



WALFREDO SÉRGIO CARNEIRO FIGUEIREDO

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFEITO DO
DÉFICIT HÍDRICO NA FLORAÇÃO DO
CAFEIRO ARÁBICA**

**LAVRAS - MG
2010**

WALFREDO SÉRGIO CARNEIRO FIGUEIREDO

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO NA
FLORAÇÃO DO CAFEIRO ARÁBICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Antonio Marciano da Silva

LAVRAS - MG

2010

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

Figueiredo, Walfredo Sérgio Carneiro.

Evapotranspiração e efeito do déficit hídrico na floração do
cafeeiro arábica / Walfredo Sérgio Carneiro Figueiredo. – Lavras:
UFLA, 2010.

108 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Bibliografia.

1. Café. 2. Irrigação. 3. Ambiente protegido. 4. Florada. 5.
Coeficiente de cultura. 6. Lisimetria. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 633.7387

WALFREDO SÉRGIO CARNEIRO FIGUEIREDO

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO NA
FLORAÇÃO DO CAFEIEIRO ARÁBICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Engenharia Agrícola, área de
concentração em Engenharia de Água e Solo, para
obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 30 de abril de 2010.

Prof. Dr. Élio Lemos da Silva UFLA

Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho UFLA

Prof. Dr. Manoel Alves de Faria UFLA

Prof. Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães EPAMIG

Prof. Dr. Antonio Marciano da Silva
Orientador

LAVRAS - MG

2010

BIOGRAFIA

WALFREDO SÉRGIO CARNEIRO FIGUEIREDO, filho de Walfredo Figueiredo e Zilda Carneiro Figueiredo, nasceu em Januária - MG, em 08 de setembro de 1966.

Concluiu o ensino fundamental (antigo 1º grau) em 1981, na Escola Professor Aurélio Caciquinho em Januária - MG. No ano de 1984, formou-se em Técnico em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Januária, EAFJ - MG, e em Técnico em Contabilidade (período noturno) pelo Instituto Cultural do Médio São Francisco, localizado também em Januária - MG.

Em 1991, graduou-se em Licenciatura Plena em Ciências Agrícolas pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ.

Em abril de 1992, ingressou, por concurso público, na Fundação Educacional do Distrito Federal - DF, onde exerceu suas atividades profissionais até janeiro de 1995. Concluiu em 1994, o Curso de Especialização em Metodologia do Ensino Superior (360 horas aula) pela Faculdade Plínio Augusto do Amaral, em Amparo - SP.

Em fevereiro de 1995, ingressou por concurso público na Escola Agrotécnica Federal de Januária - MG, hoje Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas (IFNMG), Campus Januária, onde permanece como integrante do quadro efetivo de professores.

Em agosto de 2000 afastou-se do cargo para iniciar-se no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa - UFV, concluindo o referido curso em agosto de 2002.

Afastou-se novamente do cargo em agosto de 2006 para iniciar-se no Programa de Doutorado em Engenharia Agrícola, área de Engenharia de Água e Solo na UFLA, obtendo o título de Doutor em abril de 2010.

Aos meus pais, **Walfredo e Zilda,**

a quem devo tudo o que sou,

Agradeço e ofereço

A minha esposa, **Cléia,**

por ter assumido os papéis de pai, mãe e tia.

As minhas filhas, Bárbara Cleane e Bianca Lorena.

Aos meus irmãos, Roselane, Wellington e Aléssia.

A minha sogra, Geni Freitas.

Aos meus sobrinhos, Felipe, Walfredo Neto,

Fernanda e Marcus Vinícius,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças e sabedoria para a realização deste trabalho.

À Nossa Senhora Aparecida, pela iluminação constante dos meus caminhos.

Ao IFNMG - Campus Januária, na pessoa do Reitor Prof. Paulo César Pinheiro de Azevedo, pela concessão da licença para que eu pudesse me dedicar inteiramente à realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

À Embrapa-Café, pelos recursos disponibilizados.

Aos professores Geraldo Magela Pereira e Jacinto de Assunção Carvalho, pelo apoio e empréstimo de equipamentos para a condução do experimento de campo.

Ao professor Antonio Marciano da Silva, pela orientação e ensinamentos indispensáveis para a realização deste trabalho.

Aos professores Élio Lemos da Silva, Manoel Alves de Faria, Luiz Gonsaga de Carvalho e Paulo Tácito Gontijo Guimarães, pelas sugestões e críticas construtivas.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia da UFLA, por contribuírem com a minha formação e enriquecerem o meu conhecimento.

Aos colegas de curso, Ednaldo Liberato, Juliana, Carolina Bilibio, Moisés, Wellington Gomes, Marcus Vinícius, Eduardo, Joaquim, Anselmo Custódio e Fábio Faria, pela ótima convivência.

Aos membros da nossa equipe de trabalho, Gilberto Coelho, Renato Antonio, Renato Bueno e Bruno Silva, pela colaboração, amizade e sugestões.

A minha esposa, Cléia, por não me deixar esmorecer nas dificuldades e aguentar bravamente um esposo, pai, profissional e doutorando, muitas vezes, dividido e preocupado.

Aos estudantes Bárbara Cleane, Walfredo Neto e Fernanda, que muito auxiliaram na execução dos trabalhos. A ajuda dessas pessoas foi de fundamental importância.

Aos meus tios e tias, pelos frequentes conselhos e por sempre me incentivarem e acreditarem no meu potencial.

Aos colegas do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, professores e servidores técnico-administrativos que, direta ou indiretamente, me acompanharam nesta jornada tão desafiadora.

Enfim, a todos aqueles que colaboraram de alguma forma para o cumprimento desta etapa da minha vida.

Muito obrigado!

RESUMO

Em experimento conduzido na área experimental do Setor de cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, MG, numa cultura de café Acaia Cerrado (*Coffea arabica* L.) com 4 anos pós-recepa, objetivou-se avaliar: o efeito do déficit hídrico na uniformidade de florada, na maturação dos frutos, na produtividade e no tamanho dos grãos; a performance de um lisímetro de pesagem mecânica constituído de célula de carga, no monitoramento da evapotranspiração da cultura (ETc); e o coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro cultivado dentro e fora de ambiente protegido. Para evitar o umedecimento do solo pela chuva, o cafeeiro foi cultivado sob ambiente protegido. A cultura foi irrigada pelo sistema de gotejamento. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições e quatro tratamentos. Sendo T1 = Irrigação o ano todo; T2 = Paralisação da irrigação após a colheita e retorno quando o potencial hídrico foliar fosse igual ou inferior a -1 MPa; T3 = Paralisação da irrigação após a colheita e retorno quando o potencial hídrico foliar fosse igual ou inferior a -1,5 MPa; e T4 = Paralisação da irrigação após a colheita e retorno quando o potencial hídrico foliar fosse igual ou inferior a -2,0 MPa. Para o monitoramento da evapotranspiração da cultura, um lisímetro de pesagem mecânica foi instalado dentro do ambiente protegido e outro na parte externa. Os resultados obtidos com este trabalho permitiram as seguintes conclusões: Não se identificou o efeito de déficit hídrico na ocorrência de floradas, tanto sob o aspecto da intensidade, quanto, da duração; Não se identificou efeito do reinício das irrigações (após período de déficit hídrico) sobre a ocorrência de floradas. Identificou-se relação entre queda de temperatura brusca ($> 3^{\circ}\text{C h}^{-1}$) e as floradas, para todos os tratamentos. A irrigação realizada durante todo o período do ano promoveu maior desuniformidade de maturação; Não foi verificado efeito dos tratamentos sobre a produtividade e o tamanho dos grãos do cafeeiro. Os lisímetros apresentaram facilidade operacional e grande sensibilidade no monitoramento da evapotranspiração; o ambiente protegido propiciou menor amplitude de variação tanto nos valores de ETc e quanto nos de Kc.

Palavras chave: Cafeeiro. Lisímetro. Evapotranspiração. Coeficiente de Cultura. Floração

ABSTRACT

In an experiment conducted at the experimental site of coffee of the Federal University of Lavras in the SE Brazil, in a café culture Acaia Cerrado (*Coffea arabica* L.) with four years post-receptions aimed to evaluate: the effect of water deficit in the uniformity of flowering, at fruit maturity, yield and in grain size, the performance of a weighing lysimeter consisting of mechanical load cell in the monitoring of crop evapotranspiration (ETc) and crop coefficient (Kc) of coffee grown inside and outside greenhouse. To avoid wetting the soil by rain, the coffee was grown under protected. The crop was irrigated by drip system. We used a randomized block design with five replications and four treatments. T1 = irrigation throughout the year, T2 = stoppage of irrigation after the harvest and return when the leaf water potential was equal to or less than -1 MPa, T3 = stoppage of irrigation after the harvest and return when the leaf water potential was equal or below -1.5 MPa and T4 = stoppage of irrigation after the harvest and return when the leaf water potential was equal to or less than -2.0 MPa. To monitor the crop evapotranspiration, a mechanical weighing lysimeter was installed inside the greenhouse and one outside. The results of this work led to the following conclusions: not identified the effect of water deficit on the occurrence of flowering, both from the point of intensity, as, duration, has not been identified effect of the resumption of irrigation (after a period of drought) on the occurrence of flowering. Identified a relationship between sudden drop in temperature ($> 3^{\circ}\text{C h}^{-1}$) and the flowering period for all treatments. Irrigation held throughout the period a year also increased uneven ripening; there was no effect of treatments on yield and grain size of coffee. The lysimeters show high performance in operates and in the measurement precision, the protected environment showed lower amplitude of variation for the values of ETc as well as Kc.

Keywords: Coffee. Lysimeter. Evapotranspiration. Coefficient Culture. Flowering

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores de Kc para a cultura do cafeeiro.....	47
Tabela 2	Valores de atributos químicos: pH, matéria orgânica (M.O), macronutrientes, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), índice de saturação por bases (V) e índice de saturação por alumínio (M), para as camadas 0-0,20 e 0,20-0,40m do Latossolo Vermelho Distroférico Típico por ocasião da instalação dos ensaios.....	50
Tabela 3	Valores dos teores de argila, silte e areia, classe textural correspondente para camadas 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m do Latossolo Vermelho Distroférico Típico.....	51
Tabela 4	Equações de Van Genuchten ajustadas para as camadas 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m do Latossolo Vermelho Distroférico Típico. UFLA, Lavras-MG. 2010.....	52
Tabela 5	Classes utilizadas para a classificação do café, de acordo com a Tabela oficial de classificação.....	68
Tabela 6	Valores de potencial matricial nas três camadas de solo por ocasião da calibração dos lisímetros. UFLA, Lavras, MG,2010...	69
Tabela 7	Duração do período de déficit hídrico foliar e porcentagem de floradas em cada tratamento.....	78
Tabela 8	Valores de temperatura (°C) registrados externamente pela Estação Climatológica Principal de Lavras.....	82
Tabela 9	Valores percentuais médios para o estágio de maturação dos frutos do cafeeiro Acaia Cerrado.....	84
Tabela 10	Valores médios para a variável produtividade do cafeeiro Acaia Cerrado.....	85

Tabela 11	Valores percentuais médios da distribuição dos grãos de café beneficiados retidos nas peneiras 19-ch, 18-ch e 17-ch (GCG); 16-ch e 15-ch (GCM); 14-ch e 13-ch (GC); 13-m, 12-m e 11-m (GMG); 10-m (GMM); 9-m, 8m e fundo (GM) na safra 2008/2009. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	87
Tabela 12	Dados estatísticos relacionados à evapotranspiração da cultura determinada dentro e fora do ambiente protegido.....	94
Tabela 13	Valores médios mensais de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, e velocidade do vento, ocorridos dentro e fora do ambiente protegido.....	95
Tabela 14	Valores médios mensais estimados de coeficiente de cultura (Kc), do desvio padrão, coeficiente de variação e da amplitude de variação.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Planta-baixa com a disposição dos blocos de concreto-armado.....	54
Figura 2	Detalhe da abertura de valetas laterais à planta.....	56
Figura 3	Detalhe de colocação da estrutura metálica por cima da planta.....	56
Figura 4	Detalhe de inserção da chapa metálica do fundo do lisímetro por meio do “braço”da retroescavadeira.....	57
Figura 5	Montagem do lisímetro dentro do ambiente protegido. (A) Detalhe do liçamento do conjunto lisimétrico pelo caminhão guincho; (B) colocação do conjunto lisimétrico dentro da estrutura de alvenaria.....	58
Figura 6	Vista da célula de carga utilizada.....	59
Figura 7	Layout da distribuição dos tratamentos no ambiente protegido com a localização do lisímetro interno.....	60
Figura 8	Disposição dos sensores de umidade do solo na linha de plantio.....	63
Figura 9	Estádios de desenvolvimento do botão floral do cafeeiro....	66
Figura 10	Sensores de tensão de água no solo “Watermark”, instalados junto à planta, nas profundidades de: 10, 30, e 50 cm, para o controle da irrigação e monitoramento do fluxo de água.....	70
Figura 11	Vista do equipamento utilizado nas irrigações nos lisímetros.....	71
Figura 12	Cobertura construída para evitar entrada de água de chuva no lisímetro externo (A) e, detalhe da fixação do plástico no tronco da planta (B).....	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Dados diários de precipitação (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar média (%), compreendendo o período de Junho a Novembro de 2008.....	76
Gráfico 2	Potencial hídrico foliar da antemanhã, no período em que as plantas dos tratamentos foram submetidas ao déficit hídrico.....	78
Gráfico 3	Temperaturas ocorridas durante as precipitações de 16/09 (A), 26/09 (B), 17/10 (C) e 06/11 (D). UFLA, Lavras, MG, 2010.....	80
Gráfico 4	Relação entre armazenamento (mm) e voltagem (mV) para o lisímetro interno.....	88
Gráfico 5	Relação entre armazenamento (mm) e voltagem (mV) para o lisímetro externo.....	89
Gráfico 6	Lâmina de água armazenada nos lisímetros interno e externo ao longo de um dia.....	90
Gráfico 7	Valores diários de precipitação durante o período de determinação da evapotranspiração do cafeeiro.....	91
Gráfico 8	Valores diários médios mensais estimados para a evapotranspiração de referência (ET _o) e determinados para a evapotranspiração da cultura (ET _c), nos dois lisímetros. UFLA, Lavras, MG, 2010.....	92

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1 O cafeeiro.....	20
2.2 Aspectos relacionados à florada e ao déficit hídrico no cafeeiro.....	21
2.3 Evapotranspiração.....	26
2.4 Determinação da evapotranspiração da cultura por Lisimetria.....	29
2.5 Elementos meteorológicos determinantes da evapotranspiração.....	30
2.5.1 Radiação solar incidente.....	31
2.5.2 Temperatura do ar.....	31
2.5.3 Velocidade do vento.....	32
2.5.4 Umidade relativa do ar.....	32
2.6 Efeito da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos.....	33
2.7 Balanço hídrico.....	35
2.8 Retenção de água no solo.....	39
2.9 Água disponível para as plantas.....	42
2.10 Capacidade de campo.....	43
2.11 Ponto de murcha permanente.....	44
2.12 Coeficiente de cultura do cafeeiro.....	45
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1 Local de estudos e a cultura.....	49
3.2 Clima.....	49
3.3 Solo.....	50
3.4 Lisímetros.....	53
3.4.1 Local de instalação.....	53
3.4.2 Montagem dos lisímetros.....	53
3.4.3 A célula de carga.....	58
3.5 Experimentos conduzidos.....	60
3.5.1 Experimento com imposição de déficit hídrico na cultura.....	60
3.5.1.1 Dados meteorológicos.....	61
3.5.1.2 Monitoramento do potencial hídrico foliar (PHF).....	62
3.5.1.3 Irrigação.....	62
3.5.1.4 Avaliação de floradas.....	65
3.5.1.5 Colheita, maturação e produtividade.....	67
3.5.1.6 Tamanho dos grãos.....	67
3.5.2 Experimento com lisímetros.....	68
3.5.2.1 A Calibração.....	68
3.5.2.2 Reposição de água nos lisímetros.....	69
3.5.2.3 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET _o).....	72
3.5.2.4 Determinação da evapotranspiração da cultura (ET _c).....	73

3.5.2.5 Determinação do coeficiente de cultura (Kc).....	74
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4.1 Condições Meteorológicas.....	75
4.2 Avaliação do florescimento.....	76
4.3 Análise da maturação dos frutos.....	83
4.4 Análise da produtividade.....	85
4.5 Análise do tamanho dos grãos.....	86
4.6 Avaliação do funcionamento dos lisímetros.....	88
4.7 Evapotranspiração e coeficiente de cultura.....	90
5 CONCLUSÕES.....	99
REFERÊNCIAS.....	100

1 INTRODUÇÃO

A região Sul de Minas Gerais possui condições climáticas ideais ao cultivo do café arábica, com temperatura média anual na faixa de 19 a 21 °C e precipitações de 1400 a 1500mm anuais, bem distribuídas na primavera, verão e outono. Apesar destas características, a região está sujeita a períodos prolongados de estiagem em fases críticas de demanda de água pela cultura, tornando a adoção da irrigação, uma estratégia para minimizar os riscos de perdas.

O estudo das relações hídricas no cafeeiro é de particular interesse, uma vez que reduções na disponibilidade da água podem promover diminuição no crescimento, ainda que não se observem murchamento nas folhas ou quaisquer outros sinais visíveis do déficit hídrico. A redução no crescimento significa menor produção de nós disponíveis para a formação de flores, acarretando, por consequência, queda na produção de frutos.

Desde que a rizosfera seja suficientemente umedecida, tanto a irrigação por aspersão como a localizada são igualmente eficientes. Entretanto, tem se observado empiricamente que, em algumas regiões, nem a irrigação por aspersão, nem a irrigação por gotejamento, substitui a necessidade da chuva como fator desencadeador do processo da floração. Visto que as chuvas são normalmente acompanhadas por forte redução do déficit de pressão de vapor e de redução da temperatura, é possível que outros fatores ambientais, além da água, estejam envolvidos no controle da floração.

A água induz o reinício do crescimento vegetativo, mas há divergência de interpretação quanto ao seu papel primário, alguns atribuem a ela a função de aliviar tensões hídricas nos botões quiescentes, outros a envolve diretamente na quebra de uma dormência verdadeira dos botões. Todavia, eventualmente, a

temperatura tem sido relacionada com a quebra de dormência dos botões florais do café.

Dessa forma, os estudos dos possíveis efeitos do estresse hídrico seguido ou não de chuva ou irrigação na uniformização da floração dos cafezais estão caracterizados por muitos antagonismos e controvérsias, diante do grande número de fatores envolvidos neste importante processo fisiológico.

Verifica-se que há necessidade de mais investigações científicas que venham a evidenciar a real implicação de diferentes intensidades de déficit hídrico sobre o comportamento do florescimento do cafeeiro e se períodos de déficit hídrico são realmente imprescindíveis a esse evento fisiológico.

Nesse aspecto, o cultivo do cafeeiro sob ambiente protegido torna-se uma condição bastante propícia para condução desse estudo, uma vez que além de evitar o molhamento do solo pela chuva, possibilita realizar a aplicação de água somente em épocas pré-estabelecidas.

O cafeeiro necessita de água em sua fase vegetativa para promover o crescimento dos ramos laterais, e na sua fase reprodutiva (floração, expansão e granação dos frutos), para se desenvolver e produzir satisfatoriamente. Por outro lado, o estresse hídrico em determinadas fases fenológicas da cultura pode causar redução na produção ou baixa qualidade do produto colhido.

A determinação da demanda hídrica do cafeeiro (evapotranspiração da cultura), assim como o coeficiente de cultura (K_c) a ser utilizado no manejo da irrigação, tem sido o grande desafio dos pesquisadores. Contudo, ainda são poucas as informações na literatura sobre as necessidades hídricas das plantas de café, de forma a alcançar a condição ideal de suprimento hídrico da cultura e com isso, possibilitar um programa racional das irrigações.

Em geral, os trabalhos se baseiam em estimativas indiretas, o que limita a aplicação dos resultados em situações diferentes das que foi desenvolvido. Por dedução teórica, Santinato, Fernandes e Fernandes (2008), recomendaram

valores de K_c de 0,6 a 0,8 para plantas de até 12 meses, 0,8 a 1,0 para plantas de 12 a 36 meses e de 1,0 a 1,2 para plantas com mais de 36 meses.

Utilizando lisímetros de pesagem, Righi (2004) determinou valores de K_c entre 1,04 e 1,3 para cafeeiro de 12 a 24 meses, cultivado em espaçamento de 3,5m por 0,9m, com vegetação nas entrelinhas e irrigado por gotejamento. Marin et al. (2005), nas mesmas condições de Righi (2004), mas avaliando plantas com cinco anos de idade, obtiveram K_c igual a 1,0 utilizando o método da razão de Bowen. Percebe-se que, devido à variação dos valores de K_c entre as diferentes fases fenológicas a determinação dos mesmos em cada fase é bastante importante.

Neste contexto, objetivou-se com a realização deste trabalho avaliar: o efeito do déficit hídrico na uniformidade de florada, na maturação dos frutos, na produtividade e no tamanho dos grãos do cafeeiro Acaiá Cerrado (*Coffea arabica* L.); a performance de um lisímetro de pesagem mecânica constituído de célula de carga, no monitoramento da evapotranspiração da cultura; e o coeficiente de cultura do cafeeiro cultivado dentro e fora de ambiente protegido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O cafeeiro

O cafeeiro caracteriza-se como sendo uma planta de porte arbustivo ou arbóreo, de caule lenhoso e lignificado, apresentando ramo vertical (tronco) denominado de ortotrópico e ramos laterais (produtivos) chamados de plagiotrópicos. Pertencente à família *Rubiácea*, a seção *Eucoffea* é considerada como a de maior importância econômica do gênero *Coffea*, por compreender as espécies mais cultivadas, ou seja, a *Coffea arabica* L. e a *Coffea canephora* Pierre (MATIELLO et al., 2002).

A espécie *Coffea arabica* engloba um grande número de variedades e de mutantes, algumas amplamente empregadas nos programas de melhoramento genético. É a espécie mais plantada em todo o mundo e a de maior importância econômica para o Brasil.

Dentre as várias cultivares de *Coffea arabica*, as linhagens de Acaia resultam de seleções do cruzamento entre Sumatra e Bourbon Vermelho, caracterizando-se por possuir excelente vigor vegetativo (bom enfolhamento o ano todo), boa produtividade, frutos de coloração vermelha, porte alto com arquitetura cônica e menor diâmetro de copa (MATIELLO et al., 2002).

O ciclo fenológico dos cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L. apresenta uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas que ocorrem de forma simultânea durante o ano, nas condições climáticas tropicais do Brasil. Diferentemente da maioria das plantas que emitem as inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico, no cafeeiro, essas fases podem ser descritas em, aproximadamente, dois anos consecutivos. No primeiro ano, formam-se os ramos vegetativos, com gemas axilares nos nós, durante os meses de dias longos, ou seja, de setembro a março, enquanto que, nos dias curtos, de

Abril a Agosto, ocorrem a indução e a maturação das gemas florais. O segundo ano fenológico inicia-se com a florada, seguida pela formação dos chumbinhos, que precede a expansão dos grãos até que eles atinjam o tamanho normal. Em seguida, ocorrem a granação dos frutos e a fase de maturação. Na primavera do ano civil seguinte, brotam novos ramos vegetativos, que se transformam em reprodutivos, permitindo nova produção defasada no ano seguinte (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Os autores salientam que a esquematização das diferentes fases fenológicas do cafeeiro arábica é útil para facilitar e racionalizar as pesquisas e observações na cafeicultura. Possibilita identificar as fases que exigem água facilmente disponível no solo e aquelas nas quais se torna conveniente a ocorrência de pequeno estresse hídrico para condicionar uma abundante florada.

Os elementos climáticos mais importantes para o crescimento do cafeeiro são temperatura e precipitação. Temperaturas médias entre 18° e 22°C são consideradas aptas ao cultivo, ficando a faixa ideal entre 19° e 21°C (CAMARGO, 1985). Sabe-se que a região Centro-Sul do país é considerada propícia ao plantio do cafeeiro porque a precipitação anual é superior a 1200mm, o que resulta em condição satisfatória para a exploração comercial da cultura (MENDES; GUIMARÃES, 1997). De acordo com Thomaziello et al. (1999), os limites de altitude para se considerar uma região apta à cafeicultura é de 400 a 1.200 metros.

2.2 Aspectos relacionados à florada e ao déficit hídrico no cafeeiro

Rena e Maestri (1986), com base em diversos autores, citam que no Quênia, onde há duas estações secas e chuvosas no ano, as floradas ocorrem em duas épocas distintas. No Brasil, no Zimbábwe e na Índia a floração ocorre quando os dias vão se encurtando, a temperatura caindo e a estação seca

avançando. Em algumas regiões da Costa Rica e da Colômbia, que não possuem período definido de seca, a floração se dá durante vários períodos do ano. Na Colômbia, a floração está associada a uma baixa relação precipitação/brilho solar. É sugerido também que a maturação dos ramos e das gemas florais requer um período seco (CRISOSTO; GRANTZ; MEINZER 1992; MAGALHÃES; ANGELOCCI, 1976; SCHUCH et al., 1992).

A floração pode ser separada em três fases: iniciação floral, desenvolvimento do botão floral, e antese ou florada. De acordo com Rena e Maestri (1986), a floração do cafeeiro compreende uma seqüência de eventos morfofisiológicos que ocorrem da indução floral até a antese, passando pelas fases intermediárias da evocação floral, diferenciação ou iniciação dos primórdios florais e desenvolvimento da flor. A transição entre estas fases é comumente gradual e imperceptível, sobretudo nos estádios iniciais até a formação dos primórdios florais.

O mecanismo que regula a floração do cafeeiro tem sido atribuído ora a um sinal externo, como por exemplo, tensão de água no solo, temperatura, fotoperiodismo, ora a um sinal interno desconhecido, que estaria relacionado com a maturidade da célula-mãe do micrósporo ou com níveis hormonais, ou ambos. Com chuva ou irrigação e aumento da umidade relativa do ar ocorreria rápido influxo de água para os botões, em resposta à rápida absorção de água pela folha, processo que estaria envolvido na quebra da dormência (ASTEGLIANO, 1984).

Para Alvim (1960), os primórdios florais diferenciados crescem de modo contínuo por um período de cerca de dois meses até atingirem um tamanho máximo de 4 a 8 mm, ocorrendo então uma pausa de semanas ou meses de duração (dormência), dependendo das condições externas, principalmente distribuição das chuvas. Não havendo uma estação seca definida, os botões

crecem continuamente, resultando em floradas sucessivas, devido à iniciação dos primórdios florais ocorrer em períodos mais ou menos extensos.

Rees (1964), trabalhando com *Coffea rupestris*, observou que a planta constantemente irrigada parece ter sido estimulada com pequenos chuviscos, enquanto plantas não irrigadas só foram estimuladas com chuva mais intensa. Como a queda rápida da temperatura sempre esteve associada com os chuviscos e a chuva, o autor sugeriu que a queda abrupta da temperatura foi o que provocou a quebra da dormência na planta irrigada. Ele propõe a existência de dois tipos de dormência nos botões florais do cafeeiro: uma dormência imposta por déficit de água, que pode ser superada com água e uma dormência verdadeira, de natureza endógena, que exige uma queda rápida da temperatura para ser eliminada.

Barros e Maestri (1978) sugeriram que as condições que podem promover a abertura floral no cafeeiro são: queda rápida de temperatura, independentemente da ocorrência de déficit hídrico, chuvas abundantes ou irrigações após um longo período de seca e quedas bruscas de temperatura, seguidas por suprimento de água, tanto sob a forma de chuvas quanto de irrigação complementar ou sinergicamente.

Magalhães e Angelocci (1976) observaram que a quebra da dormência de botões florais, em cafeeiros sob irrigação localizada, somente ocorria quando o potencial hídrico das folhas se encontrava abaixo de -1,2 MPa. Assim, os autores levantaram a hipótese de que, em condições de déficit hídrico, as folhas fornecem água aos botões até que se estabeleça um equilíbrio entre seus potenciais. Concluíram que um potencial hídrico foliar de -1,2 MPa é necessário para a quebra de dormência e que a irrigação causa a abertura floral em virtude de uma rápida turgescência dos botões florais.

Antunes (2000), compararam os valores iniciais de florescimento no ano agrícola 1999/2000 com os potenciais hídricos observados nos diferentes

tratamentos. Verificaram que o tratamento permanentemente irrigado alcançou maior quantidade de botões florais e mais precocemente em relação ao tratamento não irrigado e aos tratamentos que sofreram déficit hídrico em determinados meses.

Por outro lado, Soares et al. (2000) observaram um desenvolvimento uniforme dos botões florais para os diversos tratamentos aplicados, demonstrando que, para cafeeiros adultos, os resultados não indicaram efeito da aplicação e corte da aplicação da água na antecipação do florescimento de cafeeiros irrigados.

Oliveira (2002), em experimento conduzido em Caraíbas, BA, a fim de avaliar o florescimento em cafeeiros com idade de 6 anos, aplicou tratamentos de turnos de rega diferentes. Observou que os cafeeiros emitiram praticamente as mesmas quantidades de flores, porém, os que tiveram turnos mais curtos (2 em 2 dias) apresentaram um maior número de floradas em relação aos que tiveram turnos mais longos (10 em 10 dias). Também observou que em todos os tratamentos as floradas mais expressivas ocorreram sempre após uma chuva.

Guerra et al. (2007) estabeleceram o período e a magnitude do estresse hídrico para sincronizar o desenvolvimento dos botões florais e obter uniformização da florada em lavouras comerciais do oeste da Bahia em área experimental da Embrapa Cerrado. Basicamente, o que os autores propuseram foi a suspensão das irrigações em 24 de junho e o retorno das aplicações de água entre 2 e 4 de setembro, com, aproximadamente, 70 dias sem irrigação.

Utilizando o déficit hídrico como ferramenta para uniformizar a floração do cafeeiro no oeste da Bahia, Bonfim Neto et al. (2007) estabeleceram quatro tratamentos, sendo um a testemunha irrigada adequadamente enquanto os outros, tiveram o início do déficit hídrico determinado por meio do estágio 2, 3 e 4 do botão floral (CRISOSTO et al., 1992). O retorno da irrigação nesses tratamentos ocorria quando os mesmos se encontravam com 60 a 70% dos botões no estágio

4. Concluíram que os tratamentos que tiveram o déficit hídrico iniciado nos estádios 2 e 3 do botão floral apresentaram status hídrico foliar na antemanhã de -1,3 e -1,58 MPa, sendo eficientes para uniformizar a florada no oeste da Bahia em uma única data.

A influência do déficit hídrico em diferentes épocas após o florescimento no desenvolvimento dos frutos do cafeeiro foi estudada por Miguel et al. (1976). Estes autores observaram que o período no qual a falta de água promoveu o menor desenvolvimento dos frutos do café compreendeu-se de 90 a 120 dias após o florescimento. Este período, em várias regiões cafeeiras do Brasil, geralmente coincide com os meses de janeiro e fevereiro, evidenciando-se a necessidade de irrigação suplementar nas áreas com maior probabilidade de ocorrência de veranicos. Trabalhos realizados em diferentes regiões do país demonstraram que o déficit hídrico, no referido período, resultou em índices de frutos chochos da ordem de 46% em Caratinga-MG (MIGUEL et al., 1976); 25 a 40% em Varginha-MG (FREIRE; MIGUEL, 1984) e 45% em Campinas-SP (CAMARGO, 1984).

Camargo (1984), pesquisando diferentes épocas e quantidade de irrigações no cafeeiro arábica, em condições climáticas de inverno chuvoso e verão seco, concluiu que as maiores produções foram obtidas com irrigações em todo o período seco, seguidas dos tratamentos com irrigações somente no auge da seca, nas fases críticas de chumbinho e de granação.

Avaliando a influência da estiagem 1999/2000 sobre o tamanho dos grãos de café na região de Marília, Lacerda et al. (2000) concluíram que a redução no regime de chuvas naquele período, reduziu o tamanho dos grãos e causou uma diminuição de mais de 8% na produção.

Matiello (2002) propôs uma maneira prática para observar a presença do stress nas plantas do cafeeiro, através da observação da presença das primeiras folhas velhas, no centro da planta, de coloração amarelo-cítrico, como sinal do

começo de stress, ocasião em que as gemas florais se encontram aptas para abrirem em flores.

Avaliando o momento de irrigação do cafeeiro, com e sem período de repouso da planta, Severino et al. (2002), observaram que quando a planta permaneceu em repouso, houve aumento na altura das plantas, por outro lado, o incremento das lâminas de irrigação aplicadas posteriormente e, quando a planta permaneceu sem repouso na irrigação, ocasionou maiores valores para as características diâmetro de copa e de caule.

Soares et al. (2001), verificaram que não ocorreu a quebra de dormência dos botões florais devido ao déficit hídrico imposto, e que a quebra da dormência aconteceu em todos os tratamentos após a ocorrência de precipitações, mostrando, aparentemente, a existência de um sinergismo entre elementos climáticos, como precipitações, temperatura e déficit de vapor, agindo sobre o desenvolvimento do botão floral.

2.3 Evapotranspiração

A água é o elemento essencial ao metabolismo vegetal, pois participa principalmente da constituição celular e do processo de fotossíntese. A planta, todavia, transfere para a atmosfera cerca de 98% da água retirada do solo. Por isto, o consumo de água das plantas normalmente se refere à água perdida pela evaporação da superfície do solo e pela transpiração da cultura. Esses processos, embora independentes, ocorrem simultaneamente dando origem ao termo evapotranspiração (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

A evaporação de um solo cultivado é determinada principalmente pela fração de cobertura do solo. Essa fração decresce ao longo do período de crescimento, à medida que a cultura se desenvolve e o dossel da cultura sombreia mais e mais a superfície do solo. Quando a cultura está pequena, a

água é perdida predominantemente pela evaporação do solo, mas, uma vez que a cultura está bem desenvolvida e cobre completamente o solo, a transpiração se torna o processo principal.

O conceito de evapotranspiração foi introduzido pela primeira vez por Thornthwaite et al. (1944), nos Estados Unidos, como sendo a ocorrência simultânea dos processos de evaporação e de transpiração, numa superfície vegetada. Alguns anos mais tarde, Thornthwaite (1948) definiu como evapotranspiração potencial (ETp) aquela que ocorre nas seguintes condições de contorno: extensa superfície vegetada cobrindo totalmente o solo, em crescimento ativo e sem restrição hídrica. Quase que simultaneamente, Penman (1948), na Inglaterra, também definiu a ETp, ressaltando que a vegetação deveria ser baixa e com altura uniforme.

A definição do termo evapotranspiração de referência (ETo) surgiu no início dos anos 70, visto que as definições originais, embora definidas corretamente, não especificavam o tipo de vegetação, o grau e a altura da cobertura vegetal do solo, as dimensões da superfície e as condições de bordadura. Wright e Jensen (1972) sugeriram que a cultura de referência deveria ser a alfafa, em fase de crescimento ativo, com tamanho variando entre 0,3 e 0,5m de altura e bordadura mínima de 100m. Posteriormente, Doorenbos e Pruitt (1977), definiram como ETo a evapotranspiração que ocorre em uma extensa área de grama com altura de 0,08 a 0,15m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem deficiência de água.

De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2005), existem vários métodos diretos para a determinação da evapotranspiração: lisímetros, parcelas experimentais no campo, controle da umidade do solo e controle da entrada-saída de água em grandes áreas. O método do lisímetro é o mais preciso para a determinação direta da evapotranspiração, desde que seja instalado corretamente. Entre os métodos indiretos, estão aqueles que empregam

evaporímetros e equações baseadas em dados meteorológicos, sendo a maioria delas de difícil aplicação, não só pela complexidade do cálculo, mas também por exigir grande número de elementos meteorológicos, somente obtidos por estações climatológicas de primeira classe, nem sempre disponíveis.

Alguns desses métodos são válidos somente sob certas condições climáticas e agrônômicas específicas e não podem ser aplicados sob condições diferentes daquelas para as quais foram originalmente desenvolvidos. Atualmente, a equação mais recomendada para a estimativa da evapotranspiração de referência, ET_o , é a de Penman-Monteith parametrizada pela FAO (COUTO; SANS, 2002).

O modelo Penman-Monteith-FAO, é um método combinado, desenvolvido a partir da introdução da relação entre a resistência ao fluxo de vapor pela folha (r_c) e a resistência aerodinâmica (r_a) no modelo original de Penman, na tentativa de descrever o papel da turbulência atmosférica no processo de transporte do vapor d'água e as características fisiológicas da planta. A teoria da grande folha (big leaf) adotada pelo pesquisador, assume que todas as folhas estão expostas às mesmas condições ambientais, embora essa não seja a condição real (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997). Essa nova equação, de formulação teórica rigorosamente física possibilita o entendimento dos processos físicos e biológicos envolvidos na evaporação da água de superfícies vegetadas.

A incorporação dos efeitos da área foliar e da altura da vegetação no modelo de Penman-Monteith-FAO faz com que este modelo estime com maior precisão a evapotranspiração potencial para uma ampla variedade de climas e localidades (PERES, 1994). Diversas pesquisas, realizadas em várias regiões, comprovaram a superioridade do modelo de Penman-Monteith-FAO. Mendonça et al. (2003), ao confrontarem valores de ET_o obtidos em lisímetro de pesagem com grama com valores resultantes da utilização de métodos indiretos,

verificaram que o método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO apresentou o melhor desempenho.

Os valores de ETo determinados diariamente pelo método do lisímetro de pesagem em comparação com valores estimados pelo método de Penman-Monteith-FAO foram bastante próximos, mostrando a viabilidade de utilização desse método para a estimativa desse parâmetro onde não se dispõe de lisímetro de pesagem (MIRANDA; BLEICHER, 2001).

2.4 Determinação da evapotranspiração da cultura por Lisimetria

A evapotranspiração da cultura pode ser determinada por métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos baseiam-se no balanço hídrico em volume de solo conhecido e os indiretos em parâmetros climáticos. Dentre os métodos de medida direta, os lisímetros se destacam por oferecer maior nível de precisão para a determinação da evapotranspiração (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

Existem basicamente três tipos de lisímetros para a determinação da evapotranspiração: de drenagem, de lençol freático constante e de pesagem. Silva et al. (1999), comparando lisímetros de drenagem, de lençol freático constante e de pesagem, concluíram que lisímetros de pesagem apresentam-se mais precisos e consistentes na determinação da evapotranspiração.

Os lisímetros, também conhecidos como evapotranspirômetros, são recipientes grandes, cheios de solo, enterrados em locais que representam as condições naturais do meio, de superfície desnuda ou coberta com vegetal, utilizados para determinar a evaporação de um solo nu, ou a evapotranspiração de referência (ETo), ou a evapotranspiração da cultura (ETc). Quando se objetiva conhecer a ETo, planta-se grama batatais, além de obedecer a todos os requisitos

para a ocorrência da ETo. Quando se cobre o lisímetro com a cultura de interesse, determina-se a ETc.

O tipo mais usado de lisímetro é o de pesagem por células de carga. Atualmente existem células de carga que apresentam uma sensibilidade bastante elevada, capaz de registrar até a força de momento causada por uma simples brisa (SANTIAGO; FERNANDES; FERNANDES, 2001), o que pode até representar um problema, aliado a um outro fator importante que é a influência da variabilidade microclimática ambiental sobre as células de cargas (ALLEN; FISHER, 1991), pois estas, além de responder conforme a variação da massa do lisímetro, acusam também a influência de temperatura ambiente sobre elas e, conseqüentemente, podem apresentar um sinal errôneo, o que levou aqueles autores a alertarem, também, para os cuidados que devem ser levados em consideração no que tange à escala de estudo. Santiago (2001) sugere uma escala no mínimo horária ou maior para trabalhar e, segundo Bergamaschi et al. (1997), aumentando-se essa escala, pode-se suavizar as oscilações instantâneas provocadas pelas rajadas de ventos.

2.5 Elementos meteorológicos determinantes da evapotranspiração

Segundo Doorembos e Pruitt (1977), os elementos meteorológicos agem de forma conjunta no processo de evapotranspiração, sendo difícil a distinção de importância de cada um deles. De maneira geral, em uma dada região, quanto maior for a disponibilidade de energia solar, temperatura do ar, velocidade do vento, e quanto menor a umidade relativa do ar, maior deverá ser a taxa de evaporação e transpiração, uma vez que esses parâmetros de clima fornecem energia para vaporização e remoção do vapor d'água da superfície.

2.5.1 Radiação solar incidente

O processo de evapotranspiração é determinado pela quantidade de energia disponível para evaporação da água. A radiação solar é a maior fonte de energia e é capaz de mudar grandes quantidades de água líquida em vapor d'água. A quantidade potencial de energia que pode alcançar a superfície evaporante (evaporativa) é determinada pela sua localização e época do ano.

Devido a diferenças na posição do sol, a radiação incidente difere nas várias latitudes e nas diferentes estações do ano. A radiação solar alcança uma superfície evaporante, dependendo da turbidez da atmosfera e da presença de nuvens que refletem e absorvem a maior parte desta radiação. Quando se estudam os efeitos da radiação solar na evapotranspiração, deve-se ter também em mente que nem toda a energia disponível é usada para evaporar a água, sendo parte usada para aquecer a atmosfera e o perfil do solo.

Os dados referentes à radiação líquida média diária não são comumente disponíveis, mas podem ser derivados da duração média diária do brilho solar (insolação em horas por dia), registrada por um heliógrafo.

2.5.2 Temperatura do ar

A superfície do solo, com ou sem vegetação, é o principal receptor da radiação solar e da radiação atmosférica, sendo também um emissor de radiação. Seu balanço de radiação, variável no decurso do dia e do ano, promove variações diárias e anuais na temperatura do ar. O calor sensível do ar adjacente transfere energia para a cultura e exerce uma influência controladora na taxa de evapotranspiração. Em dias ensolarados e quentes, a perda de água pela evapotranspiração é maior que em dias nublados e frios.

A temperatura do ar não apenas fornece a referência para a qual a temperatura das folhas tende, mas também sua elevação aumenta o déficit de pressão de vapor, aumentando a perda de calor latente, fazendo com que haja um gradiente entre a temperatura da folha e do ar. Portanto, a temperatura do ar, interferindo na temperatura das folhas, indiretamente interfere nos processos metabólicos e na transpiração da cultura (JONES, 1992).

2.5.3 Velocidade do vento

O processo de remoção do vapor depende largamente do vento e da turbulência do ar, que transfere grandes quantidades de ar acima da superfície evaporante. Ao evaporar a água, o ar acima da superfície evaporante torna-se gradualmente umedecido com vapor d'água. O vento é responsável pela contínua substituição desse ar úmido por ar seco, aumentando com isso, a taxa de evapotranspiração de uma dada cultura.

A demanda da evapotranspiração é alta em clima quente e seco, devido à secura do ar e à quantidade de energia radiante disponível. Sob essas circunstâncias, muito vapor d'água pode ser armazenado no ar, enquanto o vento pode promover o transporte da água, permitindo que mais vapor d'água seja admitido.

2.5.4 Umidade relativa do ar

Enquanto o suprimento de energia do sol e do ar adjacente é a força motriz principal para a vaporização da água, a diferença entre a pressão de vapor da água na superfície evapotranspirante e o ar adjacente é o fator determinante para a remoção do vapor.

Áreas bem molhadas em regiões áridas, quentes e secas consomem grandes quantidades de água, devido à abundância de energia e poder dessecante da atmosfera. Em regiões tropicais úmidas, não obstante a entrada de elevada energia, a umidade elevada do ar reduzirá a demanda da evapotranspiração. Num ambiente como este, o ar já está muito próximo da saturação, tal que menos água adicional pode ser armazenada e, portanto, a taxa de evapotranspiração é mais baixa que em regiões áridas.

É sabido que numa mistura gasosa cada gás exerce uma pressão parcial independente da presença dos demais gases. Portanto, o vapor d'água contido num recipiente exerce sua pressão parcial que pode ser chamado de pressão atual de vapor (e_a). Quando a pressão atual de vapor (e_a) é menor que a pressão de saturação (e_s) diz-se que existe um déficit de saturação de vapor que é representado pela diferença ($e_s - e_a$). Aumentando-se a temperatura aumenta-se a capacidade de retenção de água pelo ar devido ao aumento do nível energético das moléculas. O ar funciona, então, como um reservatório que se expande ou contrai com o aumento ou decréscimo, respectivamente, da temperatura (PEREIRA; VILLA NOVA; SEDIYAMA, 1997).

A umidade relativa do ar é determinada pela relação entre a pressão atual de vapor e a pressão de saturação de vapor.

2.6 Efeito da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos

O cultivo em estufa apresenta diferenças no ambiente quando comparado com o cultivo a céu aberto, no que diz respeito à temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar e, conseqüentemente, a evapotranspiração.

No interior da estufa, a evapotranspiração é, em geral, menor do que a verificada externamente, o que atribui basicamente a parcial opacidade da cobertura plástica à radiação solar e à redução da ação dos ventos, principais

fatores da demanda evaporativa da atmosfera, embora a temperatura do ar e a umidade relativa, em alguns momentos, possam ser respectivamente maior e menor no interior da estufa do que a céu aberto, o que contribuiria para maior evapotranspiração.

A diferença entre a evapotranspiração interna e externa varia de acordo com as condições meteorológicas; em geral a evapotranspiração no interior fica em torno de 60 a 80% da verificada do lado de fora (FARIAS et al., 1993).

A irradiância no interior das estufas é menor que a verificada externamente, devido a reflexão e à absorção pelo material da cobertura plástica. Os tipos de materiais normalmente utilizados, além de causarem a redução da radiação solar, possuem efeito seletivo, permitindo a passagem de certas faixas espectrais e reduzindo a transmitância de outras faixas de comprimento de onda. Pode-se dizer que a quantidade de energia solar não transmitida é função do tipo de cobertura plástica e do ângulo de incidência dos raios solares, que são condicionados pela orientação da estufa, inclinação da cobertura e a posição do sol (SEEMAN, 1979).

Segundo Seeman (1979), durante o dia, o saldo de radiação sendo positivo, faz com que a superfície do solo aqueça a parcela de ar próxima a ela, gerando um processo convectivo. Dentro de estufas, esse processo é interrompido pela cobertura plástica, que impede a ascensão do ar quente, provocando a elevação da temperatura (efeito estufa).

Scatolini (1996) relata um maior efeito da cobertura plástica sobre as temperaturas máximas com valores variando de 1,2 °C a 4,4 °C acima das observadas externamente. O referido autor cita vários trabalhos em que a temperatura média do ar é maior no interior da estufa e outros nos quais não encontraram diferenças significativas entre a temperatura média dentro e fora da estufa. Com relação às temperaturas mínimas do ar, estas tendem a ser iguais ou ligeiramente superiores à observada externamente.

Os valores da umidade relativa do ar são muito variáveis e estão relacionados com a temperatura do ar. A umidade relativa do ar varia exponencialmente com a variação da temperatura, e, para um mesmo conteúdo de vapor d'água no ar, a umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura. Desta forma, durante o período diurno, com o aumento da temperatura, a umidade relativa diminui no interior da estufa, tornando-se inferior à verificada externamente e, durante a noite, a umidade relativa aumenta bastante, chegando próxima a 100%, devido à queda da temperatura e à retenção do vapor d'água pela cobertura plástica (TANAKA; GENTA, 1982).

2.7 Balanço hídrico

O entendimento do consumo de água de uma cultura é o alicerce da produção, pois os recursos de água disponíveis são limitados, a curto ou à longo prazo. A determinação da quantidade hídrica disponível depende basicamente da variação do armazenamento de água do solo, podendo ser obtida pelo balanço hídrico.

O balanço hídrico consiste em um somatório das quantidades de água que entram e saem de um volume de solo, num dado intervalo de tempo. O resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece disponível às plantas.

É possível, por meio do balanço hídrico, determinar a quantidade de água armazenada no solo em níveis ótimos para o desenvolvimento de determinada cultura com conseqüente maximização da produção, além de estabelecer critérios para a drenagem de um solo, em casos de excesso de água, ou para a irrigação, em caso de falta de água (SILVA et al., 2000).

Segundo Camargo (1987), o conhecimento de todos os componentes do balanço hídrico permite acompanhar a evolução do armazenamento da água no

solo, e assim, estabelecer um manejo agrícola adequado que vise à conservação do solo e da água.

Ao se determinar o balanço hídrico, deve-se definir a camada de solo de interesse, assim como o intervalo de tempo em que serão quantificados os componentes do balanço. Devido à heterogeneidade dos solos ao longo da sua profundidade, sua capacidade de armazenamento é a soma das capacidades de armazenamentos das diferentes camadas que o compõem (DOORENBOS; PRUITT, 1977). O intervalo de tempo é de livre escolha, no entanto, Reichardt e Timm (2004), recomendam para culturas de ciclo longos ou perenes, períodos de 15 ou 30 dias, sendo inviáveis períodos de um dia ou menos, visto que a dinâmica da água é relativamente lenta. O balanço hídrico do solo para determinada cultura pode ser representado pela equação:

$$P + I - ETc \pm Q_z \pm R = \pm \Delta A \dots \dots \dots (1)$$

em que:

P - Precipitação pluvial (mm);

I - Irrigação (mm);

ETc - Evapotranspiração da cultura (mm);

Q_z - Fluxo no contorno inferior (mm) percolação ou ascensão capilar;

R - Escoamento superficial (mm);

ΔA - Variação no armazenamento (mm).

A percolação ou a ascensão capilar na camada de um solo (Q_z), é determinada pelo uso da equação, expressa por Reichardt e Timm (2004) como,

$$Q_z = \int_{t_i}^{t_f} q_z \cdot dt \dots \dots \dots (2)$$

em que:

q_z é a densidade de fluxo calculada usando a “lei de Darcy-Buckingham” que pode ser expressa por

$$q_z = -K(\psi m) \frac{\partial \psi m}{\partial z} \dots\dots\dots(3)$$

em que:

$K(\Psi m)$ - condutividade hidráulica como função do potencial matricial;

$\frac{\partial \psi m}{\partial z}$ - gradiente de potencial matricial;

z - profundidade.

Os valores de gradiente de potencial matricial, são aproximados pela média do gradiente de potencial matricial no início (**i**) e no final (**f**) de um dado período, isto é,

$$\frac{\partial \psi m}{\partial z} = \frac{(\psi m_c - \psi m_b)_i + (\psi m_c - \psi m_b)_f}{2(z_c - z_b)} \dots\dots\dots(4)$$

em que:

Ψm_c - potencial matricial da água no solo na profundidade z_c (ponto de cima);

Ψm_b - potencial matricial da água no solo na profundidade z_b (ponto de baixo);

i, f - índices que indicam instante inicial e final, respectivamente.

Segundo Almeida (1993), de todos os elementos meteorológicos, a precipitação pluvial é a que mais afeta a produção agrícola, em face de sua grande variabilidade tanto em duração como em tempo de ocorrência. Porém, para prover as disponibilidades hídricas no solo necessárias à agricultura, não basta considerar somente os dados pluviométricos do período. Estes correspondem apenas ao processo de suprimento de água no solo para uso das plantas. É necessário considerar também o processo oposto, ou seja, a perda de água do solo para a atmosfera devido à evapotranspiração, fazendo-se o balanço hídrico no solo.

O escoamento superficial depende da interação entre a intensidade de precipitação e ou taxa de aplicação da irrigação com a capacidade de infiltração do solo, sendo ainda influenciada pelo declive da área, tipo e densidade da cobertura vegetal e das práticas de manejo e conservação do solo e da cultura. Embora de difícil quantificação, a sua determinação pode ser alcançada pelo confronto do total precipitado acumulado com as lâminas que, potencialmente, o solo permitiria infiltrar, ou ainda, pela instalação de coletores de deflúvio superficial em pequenas parcelas dentro da área, podendo permitir uma estimativa com razoável precisão (LIBARDI, 1999).

Drenagem profunda representa as perdas de água para além do limite da zona radicular da cultura. É o componente do balanço hídrico realizado em campo com maior dificuldade de mensuração, motivo que leva vários autores a desprezá-la ou incluí-la como parte do armazenamento ou evapotranspiração. Segundo Vachaud et al. (1985), este componente não é sempre desprezível, podendo representar 30 % ou mais do balanço hídrico total.

De acordo com Libardi (1999), a determinação da variação do armazenamento de água no solo pode ser obtida por meio da integração de perfis consecutivos de umidade do solo em determinado intervalo de tempo.

A taxa de evapotranspiração demonstra as necessidades hídricas da cultura, que variam com seu estágio de desenvolvimento, tornando sua estimativa essencial ao planejamento da irrigação (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

O conhecimento de todos os componentes do balanço hídrico permite acompanhar a evolução do armazenamento da água no solo, e assim, estabelecer um manejo agrícola adequado que vise a conservação do solo e da água, associado a melhores produtividades dos cultivos.

Segundo Guandique (1993), o balanço hídrico pode ser realizado por meio de uma série de dados climatológicos disponíveis em um local, como também por meio de dados obtidos num volume de controle no solo, assim referindo-se aos balanços hídricos climatológicos e no solo, respectivamente.

2.8 Retenção de água no solo

O conhecimento das características de retenção de água pelo solo é fundamental aos projetos e planejamento da irrigação.

O solo é um material natural, sólido e poroso que abriga em seus poros quantidades variáveis de uma solução aquosa de vários eletrólitos e outros componentes (água ou solução no solo) e de solução gasosa (ar no solo). A parte sólida deste material poroso é denominada de matriz do solo, enquanto a parte não ocupada pela matriz recebe o nome de espaço poroso do solo. O espaço poroso pode estar totalmente cheio de água, isto é, solo saturado, ou, caso contrário, quando a água de um solo nestas condições é drenada, o ar entra para substituí-la no espaço poroso, resultando em solo não saturado (Libardi, 1999).

Toda vez que um solo não estiver saturado e nele existir ar e ocorrerem interfaces água/ar (meniscos), que lhe conferem o estado de tensão (pressão negativa), essa tensão é resultante da afinidade da água com a matriz do solo,

devido às forças adsorptivas e de capilaridade oriundas das forças coesivas e adesivas que se desenvolvem dentro e entre as três fases do solo.

O mecanismo de união de moléculas de água entre si denomina-se coesão; a polaridade da molécula de água permite a adesão, quer dizer, a união entre moléculas de água e as partículas do solo, sobretudo as argilas. Estas forças de coesão e adesão permitem o funcionamento dos mecanismos de retenção de água, que variam segundo o tipo de solo (Cabello, 1996).

De acordo com Silva et al. (2000), o grau de energia ou tensão de água no solo, correspondente a um dado conteúdo de água, varia de um solo para outro e, sendo assim, um solo argiloso retém mais água do que o solo arenoso para um mesmo nível de tensão, significando que os solos argilosos levarão mais tempo para esgotar seu armazenamento do que os arenosos.

A curva característica de retenção de umidade é uma propriedade ou característica físico-hídrica do solo que relaciona o conteúdo volumétrico de água e o potencial matricial do solo (COUTO; SANS, 2002). Essa importante propriedade do solo está relacionada com a distribuição de tamanho de partículas do solo, estrutura, mineralogia e matéria orgânica (GONZÁLEZ; ALVES, 2005).

Experimentalmente, existem três maneiras diretas principais de medir esta relação do teor de água do solo sobre o potencial da solução, isto é, o potencial mátrico, que são as seguintes: câmara de pressão de Richards, funil de Haines e tensiômetros, as quais utilizam placa porosa (LIBARDI, 1999). O gráfico da umidade versus potencial matricial não é linear; para pequenas variações de umidade, o potencial matricial varia muito e, devido a isso, o gráfico é sempre apresentado na forma semi-logarítmica (SILVA, 1999). O autor ressalta que o uso de equações de retenção está substituindo o uso das curvas por permitir a inclusão de informações em programa computacional com a

finalidade de se fazer o manejo da irrigação a partir de dados de tensão da água no solo.

Segundo Andrade et al. (1998), a descrição matemática da curva de retenção é de interesse para caracterização, modelagem e análise de diferentes solos e cenários físico-hídricos. Uma equação relativamente simples para a predição da curva de retenção de água no solo foi descrita por Genuchten (1980).

É possível calcular o armazenamento de água disponível, em diferentes condições de tensão ou teor de água do solo, por meio dos seguintes dados: profundidade das raízes e de solo, teor de umidade, em porcentagem de volume, na capacidade de campo, a uma tensão de umidade dada, devendo-se considerar a capacidade de armazenamento de água no solo como sendo a soma que cada camada do solo armazena, para uma tensão observada (DOOREMBOS; PRUITT, 1977).

A energia de retenção de água no solo reflete o trabalho que deve ser exercido para remover uma quantidade unitária de água retida, exercendo papel fundamental no processo de absorção da água no solo pela planta (SILVA et al., 1998). Quanto maior for a força de retenção da água no solo, ou seja, tensão de água no solo, maior será o esforço que a planta terá de exercer para absorver a quantidade de água necessária para satisfazer às suas funções metabólicas.

Tornou-se cada vez mais claro que, em um sistema dinâmico, como é o estado da água no solo, na planta e na atmosfera, conceitos estáticos, tais como umidade equivalente, ponto de murcha permanente, água capilar, água gravitacional e outros, tornam-se sem significado, por basearem-se na hipótese de que os processos que ocorrem no campo se dirigem no sentido de estados estáticos. A quantidade de água absorvida pelas plantas depende da habilidade das raízes de absorver água do solo, bem como das propriedades do solo no fornecimento e na transmissão dessa água até as raízes, em uma proporção que

satisfaça às exigências da transpiração. Vê-se, então, que o fenômeno depende de fatores do solo, da planta e da atmosfera (REICHARDT; TIM, 2004).

2.9 Água disponível para as plantas

As curvas de retenção de água no solo se destacam quanto ao estudo do comportamento de água no solo devido às informações que são possíveis de se obter, principalmente, quanto à disponibilidade de água para as plantas.

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2005), a água disponível para as plantas é aproximadamente a diferença entre o conteúdo volumétrico de água na capacidade de campo e o conteúdo da mesma no ponto de murcha permanente, equivalente às tensões de 33 e 1500 kPa, respectivamente. Esse conceito pressupõe que a água do solo entre as tensões de 0 kPa (solo saturado) e 33 kPa não seja disponível às plantas, indo perder-se nas partes mais profundas do perfil do solo, por ação da gravidade. Em verdade, esta água, erroneamente designada gravitacional, muitas vezes é absorvida pelas plantas. Só em casos de solos muito permeáveis, submetidos a irrigações ou chuvas excessivas, com culturas de sistema radicular pouco profundo, é que muita água é perdida por percolação, mas, mesmo assim, não existe um intervalo fixo de tensão como de 0 a 33 kPa para definir a água sujeita à ação da gravidade. Esse conceito de água disponível também supõe que a água do solo acima de 1500 kPa de tensão não seja mais disponível às plantas, o que também não pode ser generalizado, pois diferentes culturas apresentam diferentes capacidades de resistência à deficiência de água no solo.

Não obstante, esse conceito de água disponível, cujos limites superior e inferior são representados, respectivamente, pela capacidade de campo e pelo ponto de murcha permanente, prevalece nos estudos de física do solo e irrigação

(CASTRO; VIEIRA, 1996), sendo utilizado como um critério para caracterizar o solo quanto à sua capacidade de armazenar água.

Em termos numéricos, calcula-se a água disponível empregando-se a seguinte equação:

$$AD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times Z \dots\dots\dots(5)$$

em que:

AD - Água disponível no solo (mm);

θ_{CC} - Umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_{PMP} - Umidade do solo no ponto de murcha permanente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Z - Profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

No caso de projetos de irrigação, devem-se considerar várias camadas do perfil do solo que abranjam toda a profundidade efetiva da zona radicular da cultura, determinando os limites superior e inferior, bem como a água disponível para cada camada (FARIA, 1998).

2.10 Capacidade de campo

Define-se capacidade de campo como o conteúdo de água que permanece no solo 2 a 5 dias após o mesmo ter sido saturado e a drenagem interna ter praticamente cessado (PREVEDELLO, 1996). Solos com elevada capacidade de campo são os que apresentam as melhores condições para a exploração agrícola, já que, nessa condição, o solo encontra-se com a máxima quantidade de água que ele pode reter contra a ação da força gravitacional

terrestre. No entanto, ela deve estar bem abaixo da umidade de saturação, de modo que o conteúdo de ar do solo seja suficiente para a planta.

A capacidade de campo foi por muito tempo, assumida como uma característica física constante para cada tipo de solo. Com o avanço dos conhecimentos sobre o movimento de água em solos saturados e não-saturados, tornou-se evidente que a capacidade de campo é um conceito arbitrário e não uma característica física do solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005). Ela varia de 4% nos solos arenosos até 45% nos solos muito argilosos, podendo ainda ser maior nos solos orgânicos. Os principais fatores que afetam são: textura, estrutura, tipo de argila, teor de matéria orgânica, profundidade de molhamento, umidade anterior ao umedecimento, presença de camadas de impedimento e evapotranspiração (KLAR, 1991).

Quanto à obtenção da capacidade de campo a partir das curvas de retenção de água no solo, alguns autores sugerem como limite superior da água disponível o conteúdo de umidade do solo em equilíbrio com a tensão de 6 kPa (RIBEIRO et al., 2007); Já outros aconselham a aplicação de uma tensão de 10 kPa (SILVA et al., 2005), enquanto outros recomendam a tensão de 33 kPa (REICHARDT; TIMM, 2004).

Apesar de todas as objeções ao conceito de capacidade de campo, essa é, uma informação importante (ANDRADE et al., 1998) e necessária na elaboração de projetos de irrigação, pois é utilizada no cálculo da água disponível às plantas no solo (KLAR, 1991).

2.11 Ponto de murcha permanente

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2005), o ponto de murcha permanente representa o teor de umidade no solo em que, abaixo dele, a planta não conseguirá retirar água do mesmo na mesma intensidade em que ele

transpira, aumentando a cada instante, a sua deficiência, o que levará à morte caso não seja irrigada. Ponto de murchamento é, pois, o limite mínimo da água armazenada no solo que será usada pelos vegetais. Ainda, segundo o mesmo autor, esse conceito é muito útil, mas deve-se lembrar que o seu valor depende do tipo de solo e que diferentes plantas são capazes de extrair água até diferentes limites.

Muitos têm sido os métodos e dispositivos ensaiados na determinação da umidade dos solos no ponto de murcha permanente, baseados nas distintas propriedades e características dos mesmos, sendo bastante usados os métodos fisiológicos em laboratório, que utilizam principalmente o girassol. A escolha do girassol como planta indicadora deve-se, provavelmente, às necessidades hídricas da mesma, que são relativamente altas (600 a 1000 mm) em comparação com a maioria das culturas. Adicionalmente, admite-se que, para uma grande quantidade de solos diferentes, existe uma elevada correlação entre a porcentagem de umidade no ponto de murcha permanente e a tensão de 1500 kPa (CIRINO, 1992).

Na prática, deve-se lembrar que a planta nunca deve ser submetida ao murchamento permanente. Para a maioria das culturas, as irrigações são planejadas para serem realizadas muito antes de se consumir 50% da água disponível. De acordo com Faria (1998), a determinação do momento ótimo de se realizar as irrigações de cada cultura é muito mais importante do que o próprio limite inferior de água disponível.

2.12 Coeficiente de cultura do cafeeiro

Assim como as outras culturas, o cafeeiro precisa de água facilmente disponível no solo para se desenvolver e produzir satisfatoriamente. Um

parâmetro fundamental no planejamento da irrigação e que, portanto, precisa ser previamente determinado é a evapotranspiração da cultura de interesse (ETc).

De acordo com Ribeiro (2006), o recurso mais comumente utilizado para se chegar a evapotranspiração de uma cultura de interesse (ETc), conhecendo-se a evapotranspiração de referência (ETo), consiste em utilizar o coeficiente de cultura (Kc). Esse coeficiente é obtido por meio da seguinte equação:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \dots\dots\dots(6)$$

em que:

Kc - Coeficiente de cultura, adimensional;

ETc - Evapotranspiração da cultura sem restrição de água, (mm dia⁻¹); e

ETo - Evapotranspiração de referência, (mm dia⁻¹).

A quantidade de água evapotranspirada depende principalmente da planta, do solo e do clima, sendo este último um fator predominante sobre os demais, de modo que a quantidade de água, requerida por uma cultura, varia de acordo com a extensão da área coberta pelo vegetal e as estações do ano (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI 2005).

Diversos trabalhos já demonstraram que a evapotranspiração da cultura não pode ser simplesmente estabelecida para todas as situações climáticas e para todo o ciclo da cultura com um simples valor de Kc. Dessa forma, os coeficientes de culturas, devem ser determinados para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

Os coeficientes de cultura variam de acordo com o estágio de desenvolvimento da planta, a densidade de plantio, as condições de umidade e

clima. De acordo com Doorenbos e Kassam (1979), no caso de culturas anuais, esses coeficientes assumem valores baixos, na fase de emergência, valores máximos durante o período de desenvolvimento vegetativo e declinam na fase de maturação.

A partir de tabelas de Kc, é possível traçar a curva de Kc, bastando, para isso, conhecer a duração, em dias, de cada período vegetativo. Também, pode-se ajustar uma equação de Kc como função de dias após emergência, índice de área foliar ou graus-dia de desenvolvimento, o que possibilita a inclusão das informações de Kc em programa de manejo de irrigação (SILVA, 1999).

Poucas informações de pesquisas são disponíveis sobre o Kc do cafeeiro e sua dinâmica em relação ao ambiente. Santinato, Fernandes e Fernandes (2008), apresentam os dados da Tabela 1 como sendo uma primeira aproximação para valores do coeficiente de cultura para o cafeeiro, em função da idade das plantas e do espaçamento de plantio. Segundo os autores, os dados apresentados foram baseados em experimentos e acompanhamento de campo de lavouras irrigadas no Triângulo Mineiro, Nordeste de Minas e Oeste da Bahia.

Tabela 1 Valores de Kc para a cultura do cafeeiro

Idade (anos)	Número plantas/ha	Kc
> 3 (adulta)	2500	1,0
	3333	1,1
	6166	1,2
	13333	1,3
1 a 3	2500	0,8
	3333	0,9
	6166	1,0
	13333	1,1
0 a 1	2500	0,6
	3333	0,7
	6166	0,8
	13333	0,9

Fonte: Santinato, Fernandes e Fernandes (2008)

Oliveira, Silva e Neto (2003), trabalhando com cafeeiro com 16 anos de idade, irrigado por gotejamento de junho a setembro, na região de Lavras-MG, obteve resultados de evapotranspiração diária variando de 2,52 a 3,50mm dia⁻¹, com valor médio de 2,85 mm dia⁻¹ e um coeficiente de cultura variando de 0,96 a 1,50, com um valor médio de 0,97.

Arruda et al. (2000) obtiveram valores de Kc que variaram entre 0,73 e 0,75 nos primeiros anos de plantio e de 0,87 a 0,93 aos 7 e 8 anos respectivamente. Coelho (2004) encontrou Kc variando de 0,1 a 0,5, estudando o cafeeiro em formação, com início em 603 graus dias de desenvolvimento (GDD) e término em 2673 GDD.

Em estudos realizados por Sato et al. (2007), uma lavoura de café Catuai (*Coffea arabica* L.), cultivada na região de Lavras-MG, no período compreendido entre os meses de abril a setembro de 2004, apresentou evapotranspiração variando desde um mínimo de 0,98 mm dia⁻¹ no mês de julho, a um máximo de 4,82mm dia⁻¹ no mês de setembro, e um coeficiente de cultura variando de 0,42 a 1,27.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de estudos e a cultura

Os experimentos foram desenvolvidos dentro e fora de um ambiente protegido localizado na área experimental do Departamento de Agricultura (Setor de cafeicultura) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), nos anos de 2008 e 2009. A área experimental situa-se no município de Lavras, MG, região Sul do Estado de Minas Gerais, a 918 m de altitude, 21° 14' S de latitude e 45° 00' W de longitude.

O ambiente protegido, modelo arco, de 8,0 m de largura e 57,5 m de comprimento, foi construído contornando uma cultura de cafeeiro Acaiá Cerrado (MG 1474) adulta cultivada no espaçamento de 2,0m entre linhas e 0,8m entre plantas. Apresenta pé direito igual a 3,50m e altura da parte central igual a 5,0m. A cobertura foi feita com filme de polietileno transparente de 150 micras de espessura e as laterais e os fundos foram revestidos com clarite.

Foram montados e calibrados dois lisímetros de pesagem mecânica: um do lado interno e outro do lado externo do ambiente protegido, para a determinação da evapotranspiração da cultura.

3.2 Clima

De acordo com a classificação de Koeppen, a região apresenta um clima Cwa, ou seja, clima temperado suave, chuvoso, com inverno seco, temperatura média do mês mais frio, inferior a 18 °C e superior a 3 °C; o verão apresenta temperatura média do mês mais quente, superior a 22 °C. A umidade relativa do ar média é de 76,2%, apresentando uma precipitação média anual de 1529,7 mm, bem como uma evaporação média anual de 1034,3 mm (BRASIL, 1992).

3.3 Solo

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1999). A caracterização química e física do solo, na época de implantação do experimento, foi realizada no laboratório do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e estão apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 Valores de atributos químicos: pH, matéria orgânica (M.O), macronutrientes, soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), índice de saturação por bases (V) e índice de saturação por alumínio (M), para as camadas 0-0,20 e 0,20-0,40m do Latossolo Vermelho Distroférico Típico por ocasião da instalação dos ensaios. UFLA, Lavras-MG, 2010

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	CAMADAS	
			(0 a 0,20m)	(0,20 a 0,40m)
pH	Em água	-	4,4	4,3
MO	(1:2,5)			
	Mat. orgânica	dag kg ⁻¹	2,9	2,9
P	Fósforo	mg dm ⁻³	22,3	10,0
K	Potássio	mg dm ⁻³	37	39
Ca ²⁺	Cálcio	cmol dm ⁻³	0,7	0,6
Mg ²⁺	Magnésio	cmol dm ⁻³	0,2	0,2
H+Al	Ac.	cmol dm ⁻³	7,9	7,9
	potencial			
SB	Soma bases	cmol dm ⁻³	1,0	0,9
(t)	CTC efetiva	cmol dm ⁻³	2,4	2,4
(T)	CTC a pH 7,0	cmol dm ⁻³	8,9	8,9
V	Sat. bases	%	11,1	10,2
M	Sat. alumínio	%	59	63

Análise de solo realizada no laboratório do DCS/UFLA

Tabela 3 Valores de densidade global do solo, dos teores de argila, silte e areia, classe textural correspondente para camadas 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m do Latossolo Vermelho Distroférico Típico. UFLA, Lavras-MG, 2010

Camada (m)	Argila	Silte (dag kg ⁻¹)	Areia	Classe textural
0,00 - 0,20	74	11	15	Muito argilosa
0,20 - 0,40	72	14	14	Muito argilosa
0,40 - 0,60	73	18	9	Muito argilosa

As curvas características de retenção de água no solo foram geradas a partir de dados experimentais e representadas pelo modelo de Genuchten (1980).

Primeiramente, foram coletadas amostras de solo, deformadas e indeformadas, nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm de profundidade. Em seguida, as amostras foram conduzidas ao Laboratório de Hidráulica da UFLA para a determinação da umidade (conteúdo de água) e tensão (potencial matricial de água) no solo. As amostras indeformadas foram saturadas por um período de 24 horas e, posteriormente, colocadas em funis de placa porosa, de modo a se estabelecer o total contato com a placa. Foram submetidas, em seguida, às tensões de 1, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa.

As amostras deformadas foram acondicionadas em cilindros de PVC e saturadas sobre a própria placa de cerâmica da câmara extratora de pressão. Posteriormente, foram aplicadas as seguintes pressões: 33, 100, 500 e 1500 kPa.

Com os valores característicos de umidade correspondentes aos seus respectivos valores de tensão, foram obtidos os ajustes de acordo com os parâmetros empíricos da equação proposta por Genuchten (1980), Equação 8, utilizando o programa computacional SWRC (*Soil Water Retention Curve*), elaborado por Dourado Neto et al. (1990). As equações ajustadas para as três camadas consideradas estão apresentadas na Tabela 4.

$$\theta_{(\Psi m)} = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \times |\psi m|)^n\right]^m} \dots\dots\dots(7)$$

em que:

$\theta_{(\Psi m)}$ - umidade do solo em função do potencial matricial, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_s - umidade de saturação, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_r - umidade residual, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

$|\psi m|$ - tensão ou potencial matricial, kPa;

α - parâmetro de ajuste, kPa^{-1} ;

m e n - parâmetros de ajuste da equação, adimensionais.

Tabela 4 Equações de Van Genuchten ajustadas para as camadas 0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m do Latossolo Vermelho Distroférico Típico. UFLA, Lavras-MG. 2010

Camada (m)	Equações ajustadas
0 – 0,20	$\theta(\Psi m) = 0,212 + \frac{0,234}{\left[1 + (1,174 \times \psi m)^{1,371}\right]^{0,2706}}$
0,20 – 0,40	$\theta(\Psi m) = 0,214 + \frac{0,209}{\left[1 + (0,917 \times \psi m)^{1,420}\right]^{0,2958}}$
0,40 – 0,60	$\theta(\Psi m) = 0,216 + \frac{0,227}{\left[1 + (1,867 \times \psi m)^{1,368}\right]^{0,2692}}$

3.4 Lisímetros

3.4.1 Local de instalação

A evapotranspiração da cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Acaiá Cerrado com três anos de recepa, foi determinada no período de Setembro de 2008 a Agosto de 2009, utilizando-se 02 (dois) lisímetros de pesagem instalados tanto dentro, quanto fora do ambiente protegido.

3.4.2 Montagem dos lisímetros

A construção e montagem dos equipamentos em campo iniciaram-se no mês de dezembro 2007, sendo concluídas no mês de abril de 2008. Uma retroescavadeira abriu dois buracos no solo na profundidade de aproximadamente 1,8m, sendo um fora e outro dentro da estufa (ambiente protegido). Em cada um destes buracos foi construído um tanque externo de alvenaria de 1,6m de largura por 2,2m de comprimento. No fundo dessa estrutura retangular de alvenaria fez-se um contra-piso de concreto-armado de 0,15m de espessura contendo 6 blocos (também de concreto-armado) de 0,10m de altura (Figura 1) para servirem como base de assentamento da balança lisimétrica.

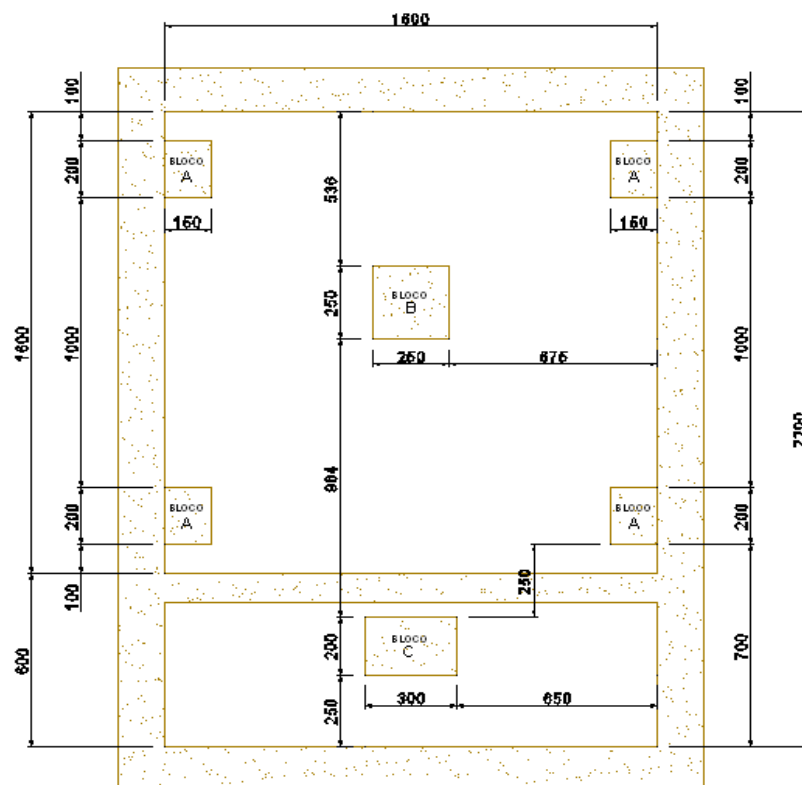


Figura 1 Planta-baixa com a disposição dos blocos de concreto-armado. Cotas em milímetros. UFLA, Lavras-MG. 2010

Cada tanque lisimétrico foi sustentado por uma balança de fabricação comercial constituída na parte superior por quadro metálico em viga I laminada de 0,1 m e, na parte inferior, por um conjunto de transmissão de forças composto de quatro conjuntos oscilantes, ligados a um mecanismo de três alavancas metálicas de redução de massa, apoiadas em cinco suportes colocados sobre os blocos de concreto.

Os tanques lisimétricos foram construídos em chapa de aço carbono de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,5 m de largura, 1,5 m de comprimento e 1,0 m de profundidade. Suas bordas superior e inferior foram reforçadas com cantoneiras de 60 mm de largura. Na parte interna inferior de duas laterais

paralelas, foram soldadas cantoneiras de 8 cm em formato de “U” com o objetivo de possibilitar o deslizamento da chapa de aço que comporia o fundo do tanque. Em um dos lados dessa chapa de aço fez-se corte em bixel para baixo, no intuito de facilitar a penetração da chapa no solo.

O preenchimento dos lisímetros foi feito com blocos de solo indeformados contendo uma planta de café Acaiá Cerrado adulta, retirada bem próxima do local onde seriam instalados os lisímetros. Para a retirada do solo indeformado contendo a planta, uma retroescavadeira abriu quatro valetas de 1,0 m de profundidade ao redor da planta e a 0,70m do caule, formando um bloco de solo de 1,4m de largura por 1,4 m de comprimento e 1,0m de altura. A caixa metálica (sem a chapa do fundo) foi erguida por um guindaste e colocada por cima da planta como se estivesse vestindo-a. Após esta etapa, a terra existente externamente em um dos lados da caixa metálica foi totalmente retirada e a chapa de aço que comporia o fundo da caixa foi empurrada pelo “braço” da retroescavadeira.

Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentados detalhes dos preenchimentos dos lisímetros com bloco de solo indeformado contendo a planta de café adulta.



Figura 2 Detalhe da abertura de valetas laterais à planta. UFLA, Lavras-MG, 2010



Figura 3 Detalhe de colocação da estrutura metálica por cima da planta. UFLA, Lavras-MG, 2010



Figura 4 Detalhe de inserção da chapa metálica do fundo do lisímetro por meio do “braço” da retroescavadeira UFLA, Lavras-MG, 2010

Um caminhão guincho içou a caixa metálica contendo o cafeeiro e o colocou sobre a balança. Para a instalação do lisímetro localizado dentro do ambiente protegido, foi preciso que o caminhão transportasse a caixa metálica contendo a planta em sua carroceria por uma distância de aproximadamente 18 metros, para então, colocá-la em cima da balança, tendo em vista a dificuldade de se realizar todo esse procedimento dentro do ambiente protegido (Figura 5).



Figura 5 Montagem do lisímetro dentro do ambiente protegido. (A) Detalhe do içamento do conjunto lisimétrico pelo caminhão guincho; (B) colocação do conjunto lisimétrico dentro da estrutura de alvenaria. UFLA, Lavras-MG, 2010

3.4.3 A célula de carga

A redução de peso total promovida pelo sistema em cada lisímetro, era registrada por uma célula de carga (Figura 6) do modelo SV, à tração, de capacidade de 100kg, selada contra umidade e com dispositivo para compensação contra variações de temperatura no zero e na calibração na faixa de 0 a 50°C. A sensibilidade das células de carga deste modelo é de $2 \pm 10\%$ mV/V. Segundo o fabricante (Alfa Instrumentos Eletrônicos Ltda. São Paulo, SP), a célula de carga possui um transdutor encapsulado por material resistente à corrosão, que varia sua resistência ao transporte de uma corrente elétrica em função da deformação longitudinal causada pela variação da massa sustentada. Ela funciona como uma ponte de Wheatstone que mede a diferença de potencial (mV) induzida pela variação da resistência da mesma à deformação. Portanto, medindo-se a variação na diferença de potencial do circuito elétrico pode-se avaliar a variação da massa causadora da deformação.



Figura 6 Vista da célula de carga utilizada. UFLA, Lavras-MG, 2010

O sinal elétrico de saída da célula de carga foi conectado a um sistema de aquisição de dados, (CR10X, Campbell Scientific., Logan – USA), que armazenou valores médios a cada hora, a partir de medidas obtidas a cada 3 segundos, iniciando-se à meia-noite. A potência elétrica para o sistema foi fornecida por um painel solar. Por precaução, utilizou-se uma bateria de 12 V para assegurar o suprimento de energia.

Usando-se como interface o programa PC208W, os dados armazenados eram transferidos duas vezes por semana para um módulo de memória portátil e posteriormente para um microcomputador.

3.5 Experimentos conduzidos

3.5.1 Experimento com imposição de déficit hídrico na cultura

Nesse experimento foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e cinco repetições. Cada bloco (Figura 7) possuía 4 parcelas casualizadas, cada parcela era composta por uma linha de 12 plantas. As avaliações foram realizadas nas 6 plantas centrais de cada parcela. Dentro do ambiente protegido foi destinado um espaço entre as plantas para instalação do lisímetro de pesagem mecânica para monitoramento da evapotranspiração da cultura.

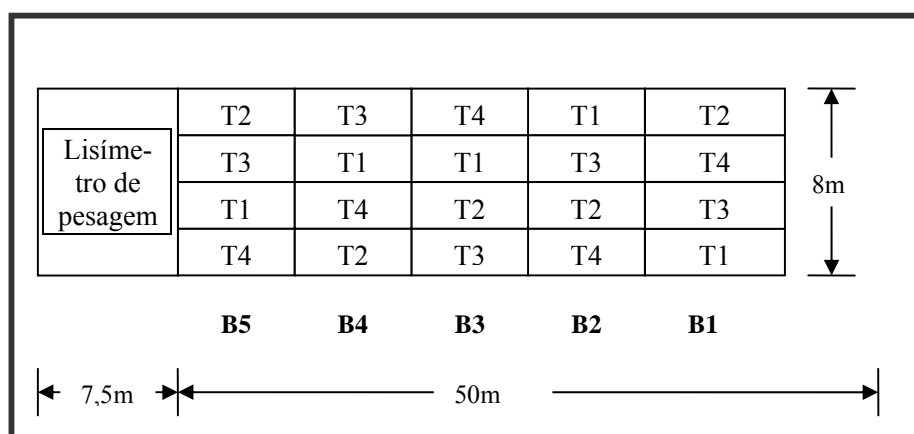


Figura 7 Layout da distribuição dos tratamentos no ambiente protegido com a localização do lisímetro interno. UFLA, Lavras-MG, 2010

Nas parcelas de cada bloco foram analisados os efeitos de intensidades de déficit hídricos. Para tanto, em todas as parcelas o teor de água do solo foi elevado até à capacidade de campo logo após a colheita, e então, a irrigação foi suspensa, dando-se início ao monitoramento do potencial de água na folha. O

retorno das irrigações ocorreu somente a partir do alcance de leituras de potenciais de água na folha, pré-definidos, conforme os seguintes tratamentos:

- Tratamento 1 - Irrigação o ano todo, sem período de déficit hídrico;
- Tratamento 2 - Paralisação da irrigação após a colheita e retorno quando o potencial hídrico foliar fosse igual ou inferior a -1,0 MPa;
- Tratamento 3 - Paralisação da irrigação após a colheita e retorno quando o potencial hídrico foliar fosse igual ou inferior -1,5 Mpa;
- Tratamento 4 - Paralisação da irrigação após a colheita e retorno quando o potencial hídrico foliar fosse igual ou inferior a -2,0 MPa.

Quando os tratamentos 2, 3 ou 4 apresentou valor de potencial hídrico foliar igual ou inferior aos pré-definidos, fez-se a irrigação do respectivo tratamento de modo a promover a elevação da umidade do solo até à umidade correspondente à capacidade de campo. Esta reposição de água foi feita com base no teor de água atual do solo.

3.5.1.1 Dados meteorológicos

Os dados de temperatura máxima, mínima e média do ar e umidade relativa foram coletados por uma estação automatizada instalada dentro do ambiente protegido e equipada com sensores situados a 2 metros de altura. Estes sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados (CR10, Campbell Scientific, Inc.), que armazenou valores médios a cada hora, a partir de medidas obtidas a cada 3 segundos, iniciando-se à zero hora (meia-noite).

3.5.1.2 Monitoramento do Potencial hídrico foliar (PHF)

As medições de potencial hídrico foliar eram feitas duas vezes por semana (terça-feira e sexta-feira), antes do nascer do sol, conforme recomendação de Soares et al. (2005).

Para a avaliação do PHF coletavam-se duas folhas completamente expandidas do terceiro par foliar contado a partir do ápice de um ramo plagiotrópico do terço médio das plantas (altura mediana) de cada tratamento. As folhas colhidas eram acondicionadas em sacos de papel alumínio e, estes, armazenados provisoriamente em uma caixa de isopor com gelo. As análises do potencial hídrico eram realizadas no Laboratório de Relação Água-Solo-Planta do Departamento de Engenharia de água e solo da Universidade Federal de Lavras, com o emprego da câmara de pressão tipo Scholander, fabricado pela Soil Moisture Equipments Corp, USA, modelo 3005.

3.5.1.3 Irrigação

A irrigação da cultura foi realizada por gotejamento, onde se utilizou tubos com gotejadores autocompensantes inseridos na linha de irrigação (gotejadores in-line). Uma unidade central de controle composta por reservatório de 15.000 litros, sistema de bombeamento, filtros de areia e tela, injetor de fertilizante e manômetros, abastecia e controlava o sistema de irrigação.

Inicialmente, em todos os tratamentos a umidade do solo foi mantida, por meio de irrigação suplementar, na umidade correspondente à capacidade de campo. O turno de rega era fixo, com realização das irrigações às segundas, quartas e sextas-feiras.

A lâmina de irrigação aplicada na cultura era calculada em função da umidade do solo, que por sua vez era obtida indiretamente a partir do potencial da água no solo (Ψ_m) e da curva característica de retenção de água no solo.

O potencial da água no solo foi medido com o auxílio de blocos de resistência elétrica, (faixa de atuação: 0 a -199 kPa). Esses sensores de umidade do solo foram instalados em três profundidades que representaram as camadas de 0 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m (Figura 8).



Figura 8 Disposição dos sensores de umidade do solo na linha de plantio. UFLA, Lavras-MG, 2010

Para o cálculo da lâmina de irrigação (Equações 8 e 9) foi utilizada a umidade média das camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm. O sensor instalado na última camada foi utilizado para quantificar o balanço de água no solo. Quando, em função do manejo, a tensão de água no solo ultrapassava -199 kPa, a umidade era determinada por meio do método padrão da estufa a 105 °C (método gravimétrico).

$$LL = (\theta_{cc} - \theta) \cdot Z \dots\dots\dots(8)$$

$$LB = \frac{LL}{Ea \cdot CU} \dots\dots\dots(9)$$

Em que:

LL - Lâmina líquida de irrigação, mm;

θ_{cc} - umidade do solo na capacidade de campo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ - umidade atual, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Z - profundidade efetiva do sistema radicular, mm;

LB - Lâmina bruta de irrigação, mm;

Ea - Eficiência de aplicação de água do sistema, (considerado como 0,90);

CU - Coeficiente de Uniformidade de emissão de água, decimal.

O volume de água a ser aplicado e o tempo de aplicação foi calculado conforme as equações 10 e 11, respectivamente.

$$V = LB \cdot A \dots\dots\dots(10)$$

Em que:

V - Volume de água a ser aplicado, L;

A - Área útil entre plantas, m^2 ;

$$T = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots(11)$$

Em que:

T - Tempo necessário de irrigação, h;

Q – Vazão fornecida pelos emissores, L h⁻¹;

Antes do início do experimento, avaliou-se a uniformidade de emissão de água por meio do método proposto por Keller e Karmeli (1975), obtendo-se as vazões em quatro pontos ao longo da linha lateral, ou seja, do primeiro gotejador, do gotejador situado a 1/3 do comprimento, do gotejador a 2/3 do comprimento e do último gotejador. Este procedimento foi realizado nas quatro linhas laterais de cada bloco. O coeficiente de uniformidade de emissão de água (CU) foi de 92%, sendo determinado pela Equação 12.

$$CU = \left(\frac{q_{25}}{q_a} \right) \cdot 100 \dots\dots\dots(12)$$

Em que:

CU - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

q_{25} - média das 4 menores vazões coletadas, L h⁻¹;

q_a - média das vazões coletadas, L h⁻¹.

3.5.1.4 Avaliação de floradas

Foram inicialmente amarradas fitas coloridas, para facilitar a localização, em quatros ramos plagiotrópicos de duas plantas de cada tratamento. Assim que os botões florais desses ramos atingiam o estágio E4 de desenvolvimento (Figura 9), apresentando uma coloração verde-clara, os

mesmos passavam a ser monitorados três vezes por semana e as flores que iam se abrindo eram contadas.







Estádio	Aspecto	Características
E1		Inchamento dos entrenós com presença de estípulas.
E2		Tamanho: 2mm. Botão floral indiferenciado de cor verde, coberto por estípulas, e presença de mucilagem cor âmbar.
E3		Tamanho: 2,6mm. Botões florais em desenvolvimento, sobressaindo as estípulas.
E4		Tamanho: 4,4mm. Botões florais de cor verde-clara no estágio de dormência.
E5		Tamanho: de 6 a 10mm. Botões de cor branca, próxima à abertura.
E6		Flores.

Figura 9 Estádios de desenvolvimento do botão floral do cafeeiro.
Fonte: Bonfim Neto (2007)

3.5.1.5 Colheita, maturação e produtividade

O critério utilizado para definição do momento de colheita foi a observação visual da concentração de frutos verdes num percentual igual ou inferior a 15%.

A análise do grau de maturação dos frutos foi feita contando-se a quantidade de frutos verde, verde-cana, cereja, passa e seco, existentes em um volume de 300 ml do café colhido.

Uma amostra de 10 litros (volume máximo adotado) do café colhido em cada tratamento foi acondicionada em sacos confeccionados com tela mosquiteira. Diariamente as amostras de café eram colocadas para secar ao sol até atingir a umidade de 11 a 12%, quando então, os frutos foram beneficiados e pesados. A produtividade foi estimada para um hectare e os dados foram analisados estatisticamente.

Para verificação dos possíveis efeitos do déficit hídrico imposto no ano de 2008, sobre o grau de maturação dos frutos e a produtividade, foram analisados os respectivos resultados obtidos na colheita da safra de 2008/2009.

3.5.1.6 Tamanho dos grãos

Para a classificação do café quanto ao tamanho dos grãos, foram usados 300 gramas de café beneficiado para cada tratamento, sendo posteriormente, calculados as porcentagens de grãos retidos nas peneiras 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13 (peneiras circulares - grãos chatos) e 13, 12, 11, 10, 9 (peneiras oblongas - grãos moca), conforme Brasil (2003), citado por Custódio (2009). As classes podem ser observadas na Tabela 5.

Tabela 5 Classes utilizadas para a classificação do café, de acordo com a Tabela oficial de classificação

Classificação	Peneiras	
Grão chato graúdo (café grande)	19, 18 e 17	
Grão chato médio (café médio)	16 e 15	
Grão chatinho (café miúdo)	14 e menores	
Grão moca graúdo	} Grãos Moca 13, 12 e 11	
Grão moca médio		10
Grão moquinha		9 e menores

3.5.2 Experimento com lisímetros

3.5.2.1 A Calibração

A calibração dos lisímetros foi feita no dia 23 de Junho de 2008 utilizando-se 29 sacos de 4,5kg e 2 sacos de 2,25kg contendo brita nº 1. Os sacos de brita foram pesados com balança de precisão de 0,01 grama. Como a área da superfície do lisímetro é de 2,25m² e a densidade da água é igual 1 kilograma por litro, a adição de 4,5kg sobre o mesmo equivale à adição de uma lâmina de água de 2,0mm.

Para evitar uma possível oscilação do conjunto durante a calibração devido ao vento, foi instalada previamente ao redor do lisímetro uma proteção plástica de 1,8m de altura.

A calibração dos lisímetros teve por finalidade estabelecer as relações entre o sinal elétrico de saída das células de carga (expressa em mV) e a variação de armazenamento de água no solo. Para tanto, antes de se iniciar a calibração foram anotados os valores do potencial matricial de água no solo nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm (Tabela 6). Esses valores foram utilizados para determinar o armazenamento inicial de água no solo de cada lisímetro.

Tabela 6 Valores de potencial matricial nas três camadas de solo por ocasião da calibração dos lisímetros. UFLA, Lavras, MG, 2010

Camada (cm)	Potencial matricial (kPa)	
	Lisímetro interno	Lisímetro externo
0-20	-61	-58
20-40	-112	-80
40-60	-109	-89

Iniciou-se o ensaio com a obtenção da leitura de voltagem, em milivolts (mV), em cada lisímetro descarregado (sem nenhuma massa extra). A seguir, a variação de voltagem foi obtida com a adição 2,25kg e depois com seqüência de cargas de massa equivalente a 2,0mm de água (4,5kg) sobre a superfície do lisímetro. Após cada acréscimo de massa aguardava-se 10 segundos e fazia-se a leitura de voltagem. O mesmo procedimento foi realizado retirando-se uma a uma as cargas que estavam sobre a superfície do lisímetro, iniciando-se pela carga de 2,25kg.

Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística de regressão pelo programa SISVAR 4.6 e com o auxílio do programa Microsoft Excel, foram gerados os gráficos de regressão linear com seus respectivos coeficientes de determinação (r^2) e equações características.

3.5.2.2 Reposição de água nos lisímetros

Foram instalados próximos à planta, três sensores de umidade do solo (Figura 10). Os mesmos ficaram dispostos a uma distância de 20cm um do outro e foram instalados em três profundidades que representavam as camadas de 0 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60m. Para o cálculo da lâmina de irrigação foi utilizada a média das camadas de 0 - 0,20 e 0,20 a 0,40m.

O manejo da irrigação foi realizado de maneira a manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Na prática, entre as tensões de 8 a 12 kPa, indicadas pelos sensores de umidade instalados no solo e pela equação proposta por Genuchten (1980).



Figura 10 Sensores de tensão de água no solo, instalados junto à planta, nas profundidades de: 10, 30, e 50cm, para o controle da irrigação e monitoramento do fluxo de água. UFLA, Lavras-MG, 2010

As irrigações foram realizadas manualmente aplicando-se a quantidade necessária de água com o auxílio de uma mangueira de 12 mm de diâmetro e de um hidrômetro. Para evitar deformações na superfície do solo, um ralo do tipo chuveiro de ducha foi conectado logo depois do hidrômetro (Figura 11). A superfície do solo ficou aproximadamente 3cm abaixo da borda da caixa metálica, evitando-se assim, a ocorrência de escoamento superficial.



Figura 11 Vista do equipamento utilizado nas irrigações nos lisímetros. UFLA, Lavras MG, 2010

Para evitar que a chuva viesse a contribuir com a elevação de peso do lisímetro construído fora do ambiente protegido, construiu-se sobre o mesmo uma cobertura móvel de madeira e material plástico rígido (acrílico). Essa estrutura ficava apoiada sobre as paredes de alvenaria e era facilmente removível para que fossem realizadas as leituras de potencial matricial e as aplicações de água. Para se evitar escorrimento de água de chuva pelo tronco da planta para dentro do lisímetro, optou-se por colocar um pedaço de plástico (o mesmo utilizado na cobertura da estufa) de aproximadamente $0,80\text{m}^2$ ao redor do tronco, fixando-o com uma tira de borracha (Figura 12 A e B).



Figura 12 Cobertura construída para evitar entrada de água de chuva no isímetro externo (A) e, detalhe da fixação do plástico no tronco da planta (B). UFLA, Lavras-MG, 2010

3.5.2.3 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)

Foram coletados dados diários de elementos meteorológicos, como temperaturas máxima, mínima e média do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento, precipitação e horas de luz solar. Esses dados foram obtidos junto à Estação Climatológica Principal (ECP) de Lavras, pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (Convênio UFLA - INMET), situada no campus da Universidade Federal de Lavras e a aproximadamente 750 metros do experimento. O cálculo da ET_o foi realizado na escala diária, de acordo com a metodologia de Penman-Monteith parametrizada pela FAO, Equação 13.

$$ET_o = \frac{s}{s + \gamma} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma \times 900}{(s + \gamma)(T + 273)} \times U_2 \times (e_s - e_a) \dots\dots\dots(13)$$

em que:

ET_o - evapotranspiração de referência (mm d^{-1});

S - declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

γ - coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

R_n - saldo de radiação à superfície, $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

G - fluxo de calor no solo, em $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$;

λ - calor latente de evaporação ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

T - temperatura média diária do ar ($^\circ\text{C}$);

U_2 - velocidade do vento à altura de 2 m (m s^{-1});

e_s - pressão de saturação do vapor d'água (kPa);

e_a - pressão atual de vapor d'água (kPa);

3.5.2.4 Determinação da evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura foi determinada por meio de balanço hídrico do solo tanto no ambiente interno, quanto no externo para o período de Setembro de 2008 a Agosto de 2009. Como não se tinha o efeito da chuva, nem do escoamento superficial sobre o lisímetro, o cálculo da lâmina evapotranspirada num dia, foi feito obtendo-se por meio da equação de calibração, o armazenamento de água (mm) no solo a zero hora, sendo acrescido a esse valor a lâmina de água porventura aplicada no intervalo de zero hora até 24 horas do mesmo dia e, finalmente, subtraindo-se o armazenamento de água às 24 horas.

Os valores diários de evapotranspiração da cultura obtidos por meio dos lisímetros de pesagem foram agrupados em períodos de 30 dias e transformados em médias mensais.

3.5.2.5 Determinação do coeficiente de cultura (Kc)

O coeficiente de cultura médio para um período de 30 dias, foi obtido pela relação entre a média mensal da evapotranspiração da cultura e a média mensal da evapotranspiração de referência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições meteorológicas

Os dados diários de precipitação (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar média (%), registrados durante os períodos em as plantas foram submetidas ao déficit hídrico e que ocorreram florescimentos, estão apresentados no Gráfico 1.

A umidade relativa do ar média (%) apresentou-se em declínio do mês de Junho até o mês de Julho, onde alcançou o índice de 41,5 % no final de Julho. Porém o menor valor de umidade relativa (38,75 %) ocorreu no início de Setembro. Algumas precipitações isoladas ocorreram entre os meses de Junho a Agosto, no entanto, o período chuvoso começou a partir do final do mês de Agosto. As precipitações mais expressivas ocorreram em Outubro e Novembro com índices de 51,3mm e 58,6mm respectivamente. A temperatura média diária foi de aproximadamente 20°C durante todo o período, sendo o seu valor mínimo de 13,6 °C no mês de Julho e o máximo de 25,6 °C em Outubro.

A ocorrência de chuvas foi comumente acompanhada por mudanças consideráveis nos valores de temperatura média do ar e umidade relativa em várias datas. Em 31 de agosto (início do período chuvoso) a temperatura média caiu de 22,2 para 17,3 °C enquanto que o índice de umidade relativa elevou-se de 47,5 para 78,8%.

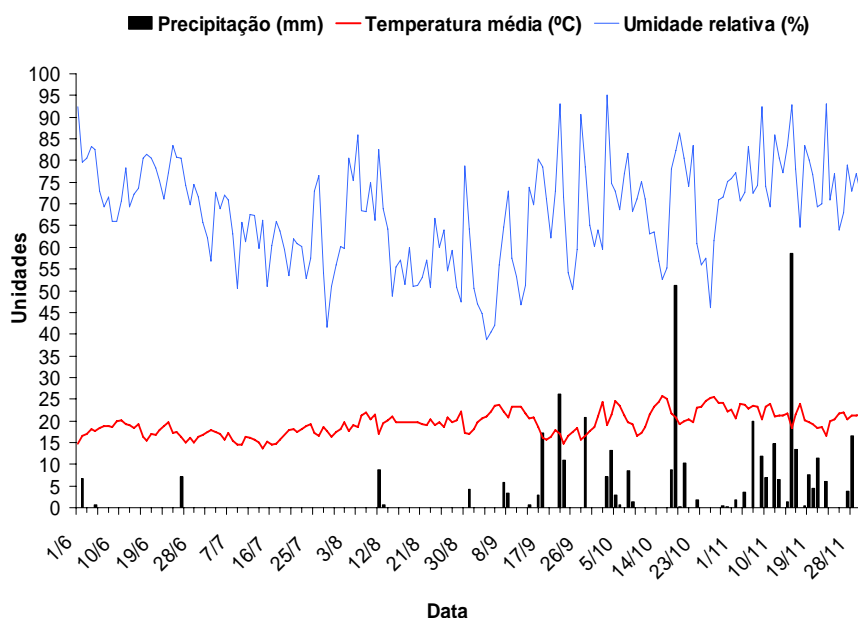


Gráfico 1 Dados diários de precipitação (mm), temperatura média (°C) e umidade relativa do ar média (%), compreendendo o período de Junho a Novembro de 2008. UFLA, Lavras, MG, 2010

4.2 Avaliação do florescimento

Os valores de potencial hídrico foliar, medidos durante o período em que as plantas estavam submetidas ao déficit hídrico, conforme os diferentes tratamentos são apresentados no Gráfico 2. Na Tabela 7, estão apresentados os dados das floradas ocorridas para cada um dos tratamentos.

A irrigação foi suspensa no dia 03 de junho, iniciando-se assim os períodos de déficit hídrico para os tratamentos 2, 3 e 4, os quais perduraram 59; 108 e 150 dias em função do potencial hídrico foliar pré-estabelecido para os mesmos. Para o tratamento 2 a primeira florada ocorreu no dia 23/09, portanto, 112 dias após a suspensão da irrigação. Para os tratamentos 3 e 4 a primeira florada ocorreu dia 04/10, portanto 123 dias após a suspensão da irrigação. Nas

plantas do tratamento 4 mesmo sem haver terminado o período de déficit hídrico, os botões florais se abriram nos dias 04/10 e 28/10. Vale ressaltar que o potencial hídrico das plantas se apresentava com valor médio de -1,4 MPa e -1,7 MPa nas respectivas datas, permitindo sinalizar que a intensidade do déficit hídrico não foi o determinante da florada. As plantas do tratamento 1, tendo sido irrigadas durante todo o período, abriram as suas flores em três datas diferentes.

Analisando-se as quatro floradas observadas (23/09; 04/10; 28/10 e 12/11), verifica-se que a primeira ocorreu apenas nas plantas do tratamento 2. Nesse tratamento, o período de déficit hídrico já havia sido suspenso e as plantas já estavam sendo irrigadas de modo a manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo. A segunda florada ocorreu nas plantas de todos os tratamentos. Nesse dia, a maior e a menor concentração de flores ocorreram nos tratamentos 2 e 4 com 62,34% e 28,27% respectivamente. A terceira florada apresentou valores intermediários de concentração de florada para os tratamentos 1 e 3, enquanto para os tratamentos 2 e 4 os valores foram os menores. A quarta florada propiciou o resultado mais expressivo (65,82%) em termos de concentração de florada, mostrado pelas plantas do tratamento 4.

Em nenhum dos tratamentos submetidos ao déficit hídrico foi constatado que o retorno das irrigações promoveu a abertura dos botões florais (Tabela 7). Assim não se evidencia uma sinergia entre a intensidade e a duração do período de déficit hídrico com a ocorrência das floradas.

Tabela 7 Duração do período de déficit hídrico foliar e porcentagem de floradas em cada tratamento. UFLA, Lavras, MG, 2010

Tratamentos	Data de suspensão da irrigação	Data de retorno da irrigação	Dias sem irrigar	Florada (23/09) (%)	Florada (04/10) (%)	Florada (28/10) (%)	Florada (12/11) (%)
Sem déficit hídrico	-	-	-	-	55,96	31,61	12,44
Déficit de -1,0 MPa	03/06	01/08	59	14,39	62,34	5,86	17,41
Déficit de -1,5 MPa	03/06	19/09	108	-	37,64	20,76	41,61
Déficit de -2,0 MPa	03/06	31/10	150	-	28,27	5,91	65,82

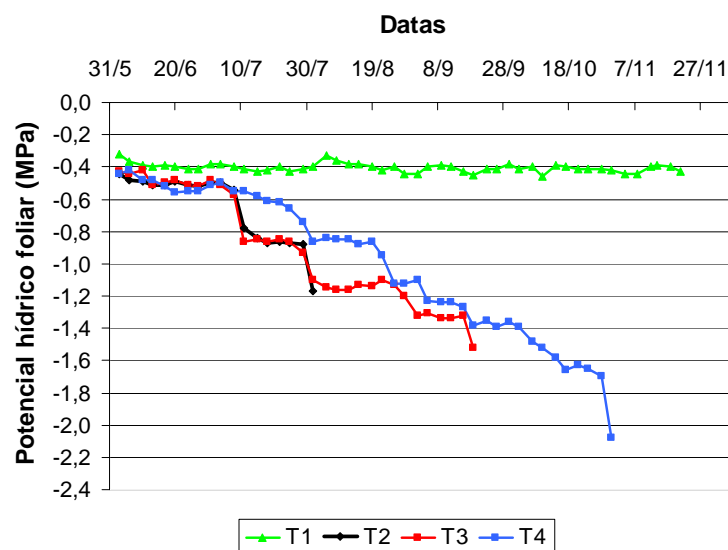
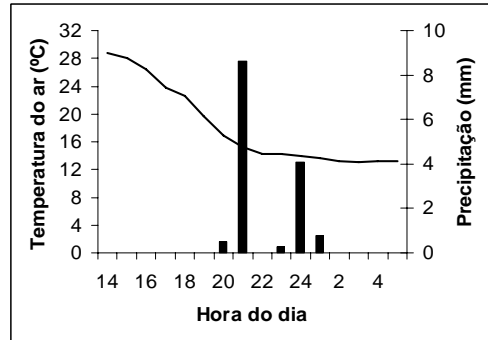
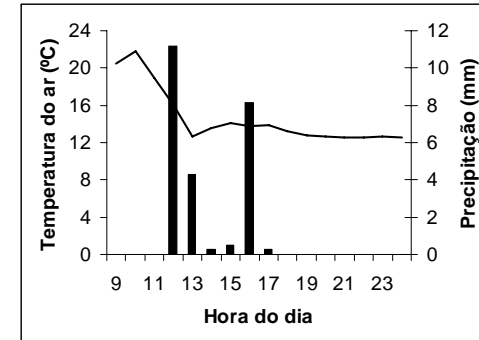


Gráfico 2 Potencial hídrico foliar da antemanhã, no período em que as plantas dos tratamentos foram submetidas ao déficit hídrico. UFLA, Lavras, MG, 2010

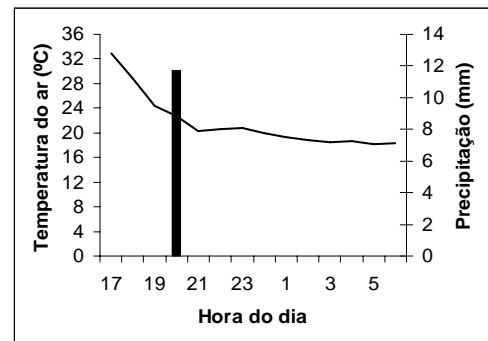
Analisando-se as datas de ocorrência de floradas, constatou-se que as mesmas foram sempre precedidas de quedas rápidas de temperatura, de altos índices de umidade relativa do ar e de chuvas, mesmo estando a cultura sob ambiente coberto. As variações de temperatura registradas pela estação meteorológica instalada dentro do ambiente protegido, em dias de chuva que antecederam as floradas, podem ser constatadas analisando-se os Gráficos 3 A, B, C e D.



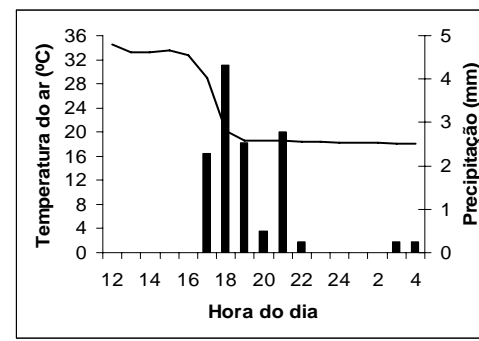
(A)



(B)



(C)



(D)

Gráfico 3 Temperaturas ocorridas durante as precipitações de 16/09 (A), 26/09 (B), 17/10 (C) e 06/11 (D). UFPA, Lavras, MG, 2010

O fato de apenas as plantas do tratamento 2 ter florescido no dia 23/09/2008 (1ª florada), ocorreu muito provavelmente, porque os botões florais já tinham atingido o estágio 4 de desenvolvimento (Figura 9), descrito por Crisosto, Granthz e Meinzer (1992) e Bonfim Neto (2007), quando os mesmos apresentam condições fisiológicas para que ocorra a quebra da dormência.

De acordo com Rena e Maestri (1987) os botões florais, que entraram em dormência durante um período de seca, tão logo ocorra uma chuva reiniciam imediatamente seu crescimento vegetativo, levando à abertura das flores. Porém, como chuvas e queda abrupta de temperatura estão geralmente associadas nas regiões tropicais, o sinal externo primário desencadeador da antese pode ser tanto água, quanto temperatura, ou uma interação dos dois.

Ainda segundo os mesmos autores, o intervalo entre o reinício do crescimento vegetativo e a antese aparentemente depende da temperatura. As diferenças de temperatura por ocasião das floradas podem determinar as variações no tempo de abertura dos botões, que está em geral entre 7 e 15 dias.

Ao que parece, as variações climáticas ocorridas no dia 16/09/2008 tiveram efeito na quebra de dormência dos botões florais das plantas do tratamento 2. Nesse dia, a temperatura média do ar registrada pela estação climatológica instalada dentro do ambiente protegido, caiu de 28,82 para 13,22°C num período de 16 horas, sendo que entre as 18 e 19 horas (pouco antes da chuva) essa queda foi 22,63 para 19,61°C (Gráfico 3 A).

Browning (1977) considera que rápidas reduções na temperatura, que normalmente acompanham as chuvas nos trópicos, podem desempenhar papel relevante na quebra de dormência dos botões florais do cafeeiro. O autor concluiu que a quebra da dormência ocorre apenas quando a temperatura decresce em 3°C ou mais, em um período de 45 minutos ou menos, e que tais alterações estavam sempre associadas a chuvas.

Cafeeiros cultivados em vasos constantemente irrigados floresceram quando foram transferidos de regimes de altas temperaturas dia/noite para regimes de baixas temperaturas, sugerindo que uma queda rápida da temperatura poderia eliminar a dormência dos botões florais do cafeeiro (RENA; MAESTRI, 1987).

Quedas bruscas de temperatura num espaço de tempo de 1 hora também foram registradas dentro do ambiente protegido, nos dias 26/09 (de 15,96 °C para 12,68 °C), 17/10 (de 28,73 °C para 24,38 °C) e 06/11 (de 28,98 para 20,24 °C), poucas horas antes e, ou durante a ocorrência de precipitação (Gráficos 3 B, C e D).

Externamente ao ambiente protegido a Estação Climatológica Principal (ECP) de Lavras também registrou nestes mesmos dias (Tabela 8), valores de temperatura que evidenciam variações consideráveis entre 9, 15 e 21 horas.

Tabela 8 Valores de temperatura (°C) registrados externamente pela Estação Climatológica Principal de Lavras. UFLA, Lavras, MG, 2010

DATA	TEMPERATURA (°C)		
	9 h.	15 h.	21h.
16/09/08	18,2	26,6	15,8
26/09/08	18,6	14,2	13,2
17/10/08	22,2	24,6	21,0
6/11/08	26,0	32,6	19,2

Portanto, nestas datas ocorreram as condições propícias para o desencadeamento das floradas (mudanças drásticas de temperatura dias antes da floração, associada à ocorrência de chuva) de acordo com Browing (1977), Rena e Maestri (1987). Entretanto, no presente caso a influência da chuva foi anulada pelo ambiente protegido, permitindo assim considerar as quedas de temperatura como o principal fator responsável pelas floradas.

Soares et al. (2005) também observou que não houve quebra da dormência dos botões florais, mesmo quando o potencial hídrico da planta alcançou valores de -0.8, -1.2 e -1.9 MPa, após 30, 63, 90 dias de déficit, respectivamente, e que a quebra da dormência só ocorreu quando estes se encontravam no estágio 4 de desenvolvimento do botão floral (CRISOSTO; GRANTZ; MEINZER, 1992), e após a ocorrência de precipitações acompanhadas de queda brusca de temperatura, mesmo nos tratamentos que apresentavam potencial hídrico de -0,2 MPa. O autor concluiu, portanto, que existe sinergismo entre os elementos climáticos, como precipitações, temperatura e déficit de pressão de vapor, sobre o desenvolvimento dos botões florais. Esse sinergismo poderia levar os botões à antese, quando se encontram no estágio 4 de desenvolvimento.

Estes autores comentam a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o efeito do déficit hídrico aliados a elementos climáticos, como precipitações, temperaturas e déficit de pressão de vapor, para que se possa chegar a dados mais confiáveis sobre o desenvolvimento do botão floral do cafeeiro, os quais apenas poderão ser obtidos estudando o efeito de cada fator climático de forma isolada e, posteriormente, fazendo associações entre estes.

4.3 Análise da maturação dos frutos

As médias dos percentuais de grãos colhidos do cafeeiro, conforme os estádios de maturação na safra 2008/2009, encontram-se na Tabela 9. Observa-se, pelos resultados do teste de Tukey, a 5% de probabilidade que o comportamento das variáveis para o grau de maturação apresenta diferenças significativas, para a variável verde e cereja. Para o estágio verde, o tratamento 1 (28,64%) e o tratamento 3 (11,85%) apresentaram os maiores valores percentuais.

Em todos os tratamentos o percentual de frutos cereja foi o que apresentou os maiores valores e, o tratamento 1 (irrigação o ano todo), foi o que apresentou a menor concentração de frutos neste estágio de maturação (51,62%), diferindo estatisticamente dos demais tratamentos, que, no caso, obtiveram valores percentuais superiores.

Tabela 9 Valores percentuais médios para o estágio de maturação dos frutos do cafeeiro Acaíá Cerrado. UFLA, Lavras, MG, 2010

Tratamentos	Estádio de maturação do fruto				
	Verde	Verde-cana	Cereja	Passa	Seco
Safrá 2008/2009					
Sem déficit hídrico	28,64 a	13,39 a	51,62 b	4,93 a	1,43 a
Déficit de -1 MPa	6,85 b	5,59 a	76,46 a	8,36 a	2,73 a
Déficit de -1,5 MPa	11,85 b a	12,39 a	69,61 a	4,29 a	1,86 a
Déficit de -2 MPa	8,21 b	11,68 a	72,49 a	3,91 a	3,71 a

Médias seguidas nas colunas pela mesma letra em cada safra, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

É importante ressaltar, neste estudo, que a tomada de decisão para se iniciar a colheita das parcelas foi feita visando obter um valor percentual igual ou inferior a 15% de frutos no estágio verde. Pode-se observar na Tabela 9 que a porcentagem de frutos verdes se mostrou como o preestabelecido, ou seja, abaixo dos 15% de frutos no estágio verde para quase todos os tratamentos, excetuando-se apenas o tratamento 1 com índice de 28,64%, indicando que para esse tratamento o ideal seria que a colheita acontecesse mais tardiamente.

Pode-se destacar que no tratamento 1 (sem déficit hídrico) o grau de maturação dos frutos apresentou-se de maneira mais distribuída, não ocorrendo uma concentração percentual de frutos num mesmo estágio de maturação, como verificado nos tratamentos 2, 3 e 4 (submetidos ao déficit hídrico). Isto sugere que a irrigação o ano todo promove uma maturação desuniforme.

4.4 Análise da produtividade

As médias de produtividades (sacas de 60 kg ha⁻¹) do cafeeiro obtidas na safra 2008/2009, encontram-se na Tabela 10. Não houve efeito significativo dos tratamentos sobre a produtividade.

Tabela 10 Valores médios para a variável produtividade do cafeeiro Acaia Cerrado. UFLA, Lavras, MG, 2010

Tratamento	Sacas de 60 kg ha ⁻¹
Sem déficit hídrico	20,4 a
Déficit de -1 MPa	40,8 a
Déficit de -1,5 MPa	39,8 a
Déficit de -2 MPa	45,4 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

No tratamento 1, irrigado durante todo o período experimental, a produtividade foi de apenas 20,4 sacas de 60 kg ha⁻¹. Enquanto que para os tratamentos 2, 3 e 4, que foram submetidos a diferentes períodos e intensidades de déficit hídrico, as produtividades foram de 40,8; 39,8 e 45,4 sacas de 60 kg ha⁻¹, respectivamente. Guerra, Rocha e Sanzonowicz (2006), analisando diferentes estratégias de manejo de irrigação do cafeeiro, verificou que as maiores produtividades foram alcançadas pelos tratamentos que ficaram sujeitos a qualquer magnitude de estresse hídrico, ao contrário da testemunha, irrigada o ano todo, que apresentou produtividade inferior. Segundo os autores, isto pode ser uma indicativa do benefício de submeter as plantas de café ao estresse controlado para sincronizar o desenvolvimento das gemas reprodutivas e obter floração e maturação uniformes.

No município de Linhares (ES), uma lavoura de café com 8 anos de idade, foi irrigada por gotejamento no primeiro ano, sendo posteriormente substituído por microaspersão. Neste trabalho, Silveira et al. (1993) avaliaram a viabilidade e os efeitos da irrigação sobre a produção de frutos nos diferentes estágios fenológicos da cultura. Os tratamentos utilizados foram: SI - sem irrigação; IAI - irrigação o ano inteiro; IAF - irrigação no período de abotoamento e floração; IFPF - irrigação no período de floração e pegamento de frutos; ICF - irrigação no período de chumbinho e rápida expansão de frutos; IG - irrigação no período de granação e IFG - irrigação no período de floração à granação. Foi constatado que houve diferença estatística entre os tratamentos e que na média sobressaíram os tratamentos IAF e IFPF como os mais produtivos. Os autores concluíram que a irrigação o ano todo não traz nenhum benefício à produtividade do cafeeiro.

4.5 Análise do tamanho dos grãos

As médias da classificação percentual para tamanho de grãos (peneira) encontram-se na Tabela 11. Os resultados médios percentuais de Grãos chatos grandes (GCG), grãos chatos médios (GCM), grãos chatinhos (GC), grãos moca graúdos (GMG), grãos moca médios (GMM), grãos moquinhos (GM), grãos peneira 16 e acima ($P>16$) e grãos moca (Moca), não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os maiores valores percentuais de GCG ocorreram para o tratamento 2 (35,08%), sendo esse tratamento também responsável pela maior contribuição percentual de peneiras 16 e acima (53,37%). Para a classe GCM, o tratamento 3 (com 44,69%) e o tratamento 4 (com 40,22%) apresentaram os maiores valores percentuais, quando comparados aos demais.

Tabela 11 Valores percentuais médios da distribuição dos grãos de café beneficiados retidos nas peneiras 19-ch, 18-ch e 17-ch (GCG); 16-ch e 15-ch (GCM); 14-ch e 13-ch (GC); 13-m, 12-m e 11-m (GMG); 10-m (GMM); 9-m, 8m e fundo (GM) na safra 2008/2009. UFLA, Lavras, MG, 2010

Tratamentos	(GCG) (%)	GCM (%)	GC (%)	GMG (%)	GMM (%)	GM (%)	P ≥ 16 (%)	Moca (%)
Sem déficit hídrico	25,18 a	37,64 a	15,45 a	6,05 a	5,25 a	10,43 a	41,78 a	21,73 a
Déficit de -1 MPa	35,08 a	38,60 a	7,19 a	6,98 a	7,14 a	5,01 a	53,37 a	19,13 a
Déficit de -1,5 MPa	24,21 a	44,69 a	10,83 a	6,56 a	6,59 a	7,11 a	43,35 a	20,27 a
Déficit de -2 MPa	32,38 a	40,22 a	8,69 a	7,45 a	6,15 a	5,12 a	52,29 a	18,71 a

Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey

Observando a Tabela 11, verifica-se que o tratamento 1, que foi irrigado durante todo o período do experimento, alcançou os maiores valores de percentuais para as classes GC (15,45%), GM (10,43%) e grãos moca (21,73%). Consequentemente, menores percentuais de peneiras 16 e acima (41,78%), foram obtidos por este tratamento.

Por outro lado, o tratamento 2 (com 53,37%) e o tratamento 4 (com 52,29%) apresentaram os maiores valores percentuais médios de grãos retidos na peneira 16 e acima, que são os mais desejados comercialmente, uma vez que boa parte dos defeitos dos grãos de café se encontra naqueles com diâmetros menores.

4.6 Avaliação do funcionamento dos lisímetros

As correlações entre as variações de armazenamento (mm) e a resposta de voltagem (mv) (Gráficos 4 e 5), foram ótimas ($r^2 > 0,999$) tanto para o lisímetro interno quanto para o lisímetro externo. O modelo linear mostrou-se adequado para explicar estas relações.

O armazenamento inicial de água no solo nos lisímetros internos e externos era de 250 e 253mm, respectivamente. Pode-se verificar nos Gráficos 4 e 5 que houve baixa dispersão entre os valores de potencial elétrico medidos no processo de carga e descarga em relação ao armazenamento, ocorrendo apenas pequenos desvios ($< 0,0020\text{mm}$).

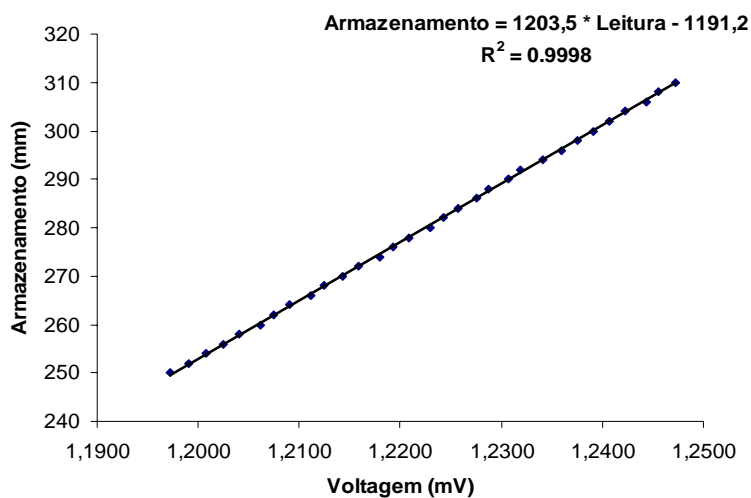


Gráfico 4 Relação entre armazenamento (mm) e voltagem (mV) para o lisímetro interno. UFLA, Lavras, MG, 2010

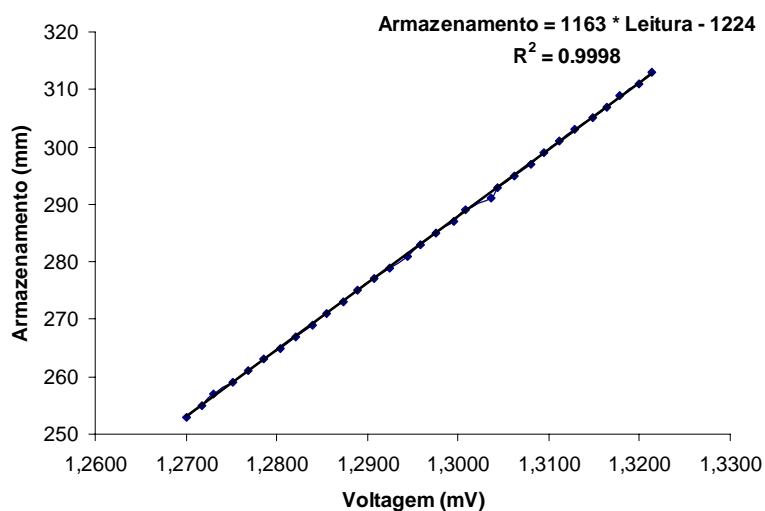


Gráfico 5 Relação entre armazenamento (mm) e voltagem (mV) para o lisímetro externo. UFLA, Lavras, MG, 2010

No Gráfico 6 apresenta-se o resultado do monitoramento realizado pelos lisímetros de pesagem interno e externo, com valores médios de cada hora ao longo de um dia. Pode-se observar que a lâmina de água permanece inalterada durante as primeiras horas do dia até o sistema começar a perder carga (perda de água) através da evapotranspiração. Entre as 15 e 16 horas foram adicionadas lâminas de água de 8,0mm no lisímetro interno e 9,0mm no externo. No lisímetro externo, a irrigação foi suficiente para retornar o armazenamento de água ao nível anterior às perdas ocorridas, ou seja, a irrigação foi igual à evapotranspiração naquele período. No lisímetro interno, a irrigação superou a evapotranspiração, elevando o armazenamento de água.

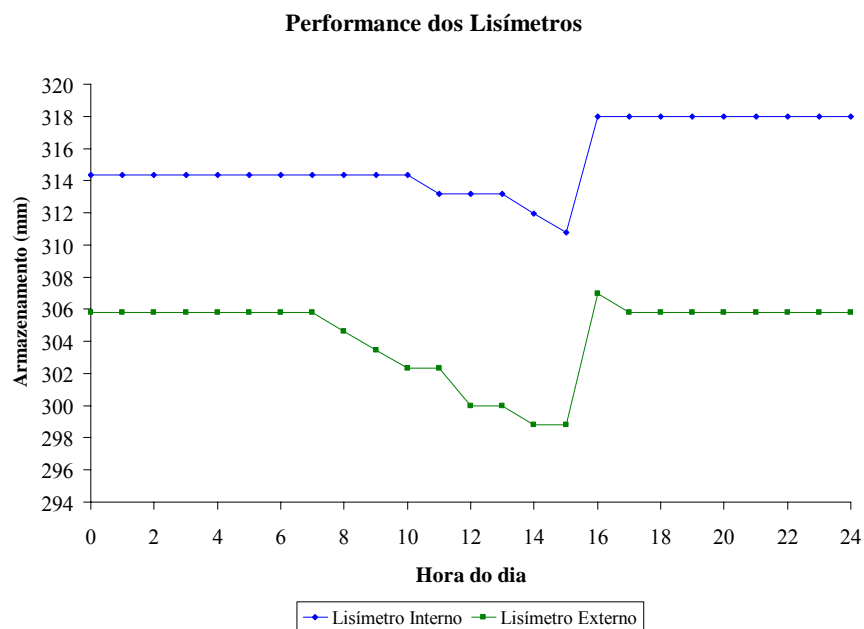


Gráfico 6 Lâmina de água armazenada nos lisímetros interno e externo ao longo de um dia. UFLA, Lavras, MG, 2010

4.7 Evapotranspiração e coeficiente de cultura

No Gráfico 7 estão apresentados os valores diários de precipitações ocorridas no período do ensaio experimental. No Gráfico 8 estão apresentados os valores mensais médios de evapotranspiração de referência (ETo) calculados pelo método de Penman-Monteith-FAO e também os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) determinados por meio dos lisímetros instalados internamente e externamente ao ambiente protegido.

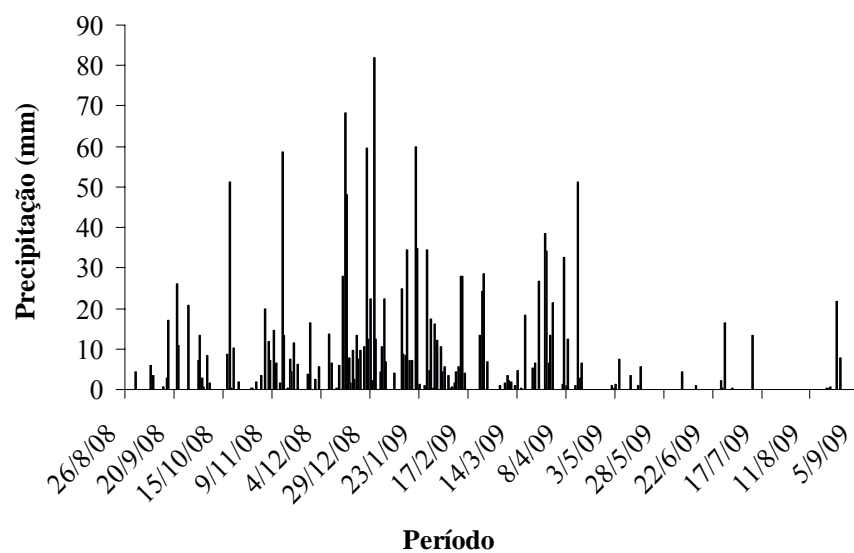


Gráfico 7 Valores diários de precipitação durante o período de determinação da evapotranspiração do cafeeiro. UFLA, Lavras, MG, 2010

O período de chuvas (Gráfico 7), na região do sitio experimental ocorreu entre os meses de Setembro de 2008 a Maio de 2009, sendo que o maior índice pluviométrico (82 mm) foi registrado no dia 31/12/2008.

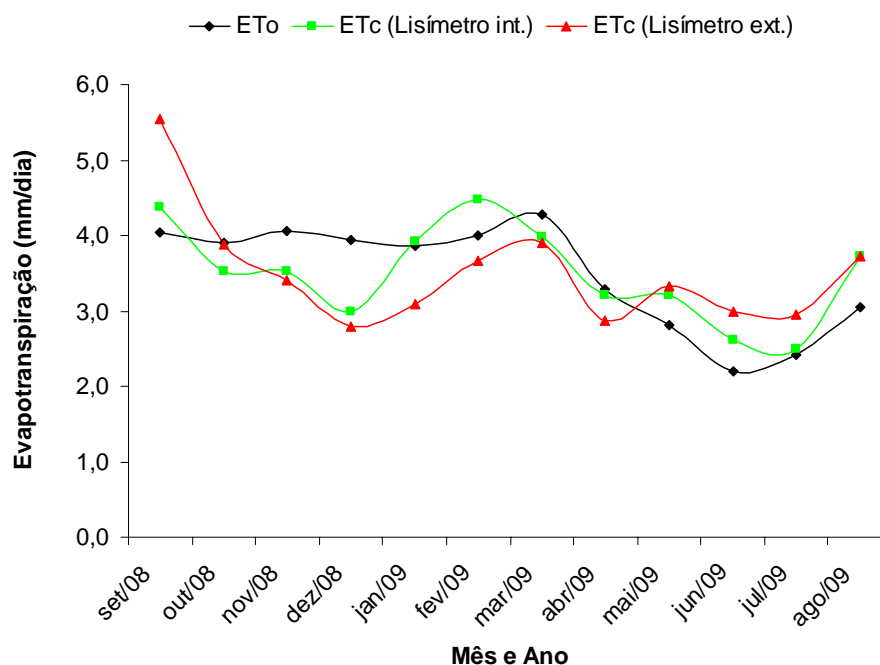


Gráfico 8 Valores diários médios mensais estimados para a evapotranspiração de referência (ET_o) e determinados para a evapotranspiração da cultura (ET_c), nos dois lisímetros. UFLA, Lavras, MG, 2010

De maneira geral, os valores diários médios mensais da evapotranspiração de referência (ET_o), (Gráfico 8), apresentou poucas variações entre os meses de Setembro de 2008 a Março de 2009, quando então, começou a decrescer até o mês de Julho e, a partir daí, passando a ser crescentes até o mês de agosto do mesmo ano. Os menores valores diários médios mensais estimados de ET_o ocorreram no período de Abril a Agosto de 2009, tendo o valor mínimo ocorrido no mês de Junho (2,2 mm dia⁻¹).

Na análise comparativa das informações contidas nos Gráficos 7 (precipitação) e 8 (ET_o e ET_c), constata-se que no período em que ocorreram os menores índices de precipitação também ocorreram os menores valores de ET_o, bem como, baixos valores para ET_c. Como nesta época a cultura encontra-se na

fase de dormência, realizando baixa atividade vegetativa, a deficiência hídrica resultante pode não ser tão prejudicial.

São apresentados na Tabela 12, o valor médio, o desvio padrão, o coeficiente de variação e a amplitude de variação dos valores de E_{Tc} obtidos durante o período analisado. Pode-se verificar que não houve efeito de condição ambiental (protegido ou não) sobre o valor médio da evapotranspiração da cultura ($3,50 \text{ mm dia}^{-1}$ ambiente protegido e $3,51 \text{ mm dia}^{-1}$ não protegido). Estes valores indicam também que a cobertura móvel colocada 50cm acima do lisímetro externo exerceu pouca ou nenhuma influência sobre o resultado da evapotranspiração.

Segundo Allen e Fisher (1991), em plena cobertura do solo pelas culturas, mais de 90% da evapotranspiração vêm da transpiração, sendo, portanto, a contribuição da evaporação muito pequena no processo.

Marin et al. (2004), realizaram estudos em cafezal Mundo Novo com $4000 \text{ plantas.ha}^{-1}$, com idade de 5 anos após o plantio e irrigado por gotejamento, usando o método da razão de Bowen para determinar a evapotranspiração global do cafezal, enquanto a transpiração dos cafeeiros foi determinada por medidas de fluxo de seiva feitas pelo método de balanço de calor no caule desde o final de agosto a outubro. Os resultados desses autores mostraram que a transpiração dos cafeeiros foi responsável por 90% da ET do cafezal quando o solo das entrelinhas não tinha vegetação.

Tabela 12 Dados estatísticos relacionados à evapotranspiração da cultura determinada dentro e fora do ambiente protegido. UFLA, Lavras, MG, 2010

Dado Estatístico	Evapotranspiração da cultura (mm dia ⁻¹)	
	Ambiente protegido	Ambiente não-protegido
Média	3,50	3,51
Desvio padrão	0,63	0,75
Coefficiente de variação	0,18	0,21
Amplitude de variação	1,98	2,76

Ocorreram menores valores de desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude de variação para a evapotranspiração da cultura determinada dentro do ambiente protegido do que a determinada em ambiente externo.

Na Tabela 13, é apresentado um resumo dos elementos meteorológicos coletados durante o experimento. Os dados externos referem-se a medidas obtidas na Estação Climatológica Principal (ECP) de Lavras, e os dados internos foram coletados pela estação automática instalada dentro do ambiente protegido, conforme citado anteriormente. Vale ressaltar que os dados de radiação solar internos foram medidos por um piranômetro enquanto que os dados de radiação solar externos foram estimados a partir do número diário de horas de brilho do sol. Em virtude de problemas instrumentais, não foi possível obter medidas confiáveis de velocidade do vento no período de Setembro de 2008 a Abril de 2009.

Tabela 13 Valores médios mensais de temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, e velocidade do vento, ocorridos dentro e fora do ambiente protegido. UFLA, Lavras, MG, 2010

Mês e Ano	Temperatura média (°C)		Umidade relativa média (%)		Radiação solar (MJ m ⁻² dia ⁻¹)		Velocidade vento (m s ⁻¹)	
	Dados internos	Dados externos	Dados internos	Dados externos	Dados Internos	Dados externos	Dados internos	Dados externos
set/08	19,80	19,43	62,55	62,05	12,52	19,71	-	2,85
out/08	21,68	21,99	71,13	69,89	10,87	18,24	-	2,62
nov/08	21,46	21,20	73,87	76,30	11,78	19,88	-	2,80
dez/08	21,52	21,37	82,54	80,51	9,26	17,93	-	2,36
jan/09	22,75	22,20	74,80	80,60	12,46	18,78	-	2,35
fev/09	23,48	23,29	75,34	76,75	13,62	21,41	-	2,07
mar/09	23,08	22,68	76,69	78,50	11,89	21,38	-	2,10
abr/09	20,61	20,42	76,69	74,78	11,49	17,77	-	1,98
mai/09	18,86	18,71	76,32	75,32	9,19	15,40	0,38	2,02
jun/09	16,47	16,23	75,39	74,59	7,12	13,30	0,44	1,78
jul/09	18,20	18,57	75,18	70,31	6,66	14,57	0,45	2,17
ago/09	18,69	18,47	66,65	66,41	10,67	15,55	0,45	2,36

Verifica-se na Tabela 13, que os valores observados para a temperatura diária média mensal no interior da casa de vegetação foram bastante parecidos com os observados na parte externa, não ocorrendo grande variação dos mesmos ao longo dos meses.

A radiação solar diária média mensal registrada no interior do ambiente protegido foi sempre inferior à registrada externamente, em virtude da interceptação pela cobertura plástica. Na média de todo o período experimental a radiação solar interna foi de $10,63 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que a externa ficou em $17,83 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Conclui-se que em média 40% da radiação solar incidente foi interceptada pela cobertura, resultando num valor médio de transmissividade da radiação de 60%. Estes valores não são coerentes com os encontrados por Farias et al. (1993), cujo valor médio da transmissividade da radiação foi 83%. Muito provavelmente, a cobertura plástica utilizada por estes autores possuía características diferentes da que foi utilizada neste estudo.

Os menores valores de umidade relativa diária média mensal ocorreram internamente e externamente no mês setembro de 2008, o que resultou nos maiores valores de evapotranspiração de cultura (Gráfico 8). Observa-se no Gráfico 8 que a evapotranspiração interna e externa, variaram durante o experimento à medida que variaram os valores de umidade relativa diária média mensal (Tabela 13). Vale ressaltar, que durante à noite, por causa da retenção de vapor de água pela cobertura plástica, a umidade relativa no interior do ambiente protegido se aproximou de 100%, tendo sido superior à observada na parte externa. Estes dados mostram que a umidade relativa exerceu maior influência nas variações de evapotranspiração da cultura nesse estudo.

Na Tabela 14 podem ser visualizados os valores médios mensais de coeficiente de cultura determinados pela razão entre a E_{Tc} medida nos lisímetros com o cafeeiro Acaiá Cerrado e a E_{To} estimada pelo método Penman-Monteith-FAO.

Tabela 14 Valores médios mensais estimados de coeficiente de cultura (Kc), do desvio padrão, coeficiente de variação e da amplitude de variação. UFLA, Lavras, MG, 2010

Mês e Ano	Kc Ambiente Interno	Kc Ambiente Externo
set/08	1,08	1,37
out/08	0,91	1,01
nov/08	0,87	0,84
dez/08	0,76	0,71
jan/09	1,01	0,79
fev/09	1,13	0,92
mar/09	0,93	0,91
abr/09	0,98	0,88
mai/09	1,14	1,18
jun/09	1,19	1,37
jul/09	1,03	1,23
ago/09	1,19	1,19
Média	1,02	1,03
Desvio Padrão	0,13	0,23
Coef. de Variação	0,13	0,22
Ampl. de Variação	0,43	0,65

Os coeficientes médios mensais do cafeeiro cultivado no ambiente protegido variaram de 0,76 em Dezembro de 2008 a 1,19 nos meses de Junho e Agosto de 2009. Externamente, os valores variaram de 0,71 em dezembro de 2008 a 1,37 em Setembro de 2008 e Junho de 2009. Contudo, na média de todo o período experimental, os valores de Kc obtidos para o cafeeiro cultivado dentro e fora do ambiente protegido foram muito próximos 1,02 e 1,03 respectivamente.

Comparando-se os dados de coeficiente de cultura obtidos com o cultivo de café dentro e fora do ambiente protegido, verifica-se que: os dados de Kc para o cultivo dentro do ambiente protegido apresentaram menor variabilidade

(CV = 13%), com desvio padrão e amplitude de variação também pequena, evidenciando que o ambiente protegido propiciou redução na variação dos valores de Kc, e conseqüentemente na amplitude de variação dos mesmos.

Estes resultados são consistentes com os determinados por Oliveira, Silva e Neto (2003) e Sato et al. (2007) em trabalhos conduzidos em Lavras – MG com cafeeiro adulto, quando obtiveram valores de Kc de 0,96 a 1,50 e 0,42 a 1,27 respectivamente.

Também em Lavras-MG, Ribeiro (2006) verificou que os valores de Kc médios estimados pelo modelo linear de terceiro grau, no intervalo correspondente de 3932 a 7101 graus dias de desenvolvimento (GDD), situaram-se entre 0,7 e 1,2.

Os valores de Kc obtidos neste trabalho também estão próximos aos determinados por Doorenbos e Pruitt (1977), Santinato, Fernandes e Fernandes (2008), Righi (2004) e Marin et al. (2005).

5 CONCLUSÕES

Considerando as condições em que foi realizado o experimento, envolvendo a imposição de diferentes intensidades de déficit hídrico em plantas de café cultivadas em ambiente protegido e o uso de lisímetros de pesagem, conclui-se que:

- Não se identificou o efeito de déficit hídrico na ocorrência de floradas, tanto sob o aspecto de sua intensidade, quanto, da duração do mesmo.
- Não se identificou efeito do reinício das irrigações (após período de déficit hídrico) sobre a ocorrência de floradas.
- Identificou-se relação entre queda de temperatura brusca ($> 3^{\circ}\text{C h}^{-1}$) e as floradas, para todos os tratamentos.
- A irrigação realizada durante todo o período do ano promoveu maior desuniformidade de maturação;
- Não foi verificado efeito dos tratamentos sobre a produtividade e o tamanho dos grãos do cafeeiro.
- O lisímetro mostrou-se com alta sensibilidade e precisão operacional, no processo de monitoramento da variação de armazenamento de água no solo, sinalizando para a recomendação de uso dos mesmos em estudos de determinação de evapotranspiração, ao longo do dia, como também para longos períodos.
- Quanto aos valores de coeficientes de cultura obtidos, em termos médios, não se identificou diferenças para os dois ambientes. Porém, o ambiente protegido propiciou menor amplitude de variação entre os valores de K_c .

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; FISHER, D. K. Direct load-cell based weighing lysimeter system. In: ALLEN, R. G. et al. **Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 170-181.
- ALMEIDA, J. P. **Estimativa de déficits e excessos hídricos em regiões de clima úmido através de diferentes modelos de balanço hídrico**. 1993. 212 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.
- ALVIM, P. de T. Moisture stress as a requirement for flowering of coffee. **Science**, New York, v. 132, n. 3423, p. 354, 1960.
- ANDRADE, C. L. T. de et al. Parâmetros de solo-água para a engenharia de irrigação e ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA; SBEA, 1998. p. 1-45.
- ANTUNES, R. C. B. Relações entre floração e déficit hídrico em dois cultivares de café arábica irrigados por gotejamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** Poços de Caldas: EMBRAPA, 2000. v. 2, p. 819-822.
- ARRUDA, F. B. et al. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama/SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café; MINASPLAN, 2000. v. 2, p. 790.
- ASTEGIANO, E. D. **Movimentação de água e quebra da dormência dos botões florais de café (*Coffea arabica* L.)**. 1984. 42 p. Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1984.
- BARROS, R. S.; MAESTRI, M. Floração do café: uma revisão. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 25, n. 141, p. 467-479, set./out. 1978.
- BERGAMASCHI, H. et al. Automação de um lisímetro de pesagem através de estação meteorológica, a campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 222-224.

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

BONFIM NETO, H. **Influência do déficit hídrico na floração do cafeeiro arábico, monitorado pelo desenvolvimento do botão floral e potencial hídrico da planta**. 2007. 36 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

BONFIM NETO, H. et al. Uso do déficit hídrico como ferramenta para uniformizar a floração do cafeeiro no oeste da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 9., 2007, Araguari. **Anais...** Araguari: UFU, 2007. p. 124-127.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1961-1990**. Brasília, 1992. 66 p.

BROWING, G. Environmental control of flower bud development in Coffea arábica L. In: LANDSBERG, J. J.; CUTTING, C. V. (Ed.). **Environmental effects on crop physiology**. New York: Academic, 1977. p. 321-331.

CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación**. 3. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 513 p.

CAMARGO, A. P. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 53-90.

CAMARGO, A. P. de. Efeitos na produção de café, épocas de rega e de suspensão da água, por meio de cobertura transparente (barcaça). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: IBC; GERCA, 1984. p. 62-64.

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

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CASTRO, O. M. de; VIEIRA, R. S. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo sob três sistemas de preparo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO “SOLO-SUELO 96”, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia: SBCS; SLACS, 1996. 1 CD-ROM.

CIRINO, G. C. **Utilização das relações energia/umidade na caracterização físico-hídrica dos solos.** 1992. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

COELHO, M. R. **Coefficiente de cultura (Kc) e desenvolvimento inicial de duas variedades de cafeeiro (Coffea arabica L.) associados a graus-dia.** 2004. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

COUTO, L.; SANS, L. M. A. **Requerimento de água das culturas.** Sete Lagoas: EMBRAPA, 2002. 10 p. (Circular Técnica, n. 20).

CRISOSTO, C. H.; GRANTZ, D. A; MEINZER, F. C. Effects of water deficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). **Tree Physiology**, Oxford, v. 10, p. 127-139, 1992.

CUSTÓDIO, A. A. de P. **Manejo da irrigação na lavoura cafeeira (Coffea arabica L.) recepada.** 2009. 85 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO. Irrigation Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos.** Roma: FAO, 1977. 144 p. (FAO Boletim Irrigacion and Drenage, n. 24).

DOURADO NETO, D. et al. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, p. 92-102, jul. 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1999. 412 p.

FARIA, M. A. de (Ed.). **Manejo de irrigação.** Lavras: UFLA, 1998. 367 p.

FARIAS, J. R. B. et al. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993.

FREIRE, A. C.; MIGUEL, A. E. Disponibilidade de água no solo, no período de 1974 a 1984 e seus reflexos na granação, qualidade e rendimento do café nos anos de 1983 e 1984, na região de Varginha-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Anais...** Londrina: IBC; GERCA, 1984. p. 113-114.

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

GONZÁLEZ, A. P.; ALVES, M. C. Armazenamento de água e densidade do solo sob três condições de superfície, em um Cambissolo gleico de Lugo, Espanha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 45-50, 2005.

GUANDIQUE, M. E. G. **Balço hídrico no solo e consumo de água pela cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado**. 1993. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1993.

GUERRA, F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **ITEM - Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, v. 73, p. 52-61, 2007.

GUERRA, F.; ROCHA, O. C.; SANZONOWICZ, C. Manejo da irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 83-116.

JONES, H. G. **Plants and microclimate**. 2. ed. Cambridge: University, 1992. 428 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

KLAR, A. E. **Irrigação**: frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

- LACERDA, L. A. O. et al. Estimativa da quebra e safra de café na região de Marília-SP no ano agrícola 1999/2000, através da avaliação do tamanho dos grãos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 6., 2000, Marília. **Trabalhos apresentados...** Marília: MA; PROCAFÉ, 2000. p. 13-14.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ; USP, 1999. 497 p.
- MAGALHÃES, A. C.; ANGELOCCI, L. R. Sudden alterations in water balance associated with flower bud opening in coffee plants. **The Journal of Horticultural Science**, London, v. 51, p. 419-423, 1976.
- MARIN, F. R. et al. Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 41, n. 2, p. 187-197, 2005.
- MARIN, F. R. et al. Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. In: REUNIÓN ARGENTINA, 5.; LATINO AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 2004, La Plata. **Anais...** Buenos Aires: Asociación Argentina de Agrometeorología, 2004.
- MATIELLO, J. B. Folhas amarelas como sinal de “stress” em cafeeiros para irrigação de salvação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA; PROCAFÉ, 2002. p. 15-16.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: Fundação PROCAFÉ, 2002. 387 p.
- MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Plantio e formação da lavoura cafeeira**. Lavras: UFLA; FAEPE, 1997. 42 p.
- MENDONÇA, J. C. et al. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- MIGUEL, A. E. et al. A influência do déficit hídrico em diferentes épocas após a floração, no desenvolvimento de frutos de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRA, 4., 1976, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA; PROCAFÉ, 1976. p. 184-187.

MIRANDA, F. R. de; BLEICHER, E. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo e de irrigação para a cultura do melão (*Cucumis melo* L.) na região Litorânea do Ceará**. Fortaleza: EMBRAPA, 2001. 17 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 2).

OLIVEIRA, P. M. de. **Florescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes frequências de irrigação**. 2002. 67 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

OLIVEIRA, P. M. de; SILVA, A. M. da; NETO, P. C. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 273-282, set./dez. 2003.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceeding of the Royal Society: Série A**, London, v. 193, p. 120-146, 1948.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PERES, J. G. **Avaliação do modelo de Penman-Monteith, padrão FAO, para estimar a evapotranspiração de referência nas condições climáticas do Estado de São Paulo**. 1994. 116 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1994.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: [s.n], 1996. 446 p.

REES, A. A. Some observations on the flowering behavior of *Coffea rupestris* in Southern Nigéria. **Journal of Ecology**, London, v. 5, n. 1, p. 1-7, Mar. 1964.

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

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia na produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 249 p.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 13-85.

RIBEIRO, K. D. et al. Relações matemáticas entre porosidade drenável e condutividade hidráulica do solo saturado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 600-606, 2007.

RIBEIRO, M. S. **Coefficientes de cultura (Kc) e crescimento vegetativo de 'Acaia Cerrado' (Coffea arabica L.) associados a graus-dia (2º ano)**. 2006. 83 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

RIGHI, E. Z. **Balço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. 2004. 168 f. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

SANTIAGO, A. V. **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decenal**. 2001. 37 p. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Campinas: O Lutador, 2008. 476 p.

SATO, F. A. et al. Coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no período de outono-inverno na região de Lavras - MG. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 383-391, maio/ago. 2007.

SCATOLINI, M. E. **Estimativa da evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos**. 1996. 71 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1996.

SCHUCH, U. K.; FUCHIGAMI, L. H.; NAGAO, M. A. Flowering, ethilene production, and ion leakage of coffee in response to water stress and gibberellic acid. **Journal of the American Society Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 1, p. 158-163, 1992.

SEEMAN, J. Greenhouse climate. In: _____. **Agrometeorology**. New York: Springer-Verlag, 1979. p. 167-178.

SEVERINO, G. M. et al. Avaliação do momento de irrigação do cafeeiro, com e sem período de repouso da planta, nas condições de uberlândia-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA; PROCAFÉ, 2002. p. 461.

SILVA, E. L. da. **Relação solo-água-planta-atmosfera**. Lavras: UFLA; FAEPE, 1999. 86 p.

SILVA, E. L. da et al. **Manejo de irrigação das principais culturas**. Lavras: UFLA; FAEPE, 2000. 89 p.

SILVA, F. C. et al. Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v. 7, n. 1, p. 19-23, 1999.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 35, n. 3, p. 544-552, maio/jun. 2005.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA; SBEA, 1998. p. 311-348.

SILVEIRA, J. S. M. et al. Rendimento de grãos de café Conilon (*Coffea Canephora*) irrigado em diferentes estágios fenológicos da cultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIRA, 19., 1993, Três Pontas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1993. p. 43.

SOARES, A. R. Relações entre déficit hídrico e a floração em cafeeiros Catuaí irrigado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** Poços de Caldas: EMBRAPA, 2000. v. 2, p. 849-851.

SOARES, A. R. et al. Efeito do déficit hídrico sobre a quebra da dormência na floração de um cultivar de café arábica irrigado por gotejamento. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2001. 1 CD-ROM.

SOARES, A. R. et al. Irrigação e fisiologia da floração em cafeeiros adultos na região da zona da mata de Minas Gerais. **Acta Scientiarum.Agronomy**, Maringá, v. 17, n. 1, p. 117-125, jan./mar. 2005.

TANAKA, M.; GENTA, H. **Control del medio ambiente bajo invernadero y túnel plástico**. Solto: Uruguay: Estación Experimental de Citricultura, 1982. 61 p.

THOMAZIELLO, R. A. et al. **Cultura do café**. 4. ed. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1999. 77 p.

THORNTHWAITE, C.W.; WILM, H.G. **Report of the committee on evapotranspiration and transpiration, 1943-1944**. Washington: Transactions of the American Geophysical Union, 1944. p.686-693.

THORNTHWAITE, G. W. Na approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

VACHAUD, G. et al. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 49, n. 4, p. 822-828, July/Aug. 1985.

WRIGHT, J. L.; JENSEN, M. E. Peak water requirements in southern Idaho. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 98, n. IR 2, p. 193-201, 1972.