeiro conilon, sugerindo que a reposição da água consumida pela cultura foi adequada nesses tratamentos e para as condições em que o experimento foi conduzido.

Observa-se que o acúmulo de MS_T no LV foi superior ao do PVA, em todos os níveis da capacidade de campo e de déficits hídricos. As diferenças tornam-se

expressivas ao se verificar que o maior acúmulo de MS_T obtido no PVA em DH 0% ($CC_1 = 71,19$ g) corresponde apenas a 51,16% daquele obtido no LV, também em DH 0% ($CC_2 = 139,16$ g), podendo-se deduzir que a retenção de água pelo solo foi determinante no crescimento inicial do cafeeiro conilon.

As Equações de número 7 a 15 referem-se às superfícies de resposta em que, a estimativa de área foliar (\hat{Y}_{AF}), altura da planta (\hat{Y}_{AP}) e diâmetro do caule (\hat{Y}_{DC}) foi feita em função dos déficits hídricos (DH), expressos em porcentagem, e do número de dias após a instalação do experimento (D), para os níveis de capacidades de campo (CC_1 , CC_2 e CC_3) do LV. As curvas de área foliar, altura da planta e diâmetro do caule, obtidas de cortes das superfícies de resposta relativas às equações de número 7 a 15, estão representadas na Figura 17.

$$\hat{Y}_{AF} = 163,675 + 13,2885 * D + 0,0576 * D^2 - 1,4561 * DH - 0,1272 * D * DH \quad R^2 = 0,98 \quad (7)$$

$$\hat{Y}_{AF} = 1245,24 - 7,8644 * D + 0,1311 * D^2 - 5,0284 * DH - 0,1158 * D * DH \quad R^2 = 0,98 \quad (8)$$

$$\hat{Y}_{AF} = 893,579 - 2,6631 * D + 0,0594 * D^2 - 1,3645 * DH - 0,0743 * D * DH \quad R^2 = 0,87 \quad (9)$$

$$\hat{Y}_{AP} = 32,0203 - 0,0343 * D + 0,0007 * D^2 + 0,0112 * DH - 0,0007 * D * DH \quad R^2 = 0,95 \quad (10)$$

$$\hat{Y}_{AP} = 37,2050 - 0,1095 * D + 0,0010 * D^2 + 0,0756 * DH - 0,0018 * DH^2 - 0,0004 * D * DH \quad R^2 = 0,98 \quad (11)$$

$$\hat{Y}_{AP} = 26,5447 + 0,0950 * D - 0,00004 * D^2 - 0,897 * DH + 0,0002 * D * DH \quad R^2 = 0,79 \quad (12)$$

$$\hat{Y}_{DC} = 4,0136 + 0,0179 * D + 0,0001 * D^2 - 0,0070 * DH - 0,0002 * D * DH \quad R^2 = 0,98 \quad (13)$$

$$\hat{Y}_{DC} = 5,7322 - 0,0179 * D + 0,0003 * D^2 + 0,0052 * DH - 0,0003 * D * DH \quad R^2 = 0,98 \quad (14)$$

$$\hat{Y}_{DC} = 6,2089 - 0,0268 * D + 0,0002 * D^2 - 0,0016 * DH - 0,0001 * D * DH \quad R^2 = 0,93 \quad (15)$$

Conforme pode ser observado na Figura 17, aos 240 dias e na ausência de déficit hídrico (DH 0%) da capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa (CC_2) no LV, o cafeeiro conilon obteve maiores valores de área foliar (6913,33 cm^2), altura (70,12 cm) e diâmetro do caule (18,80 mm). Resultados inferiores foram

obtidos pela cultura na CC₁ (0,006 MPa), apresentando 6676,01 cm² de área foliar, 67,16 cm de altura e 17,13 mm de diâmetro do caule. Todavia, na capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa (CC₃), as plantas apresentaram os menores valores de área foliar (3676,32 cm²), altura (46,81 cm) e diâmetro do caule (13,50 mm), também na ausência do déficit hídrico, o que corresponde a 53,18%; 66,76% e 71,8% dos valores obtidos na CC₂. Nota-se, ainda, que houve redução nos valores de área foliar, altura da planta e diâmetro do caule na aplicação dos déficits hídricos de 33% e 67% em todos os níveis da capacidade de campo. A redução na altura das plantas, em DH 33% e DH 67% foi, respectivamente, de 8,53% e 17,33% na CC₁ e de 4,88% e 15,94% na CC₂. Já na CC₃, observa-se que a influência dos déficits hídricos na altura das plantas foi pouco pronunciada. Por sua vez, verifica-se que houve redução no diâmetro do caule em DH 33% e DH 67%, com índices médios de 12,19% e 24,75%, em todos os níveis da capacidade de campo.

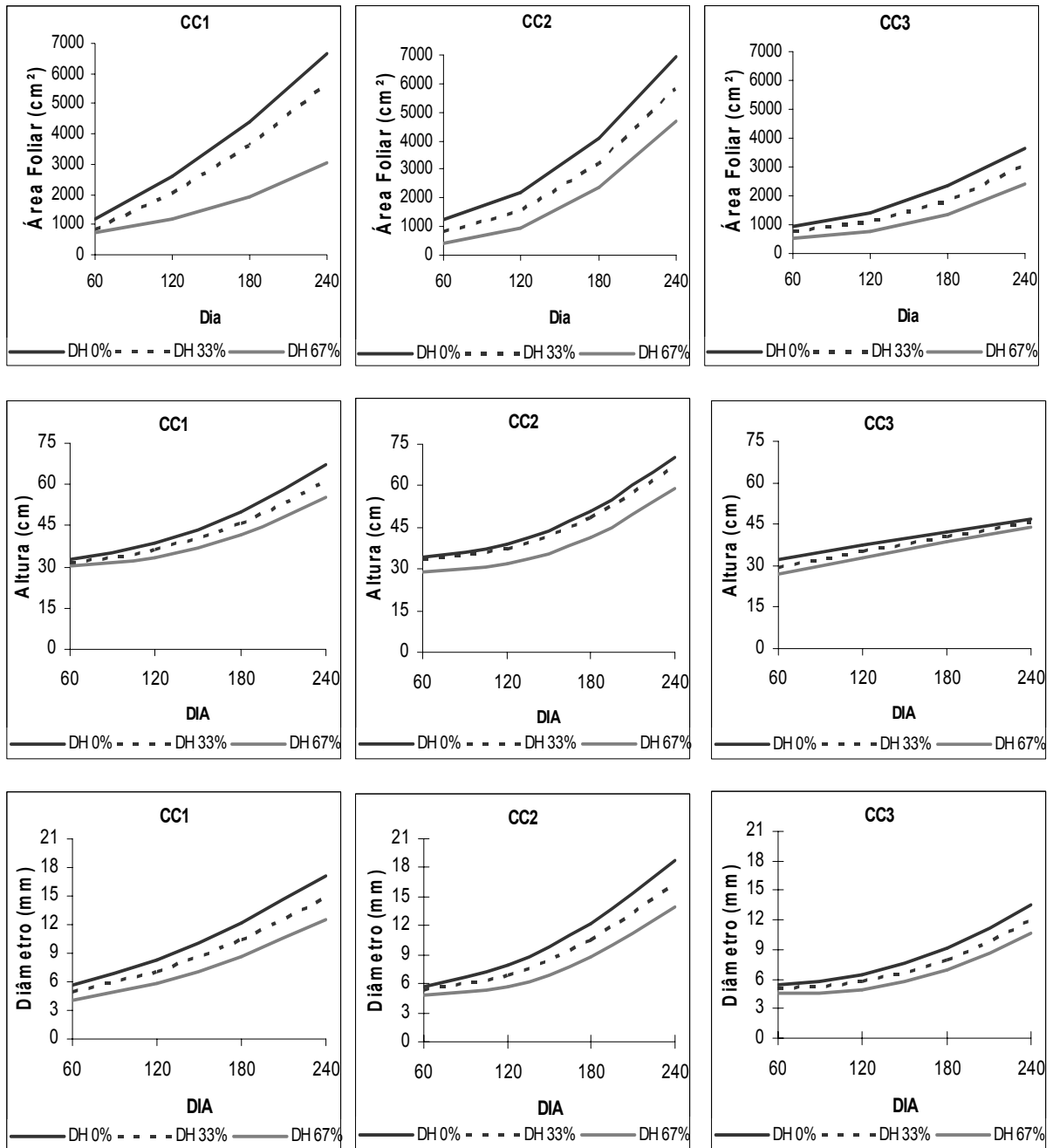


Figura 17 – Área foliar, altura da planta e diâmetro do caule do cafeeiro conilon nos níveis de capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) em função dos déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) e do número de dias após a instalação do experimento (D) no Latossolo Vermelho-Amarelo.

As Equações de número 16 a 22 referem-se às superfícies de resposta, em que a estimativa de área foliar (\hat{Y}_{AF}), altura da planta (\hat{Y}_{AP}) e diâmetro do caule (\hat{Y}_{DC}), foram feitas em função dos déficits hídricos (DH) expressos em porcentagem e do número de dias, após a instalação do experimento (D), para os níveis de

capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) do PVA. As curvas de área foliar, altura da planta e diâmetro do caule, obtidas de cortes das superfícies de resposta relativas às equações de número 16 a 22, estão representadas na Figura 18.

$$\hat{Y}_{AF} = 2180,57 - 6,5563 * D + 0,0482 * D^2 - 63,2977 * DH + 0,6094 * DH^2 + 0,0728 * D * DH \quad R^2 = 0,81 \quad (16)$$

$$\hat{Y}_{AF} = 925,55 + 7,0034 * D - 20,0363 * DH + 0,1859 * DH^2 * DH - 0,0230 * D * DH \quad R^2 = 0,87 \quad (17)$$

$$\bar{Y}_{AF} = 757 \text{ cm}^2$$

$$\hat{Y}_{AP} = 34,7873 + 0,0757 * D - 0,3783 * DH + 0,0026 * DH^2 + 0,0006 * D * DH \quad R^2 = 0,97 \quad (18)$$

$$\hat{Y}_{AP} = 39,0250 - 0,0752 * D + 0,0005 * D^2 - 0,3670 * DH + 0,0039 * DH^2 \quad R^2 = 0,95 \quad (19)$$

$$\hat{Y}_{AP} = 34,0978 - 0,0491 * D + 0,0003 * D^2 - 0,1380 * DH + 0,0003 * D * DH \quad R^2 = 0,92 \quad (20)$$

$$\hat{Y}_{DC} = 4,4650 + 0,0186 * D + 0,00005 * D^2 - 0,0556 * DH + 0,0006 * DH^2 \quad R^2 = 0,94 \quad (21)$$

$$\hat{Y}_{DC} = 3,7311 + 0,0253 * D + 0,00002 * D^2 + 0,0064 * DH - 0,0001 * D * DH \quad R^2 = 0,93 \quad (22)$$

$$\bar{Y}_{DC} = 5,76 \text{ mm}$$

Conforme pode ser observado na Figura 18, aos 240 dias, na ausência de déficit hídrico (DH 0%) da capacidade de campo determinada na tensão de 0,006 MPa (CC₁) no PVA, o cafeeiro conilon obteve maiores valores de área foliar (3386,57 cm²), altura (52,97 cm) e diâmetro do caule (12,18 mm). Entretanto, no déficit hídrico de 67%, os valores de área foliar, altura e diâmetro do caule foram superiores ao obtido em DH 33%, mesmo as plantas estando menos hidratadas ($\Psi_{am} = -0,72$ MPa). Resultados inferiores foram obtidos em DH 0% na CC₂ (0,010 MPa), quando as plantas apresentaram 2606,03 cm² de área foliar, 50,62 cm de altura e 11,53 mm de diâmetro do caule. Todavia, na capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa (CC₃), foram observados os menores valores de área foliar, altura e diâmetro do caule. Entretanto, não houve diferenças

significativas nos níveis de déficits hídricos para os valores de área foliar (757 cm^2) e diâmetro do caule ($5,76 \text{ mm}$). Nota-se, ainda, que houve pequena redução na altura das plantas na aplicação dos déficits hídricos de 33% e 67%, em todos os níveis de capacidade de campo (CC_1 , CC_2 e CC_3).

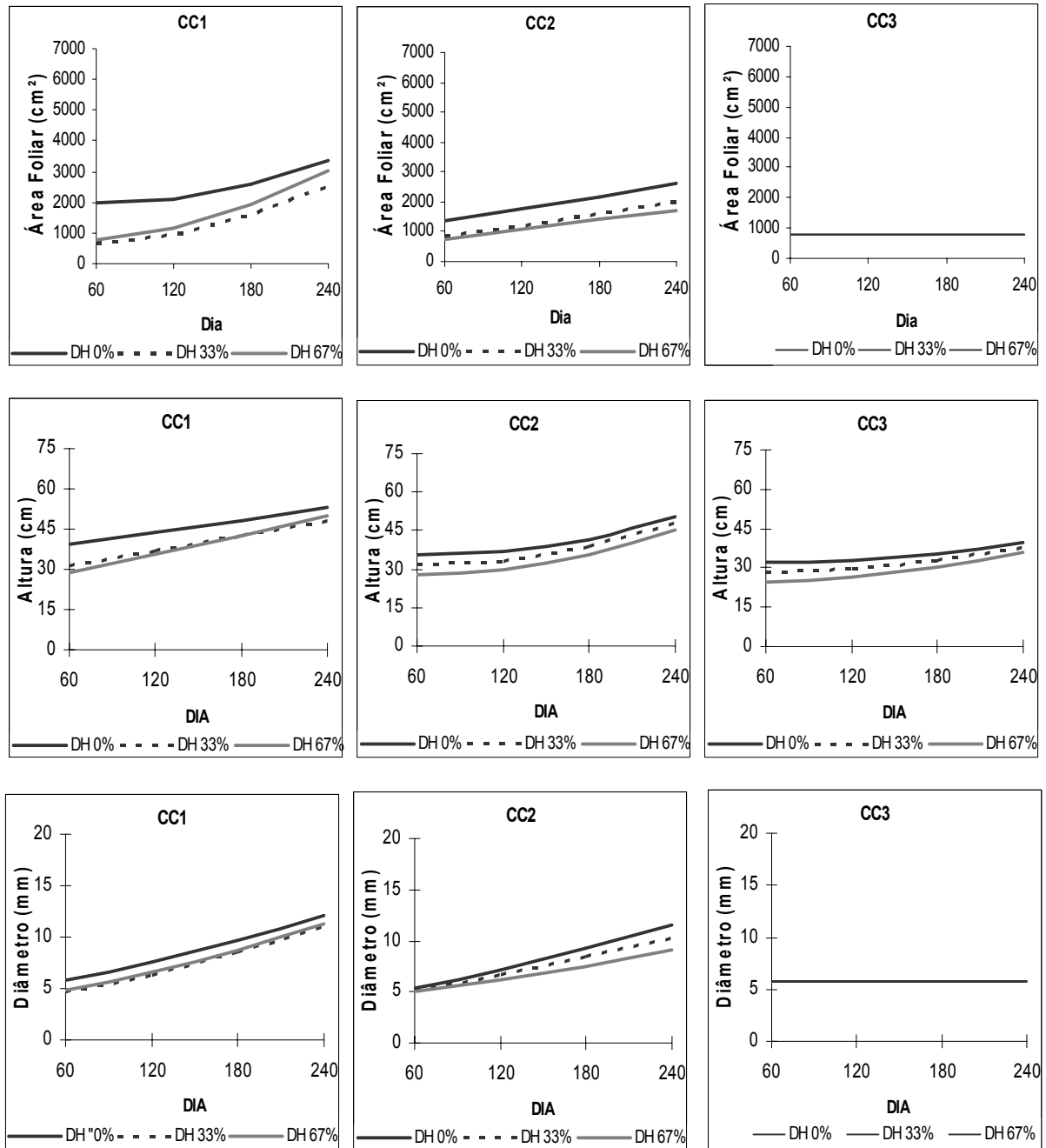


Figura 18 – Área foliar, altura da planta e diâmetro do caule do cafeeiro conilon nos níveis de capacidade de campo (CC_1 , CC_2 e CC_3) em função dos déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) e do número de dias após a instalação do experimento (D) no Argissolo Vermelho-Amarelo.

No estabelecimento dos déficits de 33% e 67% da água disponível do LV e do PVA, observou-se redução nos valores de área foliar, altura da planta e diâmetro do caule em todos os níveis da capacidade de campo, sendo esta mais pronunciada no LV do que no PVA. Quando o conteúdo de água do solo é sensivelmente reduzido, há diminuição do contato com as raízes interrompendo o fluxo de água do solo para as plantas. Daí, os baixos potenciais hídricos observados no tecido vegetal provocam reduzida expansão celular, taxas fotossintéticas menores e fechamento estomático (Reddy et al., 1997). Então, o esgotamento progressivo de água no solo leva a inibição do crescimento vegetal e da fotossíntese.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- Na ausência de déficit hídrico, o crescimento inicial do cafeeiro conilon foi superior aos obtidos nos déficits hídricos de 33% e 67% de água disponível do Latossolo Vermelho-Amarelo e do Argissolo Vermelho-Amarelo.
- A capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa não representa a máxima retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo e do Argissolo Vermelho-Amarelo, o que inviabiliza a sua adoção na estimativa da lâmina de irrigação para estes solos.
- O teor de umidade na capacidade de campo varia com a tensão adotada em sua determinação, utilizando-se a câmara de pressão de Richards.
- O potencial hídrico foliar antemanhã, medido antes do nascer do sol, mostrou-se bom indicador do grau de hidratação das plantas do cafeeiro conilon.
- O acúmulo de matéria seca total e os valores de potencial hídrico foliar antemanhã do cafeeiro conilon no Latossolo Vermelho-Amarelo foram superiores aos do Argissolo Vermelho-Amarelo nos níveis de capacidade de campo e déficits hídricos.

- O maior crescimento inicial do cafeeiro conilon foi obtido na capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa no Latossolo Vermelho-Amarelo e na tensão 0,006 MPa no Argissolo Vermelho-Amarelo.
- Nos déficits hídricos de 33% e 67% da água disponível do Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolo Vermelho-Amarelo foram verificados os menores valores de área foliar, altura da planta e diâmetro do caule do cafeeiro conilon.
- Os déficits hídricos da capacidade de campo determinada na tensão de 0,033 MPa do Latossolo Vermelho-Amarelo e do Argissolo Vermelho-Amarelo condicionaram o cafeeiro conilon aos mais baixos valores de potencial hídrico foliar antemanhã e menor acúmulo de matéria seca total, resultando no menor crescimento das plantas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. L. T.; COELHO, E. F.; COUTO, L.; SILVA, E. L. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELA, L. A.; SILVA, A. M. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.1-132.

ANDRADE, C. L. T.; FREITAS, J. A. D.; LUZ, L. R. Q. P. Características físico-hídricas de solos arenosos de tabuleiros litorâneos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1991, Natal. **Anais...** Natal: ABIS, 1991. v.1, p.1069-1095.

AGRIANUAL - FNP. Disponível em: <<http://www.agrianula.com.br/agricultura/café/index.php>>. Acesso em: 20 jan. 2006.

AGRIANUAL 2002. Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP. Consultoria e Comércio/Mendes & Scotoni, 2002. 508p.

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, 2003.

ARRUDA, F. B.; ZULLO JR., J.; OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, p. 11-15, 1987.

BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; SILVA, E. A. da; PIRES, R. C. de M. Potencial da água na folha do cafeeiro irrigado por diferentes configurações de gotejamento superficial e subsuperficial. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Brasília-DF: EMBRAPA/Café, 2005. CD-ROM.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa - MG: UFV. Imprensa Universitária, 2005. 611p.

BERNARDO, S.; SOUSA, E. F.; GOMES, M. C. R. Efeito do déficit de água em alguns parâmetros fisiológicos do café (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória-ES. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2001. CD-ROM.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.829-834, 2002.

BRAGANÇA, S. M.; MARTINEZ, H. H. P.; LEITE, H. G.; SEDIYAMA, C. S.; VENEGAS, V. H. A.; MOSQUIM, P. R.; LANI, J. A. Acúmulo de matéria seca e taxa de crescimento do cafeeiro conilon. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 31., 2005, Guarapari-ES. **Anais...** Brasília, MARA/PROCAFÉ. 2005. p.71-72.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

CARVALHO, L. G. de; SAMPAIO, S. C.; SILVA, A. da. Determinação da umidade na capacidade de campo "In situ" de um Latossolo Roxo Distrófico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.7, p.33-39, 1996.

CENTURION, J. F.; ANDREOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, p.701-709, 2000.

CENTURION, J. F.; MORAES, M. H.; DELLA LIBERA, C. L. F. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.173-179, 1997.

CHONG, S.K.; GREEN, R.E.; AHUJA, L.R. Infiltration prediction based on estimation of Green-Ampt wetting front pressure head from measurements of soil water redistribution. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.235-239, 1982.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Safra 2005/2006. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/centro.asp?aPAG=27>>. Acesso em: 25 jan. 2006.

DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: 4ª Aproximação**, Vitória, ES: SEEA/INCAPER, 2001. 266p.

DaMATTA, F. M.; RENA, A. B. Tolerância do café à seca. In: Zambolin, L. (Ed.). **Tecnologia de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia. 2001. p.65-100.

DaMATTA, F. M.; SILVEIRA, J. M.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Uso da água e tolerância a seca em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. **Anais...** EMBRAPA/CAFÉ, Brasília, p.907-910. 2000b.

DEMATTE, J. L. I. **Manejo de solos ácidos dos trópicos úmidos - região amazônica**. Campinas: Fundação Cargil, 1988. 215p.

DIAS, C. P.; ARAÚJO, W. L.; MORAES, G. A. B. K. de; POMPELLI, M. F.; BATISTA, K. D.; CATEN, A. T.; VENTRELLA, M. C.; DAMATTA, F. M. Crescimento e alocação de biomassa em duas progênies de café submetidas a déficit hídrico moderado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Brasília-DF: EMBRAPA/Café, 2005. CD-ROM.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.191-192, jan./mar. 2000.

DOURADO NETO, D.; JONG van LIER, Q.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v.1, p.92-102, 1990.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Relatório da estimativa da safra cafeeira no Brasil safra 1999/2000**. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café. 6p. Maio, 1999.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro. 1997. 212p.

FAVARIN, J. L.; DOURADO NETO, D.; GARCIA, A. G.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. V. Equações para estimativa do índice foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.769-773, 2002.

FERREIRA, M. M.; MARCOS, Z. Z. Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico e Regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 96-101, jan./mar. 1983.

FONSECA, A. F.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FILHO, A. C. V.; VOLPI, P. S.; ZUCATELLI, F. **Incaper 8142 - Conilon Vitória: variedade clonal de café**. Vitória-ES: INCAPER, 2004. (Documento, 128).

GUTIÉRREZ, M. V.; MEINZER, F. C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **Journal of American Society of Horticulture Science**, v. 119, n. 3, p.652-657, 1994.

HILLEL, D. **Solo e água, fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970. 231p.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Some aspects of photosynthesis and relat processes in Coffea arábica. **Kenya Coffee**, v. 41, n. 486, p.309-315, 1976.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531p.

LIMA, A. L. S. **Respostas fotoquímicas e atividade do sistema antioxidativo em dois clones de *Coffea canephora* sob condições de déficit hídrico.** 2001. 21f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura do café no Brasil - novo manual de recomendações.** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ/Fundação PROCAFÉ, 2002. 387p.

MATIELLO, J.B. **Café Conilon: como plantar, tratar, colher, preparar e vender.** Rio de Janeiro:MAA/SDR/PROCAFÉ/PNFC, 1998. 162p.

MANTOVANI, E. C.; TEIXEIRA M. B., FERREIRA, P. de A.; BATISTA, R. O.; Crescimento de cafeeiros em casa de vegetação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória-ES. **Anais...** Brasília: Embrapa/Café, p.15-16, 2001.

MELLO, C. R.; OLIVEIRA, G. C.; RESCK, J. M. L.; JUNIOR, M. S. D. Estimativa da capacidade de campo baseada no ponto de inflexão da curva característica. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.26, n.4, p.836-841, jul./ago., 2002.

MORAES, S. O.; LIBARDI, P. L. Problemas metodológicos na obtenção da curva de retenção da água pelo solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50, n.3, p.383-392, 1993.

NÉTO, J. P. S.; REZENDE, J. de O. Retenção e disponibilidade de água em solos coesos dos tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Magistra**, Cruz das Almas-Ba, v.12, n.1/2, jan./dez., 2000.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil:** guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

PAIXÃO, F. J. R.; PEREIRA, J. R.; BEZERRA, J. R. C.; COSTA, T. L. Ponto de murcha permanente de um neossolo flúvio usando novas culturas indicadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004. **Anais...** São Pedro, SP, 2004. CD-ROM.

PINHEIRO, H. G. **Adaptações fisiológicas e morfológicas associadas à tolerância à seca em café robusta (*Coffea canephora* Pierre var. *Kouillon*).** 2004. 54f. Doutorado (Em Fisiologia em Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; DONAGEMMA, G. K.; MENDONÇA, E. S. Ponto de murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v.22, n.1, p.35-41, jan./mar. 2004.

QUEIROZ, T. M de; CARVALHO, J. A. Erros de estimativa da capacidade de campo de um latossolo vermelho distroférrico em vasos utilizando metodologia tradicional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004. **Anais...** São Pedro, SP, 2004. CD-ROM.

REDDY, K. R.; HODGES, H. F.; McKINION, J. M. Crop modeling and application: A cotton example. **Advances in Agronomy**, Ney York, v.59, p.226-228, 1997.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. 513p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.12, p.211-216, 1988.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, 1987.188p.

RICHARDS, L. A. Pressure-membrane apparatus, construction and use. **Agronomy Engineering**, Madison, n.28, p.451-454, 1947.

RODRIGUES, G. C.; GUERRA, A. F.; NAZARENO, R. B.; SAMPAIO, J. B.; SANZONOWICZ, C.; TOLEDO, P. M. R. Efeito do regime hídrico na floração de *Coffea arabica* L. cultivar Catuaí Rubi MG 1192 In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2003. p 143-144.

RUIZ, H. A.; FERREIRA, G. B.; PEREIRA, J. B. M. Estimativa da capacidade de campo de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos pela determinação do equivalente de umidade. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.27, n.2, p.389-393, 2003.

SANTOS, A. R. dos. **Zoneamento agroclimatológico para a cultura do café conilon (*Coffea canephora* L.) e arábica (*Coffea arabica* L.), na Bacia do Rio Itapemirim, ES**. 1999. 62f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

SCHMIDT, H. C.; DE MUNER, L. H.; FORNAZIER, M. J. (Ed.) **Cadeia produtiva do café arábica da agricultura familiar no Espírito Santo**. Vitória, ES: INCAPER, 2004. 52p.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; HEMINGSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washinton, v.148, p.339-346, 1965.

Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas - SEBRAE. **Café**. Disponível em: <http://www.sebraees.com.br/pag_cat.asp?codigo=categoria848>. Acesso em: 17 jan. 2006.

SILVA, A. M.; LIMA, E. P.; COELHO, G.; COELHO, M. R.; COELHO, G. S.; FREITAS, R. A. Comportamento fisiológico de cafeeiro sob diferentes condições hídricas e seu efeito na produção. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória-ES. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2001, p.66-71.

SISTEMAS DE ANÁLISES ESTATÍSTICA E GENÉTICAS – SAEG, versão 5.0. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes, 1993.

SOARES, A. R.; MOURA, B. R.; RODRIGUES, S. B. S.; MUDRIK, A. S.; MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. Utilização de diferentes fontes de nitrogênio e potássio na produtividade de cafeeiros irrigados e fertirrigados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 29., 2003, Araxá-MG. **Anais...** Araxá-MG: MMA/PROCAFÉ, 2003. p.60.

SOARES, A. R. **Irrigação fertirrigação fisiologia e produção do cafeeiro adulto na região da Zona da Mata de Minas Gerais**. 2001. 84f. 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: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELA, L.; VILELA, L. A. A.; SILVAA, M. (Ed). **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas, MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.281-310.

SOUSA, M. B. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, L. O.; BUFFON, V. B.; BONOMO, R. Avaliação de irrigação em propriedades de café conilon no norte do Espírito Santo. In: **Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletâneas de trabalhos**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais: UFV; DEA, 2003. 260p.

SOUZA, D. L.; REICHARDT, K. Estimativas da capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.183-189, 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.305-314, 2002.

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

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. **Soil Science**, Baltimore, v.32, p.181-193, 1931.

VAN LIER, Q. J. Índice da disponibilidade de água para as plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p. 95-106.

7. ANEXO



Figura 1A – Plantas de cafeeiro conilon nos níveis de capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) e déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) cultivadas no Latossolo Vermelho-Amarelo (LV).



Figura 2A – Plantas de cafeeiro conilon nos níveis de capacidade de campo (CC₁, CC₂ e CC₃) e déficits hídricos (DH 0%, DH 33% e DH 67%) cultivadas no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).