

**COEFICIENTES DE CULTURA (Kc) E
CRESCIMENTO VEGETATIVO DE 'ACAIÁ
CERRADO' (*Coffea arabica* L.) ASSOCIADOS A
GRAUS-DIA (2º ANO)**

MOISÉS SANTIAGO RIBEIRO

2006

MOISÉS SANTIAGO RIBEIRO

**COEFICIENTES DE CULTURA (KC) E CRESCIMENTO
VEGETATIVO DE ‘ACAIÁ CERRADO’ (*Coffea arabica* L.)
ASSOCIADOS A GRAUS-DIA (2º ANO)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Elio Lemos da Silva

**LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2006**

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

Ribeiro, Moisés Santiago

Coeficientes de cultura (Kc) e crescimento vegetativo de 'Acaiá Cerrado'
(*Coffea arabica* L.) associados a graus-dia (2º ano). Moisés Santiago Ribeiro.

-- Lavras: UFLA, 2006.

83 p. : il.

Orientador: Elio Lemos da Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Graus-dia. 2. Balanço hídrico. 3. Café. 4. Irrigação. 5. Coeficiente de cultura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.7387

MOISÉS SANTIAGO RIBEIRO

**COEFICIENTES DE CULTURA (KC) E CRESCIMENTO
VEGETATIVO DE ‘ACAIÁ CERRADO’ (*Coffea arabica* L.)
ASSOCIADOS A GRAUS-DIA (2º ANO)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 25 de julho de 2006.

Prof. Dr. Antônio Augusto Aguiar Dantas

UFLA

Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa

EMBRAPA CAFÉ

Prof. Dr. Elio Lemos da Silva
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, por estar sempre presente e ter permitido que chegasse a essa etapa de minha vida com muita perseverança, persistência, alegria, paz e saúde.

DEDICO.

Aos meus pais, Dílson (*in memoriam*) e Iolanda, por me terem dado o dom e o sentido da vida, em especial a minha mãe que sempre me apoiou e proporcionou a formação superior, confiando em mim em todos os momentos.

Aos meus irmãos, Maurício e Wivianne que, apesar da distância, sempre estiveram juntos de mim, com amizade, força e compreensão.

Aos meus amigos Samuel e Gustavo, por proporcionarem momentos de felicidade e aprendizado nessa trajetória.

Aos amigos Renato, Débora e Alexandre, por serem companheiros e terem participado do experimento, contribuindo para a concretização deste trabalho.

Aos meus primos, José Muccini e Ieda, pelo incentivo e estímulos em seguir neste caminho.

Aos amigos Paulo César e Kallyn, entre outros, pela boa disposição em contribuir no que foi preciso.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-graduação do Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade e apoio que tornaram possível a conclusão do mestrado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos ao longo do curso e pelos recursos concedidos.

Agradeço, de forma especial, ao professor Dr. Elio Lemos da Silva, pela orientação, ensinamentos e amizade, fundamentais para a realização deste trabalho e pela maneira simples e competente de orientar.

Ao professor Dr. Antônio Augusto Aguilar Dantas, por ter aceitado ser meu co-orientador e mostrar-se disposto a contribuir com este trabalho.

À pesquisadora Dra. Sttela Dellyzete Veiga Franco da Rosa que se dispôs a fazer parte da banca.

A professora Dra. Ângela Maria Soares, pela ajuda e sugestões no trabalho.

Ao professor Dr. Daniel Furtado Ferreira, pelo suporte nas análises estatísticas.

Aos professores do Departamento de Engenharia, pelos ensinamentos.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, seu Berg (Lindeberg) e José Luiz, pelo auxílio nas análises de laboratório e Neném (Oswaldo), pelo apoio na manutenção do sistema de irrigação do experimento.

Às secretarias Daniela, Juliana e Sandra, por serem amigas e sempre estarem dispostas a colaborar para o bom desempenho do DEG.

Aos amigos Samuel, Daniela, Gustavo, Débora, Alexandre e Renato que se tornaram verdadeiros amigos, presentes em todos os momentos.

Aos amigos e colegas de mestrado Wesley Mattioli, Marcos e Junqueira, pela amizade e companheirismo.

Aos amigos e colegas de Pós-Graduação Paulo Coradi, Valcimar, Reginaldo, Adilson entre outros colegas, pela solidariedade.

Aos amigos Paulo Cairo e Eduardo Inácio, pela ajuda e alegria de sempre.

A todos aqueles que contribuíram para a confecção deste trabalho e tornado meus dias em Lavras mais felizes.

SUMÁRIO

Página

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Aspectos gerais da cafeicultura	3
2.2 Evapotranspiração de referência (ET _o)	7
2.3 Retenção de água no solo	11
2.4 Balanço hídrico do solo	14
2.5 Coeficiente de cultura (K _c)	18
2.6 Graus-dia de desenvolvimento (GDD)	21
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Caracterização da área experimental	25
3.2 Clima	25
3.3 Caracterização física e química do solo	26
3.4 Condução do experimento	28
3.5 Irrigação.....	28
3.6 Tratos culturais	29
3.7 Retenção de água no solo	29
3.8 Manejo da irrigação.....	31
3.9 Evapotranspiração de referência (ET _o).....	35
3.10 Balanço hídrico do solo	36
3.10.1 Precipitação pluviométrica.....	37
3.10.2 Lâmina de irrigação.....	37
3.10.3 Drenagem profunda.....	38
3.10.4 Condutividade hidráulica.....	39
3.10.5 Escoamento superficial.....	40
3.10.6 Variação do armazenamento de água no solo.....	41
3.10.7 Evapotranspiração da cultura (ET _c).....	43
3.11 Coeficiente de cultura (K _c)	44
3.12 Graus-dia de desenvolvimento (GDD).....	44
3.13 Crescimento vegetativo	46
3.14 Análise dos dados.....	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48

4.1 Condições meteorológicas.....	48
4.2 Curva característica de água no solo	50
4.3 Manejo da irrigação.....	51
4.3.1 Uniformidade de aplicação da água	54
4.4 Crescimento vegetativo	55
4.4.1 Altura de planta (Ap)	55
4.4.2 Diâmetro do ramo ortotrópico (Dro).....	56
4.4.3 Diâmetro de copa (Diac)	59
4.4.4 Comprimento do ramo plagiotrópico (Crp)	60
4.4.5 Número de internódios do ramo plagiotrópico (Nirp)	62
4.4.6 Número de pares de ramos plagiotrópicos (Nrp)	63
4.5 Coeficiente de cultura (Kc)	66
5 CONCLUSÕES.....	69
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXOS.....	78
ANEXO A	78
ANEXO B	79
ANEXO C	80
ANEXO D	81
ANEXO E.....	82
ANEXO F.....	83

RESUMO

RIBEIRO, Moisés Santiago. **Coefficientes de cultura (Kc) e crescimento vegetativo de 'Acaia Cerrado' (*Coffea arabica* L.) associados a graus-dia (2º ano)**. Lavras: UFLA, 2006. 83p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola)¹

Os coeficientes de cultura (Kc) determinados para o cafeeiro arábica, normalmente, relacionados aos dias após plantio, ou seja, calendário Juliano, não considera as variações na taxa de desenvolvimento da cultura entre locais e anos sucessivos. Há uma tendência de utilização de variáveis meteorológicas que considerem o efeito climático sobre a duração das fases e desenvolvimento da cultura. Este trabalho teve por objetivo determinar os coeficientes de cultura (Kc) e o crescimento vegetativo do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cultivar Acaia Cerrado MG-1474, estabelecendo uma relação com graus-dia de desenvolvimento (GDD). O trabalho foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras-MG. O experimento foi composto por sete parcelas, sendo definidas por diferentes datas de plantio. A partir dos valores de evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração máxima da cultura (ET_c), determinaram-se os coeficientes de cultura (Kc). Foram realizadas avaliações de crescimento vegetativo e estabelecida a relação com as somas térmicas ou graus-dia de desenvolvimento (GDD). Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que, apesar das variáveis de crescimento vegetativo se ajustarem bem aos graus-dia de desenvolvimento, houve o efeito das datas de plantio sobre o crescimento da cultura. Dessa maneira, apesar do bom ajuste do modelo linear de terceiro grau aos dados de Kc relacionados com GDD, torna-se inviável a utilização do modelo obtido, para outras regiões. A curva de coeficientes de cultura (Kc) para as condições de Lavras mostra valores variando de 0,7 a 1,2 com intervalos de 700 GDD.

¹ Comitê Orientador: Prof. Dr. Elio Lemos da Silva, DEG/UFLA (Orientador) e Prof. Dr. Antônio Augusto Aguiar Dantas, DEG/UFLA (Co-orientador).

ABSTRACT

RIBEIRO, Moisés Santiago. **Crop coefficients (Kc) and vegetative growth of 'Acaiá Cerrado' (*Coffea arabica* L.) associated to degree days (2nd year).** Lavras: UFLA, 2006. 83p. (Thesis - Master of Science in Agricultural Engineering/Irrigation and Drainage)¹

Crop coefficients (Kc) for arabic coffee plants are usually related to days after planting or Julian calendar, not considering the variation in the developing rates of the crop for places and years. There is a tendency for using meteorological variables, that consider the climatic effect on the lasting of the developing phases of crop. This study had the objective of determine the crop coefficients (Kc) and vegetative growth of the coffee plant (*Coffea arabica* L.), cultivar Acaiá Cerrado, MG 1474, establishing a relation with the growing degree days (GDD). The work was conducted in the experimental area of the Department of Engineering of the "Federal University of Lavras" (UFLA), in the Lavras city (MG). The experience was composed by seven plots of different planting dates. The crop coefficients values were determined from the values of the reference evapotranspiration (ET_o) and maximum crop evapotranspiration (ET_c). Vegetative growth was evaluated and related to growing degree days (GDD). It was concluded that, in spite of the good adjustment between vegetative growth and growing degree days, there was effect of planting dates on the growth of the culture. That effect turns the utilization of the obtained adjusted model, not viable for other places. The obtained crop coefficients (Kc) curve for shows values from 0.7 to 1.2 for intervals of 700 GDD.

¹**Guidance Committee:** Prof. Dr. Elio Lemos da Silva, DEG/UFLA (Adviser) and Prof. Dr. Antônio Augusto Aguilar Dantas, DEG/UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A adoção da irrigação para a cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) tem sido bem aceita pelos produtores devido ao aumento substancial da produtividade e à obtenção de um produto diferenciado por melhor qualidade. Tais benefícios proporcionados pela irrigação tornam-se essenciais à obtenção de melhores preços de mercado e, conseqüentemente, à manutenção do produtor na atividade.

É de grande importância, do ponto de vista econômico e ambiental numa atividade agrícola, o uso eficiente da água, a adoção de critérios técnicos para a determinação do momento de irrigar e da lâmina a ser aplicada para suprir de forma eficiente às necessidades do cafeeiro. Para se realizar uma eficiente aplicação de água, torna-se imprescindível o conhecimento adequado da demanda hídrica da cultura que, por sua vez, é regulada por características biológicas próprias e por condições climáticas. Dessa maneira, o estudo de parâmetros, como o coeficiente de cultura (K_c), é fundamental e pode ser utilizado como uma importante ferramenta na elaboração de projetos de irrigação e na tomada de decisão do momento certo de irrigar a cultura.

Os valores existentes de coeficientes de cultura (K_c) para cafeeiro, representados por meio de uma curva de K_c , consideram cada estágio de desenvolvimento da cultura, como dias após o plantio, duração da fase inicial, ou seja, caracterizado na escala de tempo, normalmente, a partir do calendário Juliano. Entretanto, quando ocorre alguma variação na duração das fases da cultura, entre locais e entre anos sucessivos, devido às freqüentes mudanças das condições do tempo, a curva de K_c pode ser alterada e, conseqüentemente, superestimar ou subestimar o consumo de água pela lavoura. Para solucionar problemas de incertezas, relativamente à determinação da duração das fases, tem-se procurado utilizar variáveis meteorológicas (controle) para relacionar o

Kc mais diretamente ao estágio de desenvolvimento da cultura. Este procedimento permite determinar com maior precisão a duração das fases fenológicas das plantas, em lugar de tempo percentual, ou tempo decorrido, como base para estabelecer o Kc. Uma alternativa para caracterizar cada uma dessas fases é a utilização dos graus-dia, definidos por Ometto (1981) como o acúmulo diário da energia que se situa acima da condição mínima e abaixo da máxima exigida pela planta.

Os graus-dia de desenvolvimento, ou somas térmicas em que serão baseados os valores de Kc, eliminam parcialmente os efeitos sazonais do meio ambiente sobre o desenvolvimento da planta, quando comparados aos valores de Kc baseados somente no tempo (calendário).

Para que se possa estabelecer o parâmetro graus-dia que manifesta a interação clima-planta e associá-lo ao momento e à lâmina de irrigação, é necessário, primeiramente, a adoção das exigências do cafeeiro quanto às temperaturas mínima e máxima, por estarem relacionadas ao seu normal consumo de água, sendo fatores determinantes para o crescimento e o desenvolvimento da planta.

Existem ainda poucos trabalhos de graus-dia associados ao crescimento do cafeeiro e, por se tratar de uma cultura perene e de uma complexidade peculiar, ainda não se tem definido o índice biometeorológico graus-dia como o melhor parâmetro para quantificar ao crescimento vegetativo da cultura, tornando-o independente da época de plantio.

Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo determinar os coeficientes de cultura (Kc) de uma variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cultivar Acaiá Cerrado MG-1474, estabelecendo a relação entre Kc e graus-dia de desenvolvimento (GDD), além de avaliar o crescimento do cafeeiro irrigado em seus diferentes estádios fenológicos, estabelecendo também a sua relação com graus-dia de desenvolvimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais da cafeicultura

A espécie *C. arabica* é originária do sudoeste da Etiópia, sudeste do Sudão e norte do Quênia, em região restrita e marginal às demais espécies, onde a faixa de altitude correspondente está entre 1.000 e 2.000 metros. Atualmente, essa espécie distribui-se amplamente em regiões de altitudes mais elevadas e temperaturas mais amenas, entre 18°C e 21°C, no continente americano e algumas regiões da África. Seu centro de origem ou de diversidade (Abissínia) é uma área bem limitada, restringindo-se à Abissínia e a algumas regiões limítrofes, entre 8°C e 12°C de latitude Norte e 40°C e 42° de longitude Leste (Mendes & Guimarães, 1998). A precipitação anual ótima para o cafeeiro está entre 1.200 a 1.800 mm, mostrando-se uma planta bastante tolerante à distribuição e à quantidade de chuvas (Rena & Maestri, 1987).

Trata-se de um arbusto polimorfo, havendo numerosas variedades e cultivares nos países produtores. Porém, entre as espécies produtoras de café, a de maior significação econômica para as Américas é *Coffea arabica* L., por produzir o café mais apreciado por todos os países consumidores (Miranda et al., 1999).

No Brasil, as regiões climaticamente aptas para a cafeicultura, especificamente no que se refere ao cafeeiro arábica, foram delimitadas com base nos fatores climáticos (térmicos e hídricos), os quais são: quanto à temperatura média anual (Tma), apta, ideal e inapta, considerando-se, $18^{\circ} \leq Tma \leq 23^{\circ}C$, $19^{\circ} \leq Tma \leq 22^{\circ}C$ e $Tma < 18^{\circ}$ e $Tma > 23^{\circ}C$, respectivamente e, quanto ao déficit hídrico anual (dha) tem-se, apta sem irrigação, apta com irrigação ocasional, apta com irrigação suplementar e apta com irrigação

obrigatória, correspondendo aos valores de dha <100 mm, $100 \text{ mm} \leq \text{dha} \leq 150$ mm, $150 \text{ mm} < \text{dha} \leq 200$ mm e $\text{dha} > 200$ mm, respectivamente (Silva et al., 2000).

O café é uma das mais importantes *commodities* no comércio agrícola internacional, representando uma fonte de renda para vários países latino-americanos, africanos e asiáticos. Atualmente, a espécie *Coffea arabica* participa em mais de 65% de todo café produzido, sendo o restante representado pela espécie *Coffea canefora* (DaMatta, 2004).

De acordo com Mendes & Guimarães (2000), o café foi introduzido no Brasil por volta de 1727, tornando-o o maior produtor e exportador mundial, desde meados do século XIX, portanto, há mais de 150 anos.

A produção média anual brasileira de café é de, aproximadamente, 36 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg, referente ao período entre 1998 e 2005 (FNP, 2006) com uma área colhida média equivalente a 2,3 milhões de hectares para o mesmo período (Agrianual, 2006). A participação do Brasil é, em média, de 24% das exportações mundiais e, na produção do café arábica, é o país que possui menor custo, o qual, aliado à produtividade, tem garantido a manutenção e o crescimento da participação no mercado internacional (Saes & Nakazone, 2004). De acordo com o USDA a produção média mundial de café, entre as safras de 1998/99 e 2005/06, é de 115 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas (Agrianual, 2006).

A cultura do cafeeiro arábica tem uma destacada importância no desenvolvimento econômico e social, propiciando um aumento de divisas e um progresso regional acentuado (Moreira et al., 2004). No Brasil, aproximadamente 10 milhões de pessoas se envolvem, direta ou indiretamente, com o café, em todos os segmentos do setor, existente em, pelo menos, 1.700 municípios cafeeiros, com 300 mil cafeicultores que se envolvem diretamente na produção. Em 2000, havia, no país, 450 empresas com registro para exportação e 1.300 indústrias de torrefação e moagem (Mendes & Guimarães, 2000).

A cafeicultura brasileira experimenta, à semelhança do que ocorre com as demais atividades produtivas, as conseqüências da abertura do comércio ou da chamada globalização, requerendo, para a sua viabilização, altas produtividades e baixos custos de produção. Entretanto, a maior competitividade dos produtores brasileiros resulta da maior tecnificação, maior escala de produção e melhores condições de solo e clima, além dos custos de produção serem inferiores aos da maioria dos concorrentes, situando-se em torno de US\$ 80/saca de café arábica (Agriannual, 2006).

Além do custo de produção, uma outra variável que determina a competitividade do café é a diferenciação por qualidade e, nesse panorama, o Brasil é tido como um fornecedor de quantidade, ao passo que Colômbia, Guatemala, Costa Rica e Quênia, entre outros, são reconhecidos pelos cafés mais valorizados, que se destacam pela qualidade (Saes & Nakazone, 2004).

O ciclo fenológico dos cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L. apresenta uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas que ocorrem em, aproximadamente, dois anos, diferentemente da maioria das plantas que emitem as inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico (Camargo, 1985). 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, a 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. Finalmente, advém a senescência, a morte dos ramos plagiotrópicos terminais e a conhecida auto-poda. 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.

Segundo Arruda & Grande (2003), o cafeeiro é afetado pela seca com a conseqüente redução da produção e a utilização de práticas de irrigação pode ser uma forma de suavizar os problemas de deficiência hídrica e favorecer a produção.

O uso da técnica de irrigação na cultura de café cresceu acentuadamente em diversas regiões brasileiras, conforme indicaram levantamentos preliminares em 2000. Naquele ano, a área alcançava, aproximadamente, 200 mil hectares, o que representava 10% da área cultivada com café e 8,7% da área irrigada no Brasil (Mantovani, 2000).

Com relação ao manejo do cafeeiro irrigado, é necessário maior conscientização sobre a importância do uso eficiente da água, da adoção da técnica da fertirrigação, da utilização, quando possível, da estratégia da interrupção momentânea da aplicação da água para favorecer o desenvolvimento de florações mais uniformes, da adoção de critérios técnicos para a determinação do momento de irrigar e da lâmina a ser aplicada para suprir, de forma eficiente, as necessidades do cafeeiro (Zinato et al., 2003).

Resultados que comprovam os benefícios da irrigação em cafeeiros têm sido encontrados, com produtividade 86% maior em tratamentos irrigados, comparados aos tratamentos não irrigados e nível de crescimento 55% superior ao do café não irrigado (Soares et al., 2000).

De acordo com Arruda et al. (2000), o reconhecido benefício da utilização de irrigação e o equacionamento necessário para o seu manejo eficiente demandam informações sobre o requerimento hídrico e desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. Matiello & Dantas (1987)

obtiveram o seguinte resultado de distribuição das raízes do cafeeiro: 59% a 61%, na camada 0-30 cm; 26% a 33%, na camada de 30-60 cm e 4,5% a 7%, na camada de 60 a 90 cm de profundidade. Segundo Marouelli et al. (2001), o uso de profundidades maiores do que as reais acarreta a aplicação de lâminas e a adoção de turnos de rega maiores que os recomendados, provocando deficiência de água às plantas. Em contrapartida, o uso de valores menores resulta na adoção de um turno de rega menor que o recomendado, ou seja, em irrigações mais frequentes e menor desenvolvimento de raiz.

A prática da irrigação do cafeeiro em área extensiva é algo relativamente recente, tornando-se necessário pesquisar tanto os sistemas de irrigação quanto à necessidade de água para a cultura, no decorrer de suas fases fenológicas (Faria & Rezende, 1997).

De acordo com Mudrik et al. (2003), para que a cafeicultura irrigada brasileira continue sua expansão, é de vital importância a adoção de técnicas que melhorem a produtividade das lavouras, sem que isso venha a acarretar gastos excessivos de água, energia e outros insumos.

2.2 Evapotranspiração de referência (ET_o)

Dada a importância da evapotranspiração para o uso apropriado da água nas propriedades rurais e para projetos de irrigação, esta tem sido um campo de pesquisa muito intensivo, especialmente nos últimos trinta anos (Alves et al., 1998). Estimativas das necessidades de água pelas culturas são de fundamental importância para o planejamento e manejo de áreas irrigadas e, assim, as informações sobre a evapotranspiração de referência (ET_o), que permitem estimativas da evapotranspiração das culturas, tornam-se ferramentas importantes no estudo dessas áreas (Sediyama et al., 1998).

Segundo Doorembos & Kassam (1979), a evapotranspiração está relacionada com a demanda evaporativa do ar e esta, por sua vez, pode ser expressa como a evapotranspiração de referência (ET_o) a qual, quando calculada, prediz o efeito do clima sobre o nível de evapotranspiração da cultura.

A evapotranspiração é o processo pelo qual a água é transferida da superfície da terra para a atmosfera, por evaporação da água no solo e superfície molhada das plantas e pela transpiração por plantas (Odhiambo et al., 2001). A evapotranspiração pode ser expressa em valores totais, médios ou diários, em volume por unidade de área ou em lâmina de água, no período considerado em que este processo necessita e depende, principalmente, da quantidade de energia solar recebida (Bernardo et al., 2005).

De acordo com Pereira et al. (1997), o conceito de evapotranspiração potencial foi introduzido por Thornthwaite e, em síntese, corresponde à água utilizada por uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo e cobrindo totalmente o terreno, estando este bem suprido de umidade, ou seja, em nenhum instante, a demanda atmosférica é restringida por falta d'água no solo. Este conceito foi aperfeiçoado diversas vezes.

Segundo Jensen et al. (1989), a evapotranspiração da cultura de referência (ET_o) é definida como “a taxa pela qual a água, se disponível, pode ser removida do solo e superfície de planta de uma cultura específica, arbitrariamente chamada de cultura de referência”. Esta é, normalmente, expressa como taxa de calor latente transferida por unidade de área ou lâmina de água evaporada. A evapotranspiração da cultura de referência é, essencialmente, equivalente à evapotranspiração potencial, com a especificação adicional que representa a evapotranspiração de uma cultura conveniente, bem molhada, cobrindo todo o solo. De acordo Allen et al. (1998), o uso de outras denominações, tais como evapotranspiração potencial, é fortemente dissuadido por suas definições equivocadas.

De acordo com Sedyama et al. (1998), para evitar conflitos entre as definições existentes para evapotranspiração potencial (ETp), a Organização das Nações Unidas (ONU), por intermédio da *Food and Agricultural Organization* (FAO), estabeleceu o conceito de evapotranspiração da cultura de referência (ETo) em publicação mundialmente conhecida como “*Guidelines for Crop Water Requirements*” (Boletim FAO-24), de autoria de Doorembos & Pruitt (1977). A FAO, em colaboração com a Comissão Internacional de Irrigação e Drenagem (ICID), recomendou a revisão de metodologias para a estimativa das exigências de água pelas culturas. Após uma reunião em Roma, em maio de 1990, decidiu mudar o conceito de evapotranspiração de referência e revisar os procedimentos de cálculos. Com base em estudos existentes, todos os cálculos foram revisados, incluindo os parâmetros relacionados com a radiação e os componentes aerodinâmicos (Allen et al., 1998). Os autores ressaltam que a superfície de referência é uma cultura hipotética de referência, como a grama, com características específicas. A nova padronização para a estimativa da ETo considera uma cultura hipotética cobrindo toda superfície do solo, com altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica da superfície de 70 sm^{-1} e albedo de 0,23, e recomenda a equação de Penman-Monteith como método de cálculo da ETo (Bonomo et al., 1998).

A definição de ETo, com base na equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO, mostra a relação entre os elementos climáticos e o fluxo de evapotranspiração no sistema clima-planta, dentre outros aspectos. Mostra, ainda, a necessidade de conhecimento de vários elementos climáticos e de vários parâmetros caracterizadores da superfície evaporante, que permitam estimar as resistências aerodinâmicas da superfície ao fluxo de vapor d'água. Visto que os parâmetros de dossel da cultura variam com o próprio crescimento, com os estádios fenológicos da cultura e são influenciados pelas práticas culturais, é extremamente difícil estabelecer uma equação para estimativa da

evapotranspiração e, conseqüentemente, o cálculo direto da evapotranspiração da cultura (Sediyama et al., 1998).

A partir de observações meteorológicas disponíveis, escolhe-se um método para estimativa da evapotranspiração da cultura de referência. Tendo-se disponibilidade de uma série completa de dados meteorológicos, a escolha do método dependerá do nível de exatidão desejado para estimativa da ETo (Doorembos & Pruitt, 1977).

De acordo com Bernardo et al. (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 lisímetro é o método mais preciso para a determinação direta da ETo, desde que 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 de primeira classe.

Um grande número de equações empíricas e semi-empíricas tem sido desenvolvido para determinar a evapotranspiração da cultura referência por meio de dados meteorológicos. Alguns desses métodos são válidos somente sob certas condições climáticas e agronômicas específicas e não podem ser aplicadas sob condições diferentes daquelas para as quais foram originalmente desenvolvidos. Atualmente, o método mais recomendado para a estimativa da evapotranspiração da cultura de referência, ETo, é o de Penman-Monteith-FAO (Couto & Sans, 2002).

Os registros obtidos dos lisímetros são, geralmente, tomados como referência para correções e ajustes de alguns métodos de estimativa de ET, validação de modelos numéricos e calibração de uma ampla gama de sensores. Entretanto, para obter informações representativas de ETo, é muito importante

que as condições do meio ambiente dentro dos lisímetros sejam representativas das condições externas (solo, planta, etc.). Caso contrário, pode haver uma inconsistência muito grande nas medições da ET, tornando-se uma grande limitação dos lisímetros em geral (Gomide, 1998).

Mendonça et al. (2003), ao confrontarem valores de ETo 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 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).

2.3 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, ar deve entrar 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 (Gomide, 1998).

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 para medir esta relação da umidade 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 semilogarítmica (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 nova e relativamente simples equação para a predição da curva de retenção de água no solo foi descrita por Van Genuchten (1980).

É possível calcular o armazenamento de água disponível, em diferentes condições de tensão ou teor de umidade 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).

De acordo com Bernardo et al. (2005), a tensão considerada como equivalente a umidade na capacidade de campo é de 10 kPa, em solos de textura grossa e de 33 kPa, em solos de textura fina.

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. Logicamente, não há diferença quantitativa da água retida em diferentes potenciais do solo, nem é a quantidade de água absorvida pelas plantas só uma função de seu potencial no solo (Reichardt & Timm, 2004). Os autores salientam que 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.

2.4 Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico nada mais é do que o somatório das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume de solo e num dado intervalo de tempo. O resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece. De fato, é a própria lei da conservação das massas e está intimamente ligada ao balanço de energia, pois os processos envolvidos requerem energia. Do ponto de vista agrônomo, o balanço hídrico é fundamental, pois ele define as condições hídricas sob as quais uma cultura se desenvolveu (Reichardt & Timm, 2004).

O método do balanço de água no solo consiste na realização de um monitoramento sistemático em tempo real de fatores, tais como precipitação pluviométrica, evapotranspiração, lâmina de irrigação e perdas por percolação profunda e escoamento superficial, componentes do balanço em determinado volume de solo cultivado (Silva & Marouelli, 1998).

Segundo Silva et al. (2000), por meio do balanço hídrico é possível 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 irrigação (reposição em caso de falta). O balanço de água no solo nos mostra a situação pela qual uma cultura realmente passa e fornece critérios para definir quando e quanto irrigar.

A irrigação deve ser realizada a todo o momento em que a disponibilidade de água no solo estiver reduzida a um valor mínimo que não prejudique o desempenho da cultura, podendo ser a lâmina de irrigação estimada com base na tensão de água no solo e na curva característica de umidade no solo (Silva & Marouelli, 1998).

O escoamento superficial, ou *runoff*, corresponde ao segmento do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre a superfície do solo. O escoamento depende das propriedades do solo e da declividade da superfície. Normalmente, é medido pela coleta de água que escoar de uma dada área, cercada para coletar o fluxo, sendo positiva quando for uma contribuição proveniente de montante e negativa quando for uma perda a jusante. Segundo Pruski et al. (2004), em locais desprovidos de instrumentação, a determinação do escoamento superficial é mais difícil e menos precisa.

Griebeler et al. (2001) afirmam que existe uma imprecisão nos métodos normalmente utilizados para a determinação do escoamento superficial e uma dificuldade inerente à reprodução de fenômenos naturais. Conforme Bonta & Rao (1992), estudos desenvolvidos pelo *Water Resources Council* mostraram a dificuldade em se aplicar a tecnologia disponível para estimar as vazões máximas de escoamento superficial, devido à imprecisão dos métodos normalmente usados e da grande discrepância obtida por diferentes projetistas que usem o mesmo procedimento. Moura et al. (1994) desconsideraram o componente de flúvio superficial no estudo do balanço hídrico devido à dificuldade da determinação que ocorreu na área, nos períodos chuvosos.

De acordo com Reichardt & Timm (2004), Darcy, em 1856, foi o primeiro a estabelecer uma equação que possibilitasse a quantificação do

movimento de água em materiais porosos saturados, sendo a densidade de fluxo de água proporcional ao gradiente de potencial hidráulico no solo. Sua equação foi adaptada para solos não saturados, por Buckingham, no ano de 1907, passando a chamar-se equação de Darcy-Buckingham. Apesar de suas limitações, é a que melhor descreve o fluxo de água no solo. Os autores salientam que o fluxo de água no solo no limite inferior de volume considerado é a parte mais difícil de ser estimada em um balanço hídrico.

Mualem (1976) propôs um modelo analítico simples para prever a condutividade hidráulica, com base em feixes de capilares. A partir deste modelo, Van Genuchten (1980) deduziu uma expressão para a condutividade hidráulica não saturada, introduzindo uma nova equação da curva característica de água no solo.

Ao se determinar o balanço hídrico, deve-se escolher a camada de solo de interesse, assim como o intervalo de tempo em que serão quantificadas as componentes do balanço. Devido à heterogeneidade dos solos em toda a sua profundidade, sua capacidade de armazenamento é a soma das capacidades de armazenamentos das diferentes camadas que o compõem (Doorembos & Pruitt, 1977). O intervalo de tempo é de livre escolha, no entanto, Reichardt & Timm (2004) recomendam, para culturas de ciclo longos ou perenes, períodos de 10, 15 ou 30 dias, sendo inviáveis períodos de um dia ou menos, visto que a dinâmica da água é relativamente lenta.

De acordo com Rena & Maestri (1987), é difícil falar de um sistema “tipo” de raízes para o cafeeiro, já que ele é muito plástico e varia em função da interação da carga genética da planta com várias condições do ambiente e que, aparentemente, a única característica que pode ser generalizada é que as raízes primárias não vão além de 0,5 m de profundidade. Conforme os autores, uma planta de cafeeiro arábica com 3 anos de idade pode apresentar maior concentração de raízes na camada superficial, variando de 30 a 60 cm de

profundidade. Segundo Telles (1998), a profundidade efetiva do sistema radicular do cafeeiro é de aproximadamente 50 cm.

Segundo Silva et al. (2000), o método do balanço hídrico apresenta uma série de variações e simplificações e que, para fins de manejo da irrigação, a equação do balanço hídrico pode ser simplificada, levando-se em consideração apenas a evapotranspiração e a precipitação efetiva (precipitação total diminuída da percolação profunda e do escoamento superficial).

Na prática, os termos que mais interessam são evapotranspiração (ET), para saber quanto o solo perdeu por ET no intervalo definido, a fim de repor a água perdida e a variação do armazenamento de água na camada de solo, para saber a disponibilidade de água no solo para as plantas no instante inicial (Reichardt & Timm, 2004).

De acordo com Andrade et al. (1998), mesmo os modelos que, baseados em dados de clima, simulam o balanço da água no solo para indicar o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar, necessitam de parâmetros de solo-água e só funcionam bem quando retroalimentados com informações atuais da umidade ou do potencial de água no solo.

Na determinação dos diferentes componentes do balanço hídrico, sempre surge o problema das variabilidades temporal e espacial, amostragem, número de repetições, etc. Ainda assim, a determinação dessas diferentes componentes do balanço de água no solo por entidades de pesquisa tem apresentado resultados satisfatórios, contribuindo de maneira significativa para o manejo da irrigação em áreas cultiváveis, o que seria inviável numa propriedade rural.

2.5 Coeficiente de cultura (Kc)

Como qualquer cultura, o cafeeiro precisa de água facilmente disponível no solo para desenvolver e produzir satisfatoriamente e um dos procedimentos adotados na elaboração de um plano de irrigação consiste em definir sua evapotranspiração. O recurso mais comumente utilizado para se chegar à evapotranspiração de uma cultura de interesse (ET_c), conhecendo-se o valor da evapotranspiração de referência (ET_o), consiste em utilizar o coeficiente de cultura (K_c). De acordo Sedyama et al. (1998), este coeficiente, proposto por Van Wijk e de Vries, é a razão entre a ET_c e ET_o .

Vários trabalhos têm sido realizados comparando-se valores de evapotranspiração real (ET_r) das culturas com evapotranspiração de referência, sob diferentes condições de solo e clima, para a determinação da demanda hídrica das culturas. Algumas confusões são feitas na determinação dos valores de K_c , que em vez de considerar a evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura, considera-se a ET_r da mesma, ou seja, determinando-se o K_c em condições reais de campo, muitas vezes com restrições hídricas, nutricionais, entre outras (Soares et al., 1998).

De acordo com Allen et al. (1998), a evapotranspiração da cultura é examinada sob condições padrão, sendo determinada em condições de cultivo livres de doenças, bem-fertilizadas, associadas ao suprimento adequado de água que atenda às necessidades hídricas da cultura e alcançando alta produção, sob determinadas condições climáticas em grandes campos. Segundo os autores, as conseqüências de várias condições de tempo na evapotranspiração estão incorporadas pela ET_o e os efeitos das características que distinguem a superfície cultivada da superfície de referência integrados no coeficiente de cultura. Assim, multiplicando-se a ET_o pelo coeficiente de cultura, obtém-se a ET_m .

A evapotranspiração máxima de uma cultura medida em um determinado local é função, basicamente, das condições meteorológicas durante o desenvolvimento das plantas, existindo, naturalmente, fatores que exercem influência sobre o consumo de água, como características de crescimento e desenvolvimento das plantas, tipo e fertilidade do solo, entre outros. Os fatores preponderantes são aqueles relacionados com a demanda evaporativa da atmosfera. Dessa maneira, o valor de K_c varia com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento e, até certo ponto, com a velocidade do vento e a umidade relativa do ar (Doorembos & Kassam, 1979).

A distribuição temporal de K_c , para cada cultura irrigada, constitui a curva da cultura em que, idealmente, a E_{To} deveria caracterizar a demanda evaporativa determinada pela condição meteorológica, enquanto o K_c seria a medida da restrição imposta pelo sistema solo-planta para atender a tal demanda hídrica (Sediyama et al., 1998).

Várias pesquisas têm demonstrado que a evapotranspiração da cultura não pode ser, simplesmente, estabelecida para todas as situações climáticas com um simples valor de K_c . Os coeficientes de culturas, portanto, devem ser determinados para cada estágio de desenvolvimento da cultura. Em face das diferentes condições brasileiras, a determinação do coeficiente de cultura (K_c) para o cafeeiro requer maior experimentação agrônômica e, igualmente, maior diversidade climática (Arruda et al., 2000).

Para cafezais com manejo adequado e altura de 2 a 3 m, em clima subúmido, Allen et al. (1998) propõem K_c entre 0,90 e 0,95 e entre 1,05 e 1,10, em solo nu e na presença de plantas daninhas, respectivamente, com a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith versão FAO. Foram obtidos, por Arruda et al. (2000), valores de coeficientes de cultura (K_c) entre 0,73 e 0,75, nos primeiros anos de idade da planta e entre 0,87 e 0,93, aos sete e oito anos, respectivamente. Foram verificados por Villa Nova

et al. (2002), para cafeeiros cultivar Mundo Novo, valores de K_c entre 0,5 e 1,2 e entre 0,9 e 1,2, sem mato e com mato, respectivamente e valores de K_c de 0,760 a 1,184, entre as fases fenológicas, no período de 15 e 35 meses após o plantio, com uma densidade de 4.000 plantas.ha⁻¹. Doorenbos & Pruitt (1977), recomendam, para o cafeeiro, o emprego do coeficiente de cultura em torno de 0,9 durante todo o ano, em cultivos convencionais e valores de 1,05 até 1,1, em casos em que se permita o crescimento das plantas daninhas. Foram determinados, por Coelho (2004), valores de K_c entre 0,1 e 0,5, para o cafeeiro ‘Acaiá Cerrado’ irrigado por gotejamento e com espaçamento 3,5 m entre linhas de plantio e 0,8 m entre plantas na linha, no intervalo de 606 e 2673 GDD, equivalentes ao período entre 4 e 11 meses após o plantio, ou seja, período inicial de crescimento dos cafeeiros.

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

Para que os valores de coeficientes de cultura sejam significativos, eles precisam ser válidos para qualquer local. Quando os coeficientes de cultura são relacionados com graus-dia de crescimento, em vez de dias julianos, uma curva de cultura comum pode ser desenvolvida e aplicável para anos diferentes e locais que têm condições climáticas diferentes. De acordo com Sammis et al. (1985), o conceito de K_c relativo para graus-dia é superior no estudo de determinação do requerimento de água pela cultura, para os quais os dados não estão prontamente disponíveis, em relação ao conceito de K_c relativo para dias julianos.

De acordo com Nielsen & Hinkle (1996), coeficientes de cultura baseados em fases de crescimento observadas ou graus-dia de crescimento simplificam a predição da evapotranspiração da cultura e a programação da

irrigação por causa dos ajustes para condições ambientais anormais ou datas de plantio não necessárias.

2.6 Graus-dia de desenvolvimento (GDD)

A utilização de índices biometeorológicos tem sido cada vez maior nos estudos das interações clima-planta, ocorrendo quando se pretende relacionar o desenvolvimento vegetativo com a temperatura do ar (Serra et al., 1987).

Já no século XVIII sabia-se que as plantas tinham uma exigência em temperatura e essa idéia só foi aproveitada na prática em 1916 (Mota, 1989). Como tentativas iniciais de estabelecer as relações entre energia expressa basicamente pelo parâmetro temperatura do ar e pelo crescimento vegetal, surgiram as somas térmicas ou ondas de calor, primordialmente expressas como graus-dia (Brunini, 1971). Um grau-dia é a medida da diferença da temperatura média diária acima do mínimo necessário para uma espécie, ou seja, o somatório de calor efetivo para crescimento das plantas acumulado durante o dia (Mota, 1989).

O “quantum” de energia que realmente pode interagir com a planta, ou seja, que se situa entre os níveis mínimos e máximos basais, estimula os processos metabólicos (Ometto, 1981). Portanto, os valores de temperatura do ar inferiores ao mínimo basal e os superiores ao máximo basal são retirados do cálculo de graus-dia por se constituírem em valores deficitários, no caso do mínimo e excessivos, no caso do máximo. O desenvolvimento da cultura é, geralmente, dependente de unidades de calor e um relógio fisiológico pode ser desenvolvido baseado em graus-dia de crescimento (Sammis et al., 1985).

Fisiologicamente, o conceito de temperatura base é assumido como o nível de temperatura da cultura no qual, abaixo dele, crescimento e desenvolvimento cessarão. Todavia, é difícil determinar a temperatura básica

fisiológica e cada fase de desenvolvimento pode ter uma temperatura base diferente. Em fisiologia, a temperatura básica deveria ser semelhante para uma determinada fase de desenvolvimento da cultura em qualquer estação de crescimento. Porém, na prática, a temperatura básica selecionada pode variar entre anos ou estações de crescimento (Yang et al., 1995).

De acordo Rena & Maestri (1987), o cafeeiro não tolera variações muito amplas de temperatura; médias abaixo de 16°C e acima de 24°C não são adequadas e o ótimo está compreendido entre 18°C e 21°C. Os autores ressaltam que o aumento da temperatura além dos 24°C acarreta queda na taxa fotossintética e que, à temperatura foliar de 34°C, a fotossíntese do cafeeiro seria praticamente nula. Da mesma maneira, na ocorrência de temperaturas abaixo da temperatura base da planta, o crescimento cessa (Medeiros et al., 2000). Segundo Amaral et al. (2006), é possível que os declínios iniciais no crescimento de plantas de cafeeiros possam estar associados a temperaturas relativamente baixas, próximas de 14°C, ocorridas esporadicamente, ainda que a média das temperaturas no período correspondente seja aparentemente adequada ao crescimento.

De acordo com Santinato et al. (1996), temperaturas inferiores a 18°C, para a espécie de café arábica, favorecem a exuberância vegetativa e a baixa diferenciação floral, com conseqüentes níveis baixos de produtividade, além de sintomas típicos de “crestamento” foliar no período de inverno, associados a ventos dominantes. Já temperaturas superiores a 23°C, associadas à seca na época do florescimento, podem favorecer o abortamento floral e a formação de “estrelinhas”, diminuindo consideravelmente a produtividade.

Os pressupostos básicos do modelo matemático graus-dia são: a relação de linearidade existente entre temperatura média do ar e crescimento do vegetal, a igualdade de efeitos da temperatura diurna e noturna sobre o vegetal, a existência de uma única temperatura basal mínima como fator limitante para o

cultivo da espécie em determinado local e a constância dos valores de graus-dia obtidos entre diferentes localidades, desde que as condições nutricionais e hídricas sejam mantidas em nível ideal (Vieira et al., 1992).

Camargo et al. (1987) observaram que cada espécie vegetal, ou variedade, possui como característica uma temperatura base, que pode variar em função da idade ou da fase fenológica da planta. No entanto, é comum adotar uma única temperatura base para todo o ciclo da planta.

De acordo Yang et al. (1995), muita pesquisa foi realizada com o intuito de desenvolver métodos para determinar a temperatura básica, variável e importante na computação de graus-dia de desenvolvimento (GDD). Os autores citam quatro métodos comuns informados freqüentemente na literatura: menor desvio padrão em graus-dia, menor desvio padrão em dias, coeficiente de variação em graus-dia e coeficiente de regressão. Porém, os procedimentos para calcular a temperatura básica associada com estes métodos são tediosos e falta uma base teórica em matemática.

Lima (2006) utilizou, para o cálculo de graus-dia de desenvolvimento, os métodos para menor desvio padrão em dias de Snyder (1985), Dufault (1997) e Ometto (1981), tendo este último sido o que melhor caracterizou a constante térmica para as cultivares Acaia Cerrado e Rubi, desde o transplantio até a primeira florada. Iaffe et al. (2001) determinaram uma temperatura basal inferior de 12,3°C e superior de 34°C, para o subperíodo do florescimento à colheita, para o cafeeiro Mundo Novo na região de Botucatu, SP. Lima (2006) verificou temperaturas base inferior e superior para as cultivares Acaia Cerrado e Rubi, de 12,9°C e 32,4°C, respectivamente do transplantio até a primeira florada. Amaral (1991), ao analisar as taxas de crescimento do cafeeiro no período de baixas temperaturas, verificou que a transição do crescimento ativo para crescimento reduzido do cafeeiro ocorreu quando as temperaturas mínimas situaram-se entre 13,5°C e 14°C.

Têm-se obtido, por meio de graus-dia, ótimas correlações com a duração do ciclo de culturas anuais, ou com seus estádios do desenvolvimento fenológico. Por este mesmo motivo, alguns modelos matemáticos de crescimento, consumo de água, entre outros parâmetros a serem quantificados, incorporam rotinas de simulação de crescimento da cultura, utilizando-se o conceito de graus-dia acumulados. Entretanto, outros fatores meteorológicos podem estar associados à duração do ciclo e ao crescimento vegetativo da cultura. Conforme Bolonhezi (2000), o somatório de graus-dia pode ser calculado tanto para o ciclo total quanto para subperíodos de desenvolvimento e sua magnitude variará conforme a espécie, cultivares, épocas de sementeiras e interação com outros elementos biometeorológicos. O efeito da temperatura é dependente da intensidade da luz e, além do mais, a luz determinante no processo fotossintético, fenômeno indispensável à vida vegetal, poderá ser prejudicial, se for em excesso (Ometto & Rengifo, 1987). Vieira et al. (1992), ao trabalharem na determinação da temperatura basal e somas térmicas em pepino, concluíram que a temperatura do ar parece não ter sido o único parâmetro determinante da duração do ciclo dessa cultura, uma vez que, a partir de uma das épocas de plantio, apesar do acréscimo desses valores, ocorreu um aumento na duração de seu ciclo.

Vários trabalhos têm demonstrado a grande utilidade do uso de graus-dia para previsão das fases fenológicas e desenvolvimento vegetativo de algumas culturas. Todavia, não se deve perder de vista que condições de fotoperíodo, amplitude térmica, entre outras, poderão interferir no desenvolvimento vegetal. Mota (1989) afirma que existem imperfeições no conceito de graus-dia, pelo fato de se considerar que temperaturas noturnas e diurnas tenham a mesma importância para o crescimento da planta e que a resposta da planta é linear em toda a faixa de temperatura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado e conduzido numa área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, MG. A área está situada próximo à estação meteorológica automática, pertencente à rede de Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O local apresenta as seguintes coordenadas geográficas: latitude 21°14'S; longitude 45°00'W e altitude de 918,841 m. O solo do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico, conforme Embrapa (1999).

3.2 Clima

Utilizando-se a classificação climática de Koppen, citada por Ometto (1981), pode-se fazer a classificação para Lavras, MG, com base nos dados das Normais Climatológicas (Brasil, 1992). O clima é caracterizado como Cwa, ou seja, com verão chuvoso e inverno seco. A precipitação pluvial total anual no município é de 1.529,7 mm e a temperatura média anual é de 19,4°C. Nos meses de outubro a março concentram-se as maiores lâminas de chuva e as maiores temperaturas. Julho é o mês mais frio e seco, com temperatura média de 15,8°C e precipitação média de 23,4 mm, seguido pelos meses de junho, maio e agosto. A umidade relativa do ar média é de 76,2% e a evaporação média total anual é de 1.034,3 mm.

3.3 Caracterização química e física do solo

A caracterização química e física do solo do experimento em estudo foi realizada em setembro de 2004, ao iniciar-se o monitoramento experimental.

As características químicas do solo foram determinadas mediante coletas de amostras de solos em toda a área, na profundidade de 0 a 20 cm. Para as características físicas, foi realizado o mesmo procedimento para as camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade. Em seguida, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Análise de Solos (LAS), pertencente ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os resultados analíticos obtidos estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1 Resultados da caracterização química do solo do experimento, realizada no LAS/DCS/UFLA. Lavras, MG, 2006.

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	AMOSTRAS (0-20 cm)		
			PARCELAS		
			1 - 2	3- 4 - 5	7 - 8
pH	Em água (1:2,5)	-	5,6	6,4	5,4
P	Fósforo (Mehlick)*	Mg dm ⁻³	2,8	8,5	6,8
K	Potássio (Mehlick)*	Mg dm ⁻³	62	47	98
Ca ²⁺	Cálcio (KCl)*	cmol _c dm ⁻³	1,7	3,2	2,3
Mg ²⁺	Magnésio (KCl)*	cmol _c dm ⁻³	1,1	1,0	0,7
Al ³⁺	Alumínio (KCl)*	cmol _c dm ⁻³	0,2	0,0	0,2
H+Al	Ac. Potencial (SMP)*	cmol _c dm ⁻³	3,6	2,3	3,6
SB	Soma de bases	cmol _c dm ⁻³	3,0	4,3	3,3
(t)	CTC efetiva	cmol _c dm ⁻³	3,2	4,3	3,5
(T)	CTC a pH 7,0	cmol _c dm ⁻³	6,6	6,6	6,9

“...continua...”

“TABELA 1, Cont.”

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	AMOSTRAS (0-20 cm)		
			PARCELAS		
			1 - 2	3 - 4 - 5	7 - 8
V	Saturação de bases	%	45,1	65,3	47,4
m	Saturação de alumínio	%	6,0	0,0	6,0
MO	Matéria orgânica	dag kg ⁻¹	3,6	4,4	3,4
P-rem	Fósforo remanescente	mg L ⁻¹	5,8	7,0	7,0
Zn	Zinco (Mehlick)*	mg dm ⁻³	2,9	-	-
Fe	Ferro (Mehlick)*	mg dm ⁻³	66,1	-	-
Mn	Manganês (Mehlick)*	mg dm ⁻³	55,0	-	-
Cu	Cobre (Mehlick)*	mg dm ⁻³	6,4	-	-
B	Boro (água quente)*	mg dm ⁻³	1,6	-	-
S	Enxofre (CaHPO ₄ em CH ₃ COOH)	mg dm ⁻³	14,3	-	-

* Extratores utilizados pelo LAS/DCS/UFLA

TABELA 2 Resultados da caracterização física do solo do experimento, realizadas no DCS/UFLA. Lavras, MG, 2006.

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	AMOSTRAS	
			0 a 20 cm	20 a 40 cm
Areia	-	dag kg ⁻¹	9	8
Silte	-	dag kg ⁻¹	21	24
Argila	-	dag kg ⁻¹	70	68
Textura	Classe textural	-	M. argilosa	M. argilosa

3.4 Condução do experimento

O estudo foi conduzido em experimento implantado com uma variedade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cultivar Acaia Cerrado MG-1474. O transplântio das mudas foi realizado no dia 19/04/03, quando estas apresentavam de 6 a 7 pares de folhas. Os espaçamentos foram de 0,80 m entre plantas e de 3,5 m entre linhas de plantas, sendo estes os mais difundidos atualmente entre os produtores de café da região que utilizam a cultivar Acaia.

O experimento foi composto por sete parcelas (repetições) definidas por diferentes datas de plantio: Data 1 (19/04/03), Data 2 (25/05/03), Data 3 (30/06/03), Data 4 (05/08/03), Data 5 (10/09/03), Data 7 (21/11/03) e Data 8 (08/01/04), distinguindo-se uma das outras por intervalos de 36 dias, após a primeira data de plantio (Data 1). Cada data de plantio foi representada por parcela constituída de nove plantas, sendo sete dessas úteis, nas quais foi realizado o balanço hídrico do solo, bem como o monitoramento do crescimento vegetativo dos cafeeiros.

O balanço hídrico do solo foi realizado no período entre 13/09/04 a 14/09/05. Já o desenvolvimento vegetativo foi avaliado a partir de 09/09/04, estendendo-se até 17/03/06.

3.5 Irrigação

A irrigação localizada, instalada na área do experimento, foi composta por linhas laterais flexíveis de polietileno com gotejadores auto-compensantes (5 a 35 m.c.a), apresentando vazão nominal de 1,6 l h⁻¹ e espaçados de 0,3 m. A estação de controle do sistema de irrigação foi constituída por conjunto motobomba KSB (10 HP, 60 Hz, 3450 rpm e Kw 0,75), filtro de areia, filtro de tela, registros e manômetro.

3.6 Tratos culturais

As aplicações de fertilizantes visando à manutenção da fertilidade do solo da área experimental foram executadas em função dos resultados da análise química do solo, fornecidos pelo Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA (Tabela 1). Foram aplicadas quantidades de fertilizantes de acordo com o resultado da análise de solo para cada uma das parcelas do experimento: Data 1 e Data 2 (138 g/planta), Data 3, Data 4 e Data 5 (109 g/planta), e Data 7 e Data 8 (98 g/planta). A formulação utilizada em cada parcela foi obtida por meio da mistura dos fertilizantes formulado (20-05-20), uréia e cloreto de potássio.

Foi realizado, periódica e sucessivamente, o controle químico (herbicidas) e mecânico (capinas manuais) das plantas daninhas, no intuito de evitar a competição com os cafeeiros, por água, luz e nutrientes, principalmente na época quente e chuvosa, no período entre outubro a abril.

O controle fitossanitário foi realizado com a finalidade de manter sob controle doenças e pragas de ocorrência na cafeicultura. Os demais tratos culturais foram executados na medida em que houve necessidade.

3.7 Retenção de água no solo

As curvas características de água no solo foram confeccionadas a partir de dados experimentais e representadas por meio de equações empíricas.

Primeiramente, foram coletadas amostras (repetições) 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. 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 Van Genuchten (1980), Equação 1, utilizando o programa computacional SWRC (*Soil Water Retention Curve*), elaborado por Dourado Neto et al. (1990). As equações ajustadas e a densidade aparente (ρ_g) para as três camadas consideradas estão apresentadas na Tabela 3.

$$\theta(\Psi_m) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \times \Psi_m^n)\right]^m} \dots\dots\dots(1)$$

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 ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

Ψ_m : tensão ou potencial matricial (kPa);

α : parâmetro de ajuste (cm^{-1});

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

TABELA 3 Equações de Van Genuchten ajustadas e densidades globais (ρ_g), para as três camadas do solo em estudo. Lavras, MG, 2006.

Camada (cm)	Equações ajustadas	ρ_g (g cm ⁻³)
0 – 20	$\theta(\Psi m) = 0,220 + \frac{0,438}{\left[1 + (1,5104 \times \Psi m)^{1,5799}\right]^{0,367}}$	0,91
20 – 40	$\theta(\Psi m) = 0,241 + \frac{0,409}{\left[1 + (1,1303 \times \Psi m)^{1,5137}\right]^{0,339}}$	0,93
40 – 60	$\theta(\Psi m) = 0,238 + \frac{0,423}{\left[1 + (1,1340 \times \Psi m)^{1,6297}\right]^{0,386}}$	0,90

3.8 Manejo da irrigação

A irrigação foi manejada mediante o modelo $\theta(\psi m)$, proposto por Van Genuchten (1980), Equação 1 e com o auxílio de sensores “Watermark”, que indicaram o momento certo de irrigar, por meio de suas leituras de tensão de água no solo. Foram instalados sete sensores próximos à planta central da parcela (Figura 1 A), sendo quatro deles, utilizados para o manejo da irrigação. Os sensores ficaram dispostos a uma distância de 20 cm da planta e 20 cm entre si e foram estabelecidas, para os mesmos, as profundidades de 5 cm, 15 cm, 25 cm, 35 cm, 45 cm e 50 cm. O manejo da irrigação foi realizado de maneira a repor a lâmina correspondente à variação do armazenamento de água entre as tensões de 10 e 20 kPa, indicadas pelos sensores de tensão instalados no solo e pelo modelo de Van Genuchten (1980). A lâmina de irrigação foi determinada considerando o perfil do solo de 40 cm de profundidade.

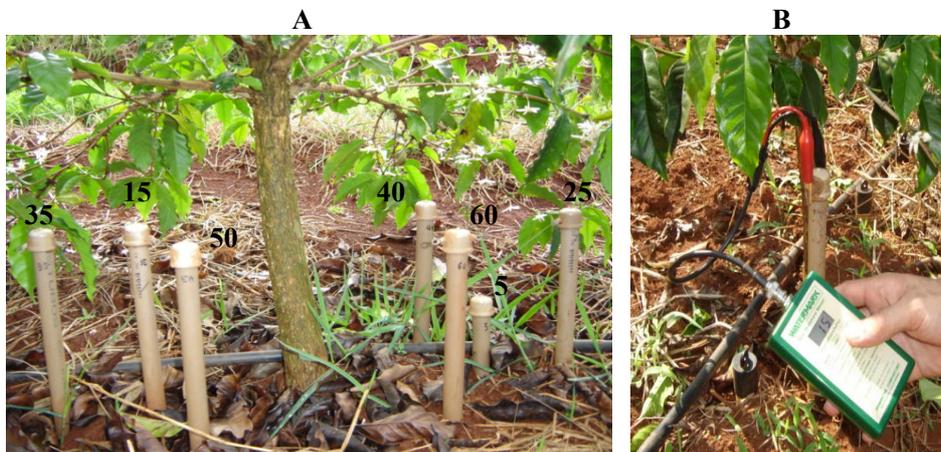


FIGURA 1 (A) Sensores de tensão de água no solo “Watermark”, instalados junto à planta central, nas profundidades de: 5, 15, 25, 35, 40, 50 e 60 cm, para o controle da irrigação e monitoramento do fluxo de água; (B) Leitor para coleta de dados. Lavras, MG, 2006.

A partir dos valores de umidade no momento da irrigação, do valor da capacidade de campo fornecido pela curva de retenção, além da espessura da camada de solo considerada para o balanço, foi calculada a lâmina de reposição (Equações 2, 3 e 6) e, finalmente, o tempo de funcionamento do sistema de irrigação (Equação 7), conforme metodologia expressa por Cabello (1996). Foram consideradas, para cálculo da lâmina de irrigação, as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade, com suas respectivas curvas características de água no solo.

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) \times Z \times P_w \dots\dots\dots(2)$$

Em que:

LL : lâmina líquida de irrigação em cada parcela (mm);

θ_{cc} : umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_{atual} : umidade no momento de irrigar ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

Z : profundidade do sistema radicular (mm);

P_w : fração de área molhada (%).

$$LB = \frac{LL}{(1 - k) \times CU} \dots\dots\dots(3)$$

Em que:

LB : lâmina bruta de irrigação (mm);

CU : coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação (decimal);

K : constante que leva em conta a salinização do solo bem como a eficiência de aplicação do sistema. É determinada encontrando-se o maior valor nas equações 4 e 5 seguintes:

$$k = 1 - Ea \dots\dots\dots(4)$$

$$k = LR = \frac{CEi}{(2 \times CEe)} \dots\dots\dots(5)$$

Em que:

Ea : eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação considerada como 90% (decimal);

LR : lâmina necessária para lavagem do solo, caso tenha problemas com salinidade (mm);

CEi : condutividade elétrica da água de irrigação (dS m^{-1});

CEe : condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS m^{-1});

$$LBm\u00e9dia = LBm\u00e9dia_{0-20cm} + LBm\u00e9dia_{20-40cm} \dots\dots\dots(6)$$

Em que:

LBm\u00e9dia: soma das lâminas brutas m\u00e9dias obtidas de 0 - 40 cm;

*LBm\u00e9dia*_{0-20 cm}: lâmina bruta m\u00e9dia de 0 - 20 cm;

*LBm\u00e9dia*_{20-40 cm}: lâmina bruta m\u00e9dia de 20 - 40 cm;

$$T = \frac{LBm\u00e9dia \times Sp}{e \times qa} \dots\dots\dots(7)$$

Em que:

T: tempo de funcionamento do sistema de irriga\u00e7\u00e3o (h);

Sp: \u00e1rea ocupada por planta (m²);

e: n\u00famero de emissor por planta (u);

qa: vaz\u00e3o m\u00e9dia dos emissores (L h⁻¹).

Foram realizados testes para a verifica\u00e7\u00e3o do coeficiente de uniformidade de distribui\u00e7\u00e3o de \u00e1gua do sistema de irriga\u00e7\u00e3o, pela metodologia proposta por Keller & Karmeli (1974) a partir da obten\u00e7\u00e3o das vaz\u00f5es 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 \u00faltimo gotejador. As linhas laterais selecionadas para determina\u00e7\u00e3o, ao longo da linha de deriva\u00e7\u00e3o, foram: a primeira linha lateral, a linha lateral situada a 1/3, a situada a 2/3 e a \u00faltima linha lateral. Coletaram-se as vaz\u00f5es desses emissores e, por meio da Equa\u00e7\u00e3o 8, foi calculado o coeficiente de uniformidade.

$$CUD = \left(\frac{q_{25}}{qa} \right) \times 100 \dots\dots\dots(8)$$

Em que:

CUD : coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

q25: média de 25% das menores vazões coletadas (L h⁻¹);

qa: média das vazões coletadas (L h⁻¹);

3.9 Evapotranspiração de referência (ET_o)

Foram coletados dados diários de variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, velocidade do vento, precipitação e radiação solar incidente, que deram subsídios ao cálculo da ET_o. Utilizaram-se os dados oriundos da Estação Climatológica Principal (ECP) de Lavras (Figura 2), pertencente à rede de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situada no campus da Universidade Federal de Lavras e estão disponíveis no Setor de Agrometeorologia da mesma universidade. O cálculo da ET_o foi realizado na escala diária, de acordo com a metodologia de Penman-Monteith parametrizada pela FAO (Pereira et al., 1997), Equação 9.

$$ET_o = \frac{S}{S + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma \times 900}{(S + \gamma^*)(T + 275)} \times U_2 \times (e_s - e_a) \dots\dots\dots(9)$$

Em que:

ET_o = evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

S = declividade da curva de pressão de saturação do vapor d'água (kPa °C⁻¹);

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

T = temperatura média diária do ar (°C);

γ = coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);

λ = calor latente de evaporação (MJ m⁻²d⁻¹);

γ^* = coeficiente psicrométrico modificado (kPa °C⁻¹);

U_2 = velocidade do vento à altura de 2m (m s⁻¹);

e_a = pressão parcial de vapor d'água (kPa);

Rn = saldo de radiação (MJ m⁻²d⁻¹);

G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹).

3.10 Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico do solo para uma cultura qualquer pode ser esquematizado de acordo Reichardt & Timm (2004), pela Equação 10.

$$\int_{t_i}^{t_f} (p + i \pm d_s - q_e \pm q_z) dt = \int_{t_i}^{t_f} \int_0^L \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dz dt \dots\dots\dots(10)$$

A Equação 10 pode ser reescrita da maneira mais simplificada, isto é, integrada no tempo e na profundidade, em que o sinal de cada componente depende de ele ser um ganho ou uma perda.

$$\pm \Delta A_L = P + I - ET \pm DS \pm Q_z \dots\dots\dots(11)$$

Em que:

ΔA_L : variação do armazenamento de água (mm);

P : precipitação pluviométrica efetiva (mm);

I : irrigação (mm);

ET : evapotranspiração da cultura (mm);

DS : deflúvio superficial (mm);

Q_z : drenagem profunda (mm).

3.10.1 Precipitação pluviométrica

A precipitação pluvial ocorrida no intervalo considerado para o balanço hídrico foi obtida por meio de dados diários fornecidos pela Estação Climatológica Principal (ECP) de Lavras.



FIGURA 2 Estação Climatológica Principal (ECP) de Lavras, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras, MG, 2006.

3.10.2 Lâmina de irrigação

O manejo da irrigação foi realizado com base na metodologia apresentada por Cabello (1996), descrita no item 3.8.

3.10.3 Drenagem profunda

A saída (drenagem) ou entrada de água (ascensão) na camada de solo em estudo foi obtida por meio da Equação 12, expressa por Reichardt & Timm (2004).

$$\pm Q_z = \int_{t_i}^{t_f} qz dt \dots\dots\dots(12)$$

A densidade de fluxo de água (qz) no solo, no limite inferior do elemento de volume considerado, é dada pela equação de Darcy-Buckingham, conforme Reichardt & Timm (2004), aplicada ao fluxo vertical, conforme Equação 13.

$$qz = -K(\theta) \cdot \frac{\partial H}{\partial z} \Big|_L \dots\dots\dots(13)$$

Em que:

qz : densidade de fluxo de água no solo (mm d^{-1});

$K(\theta)$: condutividade hidráulica em função da umidade do solo (mm d^{-1});

$\partial H / \partial z$: gradiente de potencial total na profundidade em estudo (adimensional).

Dependendo do sinal e da magnitude do gradiente $\partial H / \partial z$, em profundidade $z = L$, o fluxo pode ser para cima (ascensão capilar) ou para baixo (drenagem profunda), daí os sinais + ou - nas Equações 11 e 12. Dessa forma, para a estimativa de Q_z , é necessário o conhecimento da curva característica de água no solo e da sua condutividade hidráulica.

3.10.4 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica como função do teor de água no solo não saturado foi determinada de acordo com a metodologia de Mualem-Van Genuchten, desenvolvida por Mualem (1976) e, posteriormente, modificada por Van Genuchten (1980). Essa metodologia foi utilizada para a determinação da condutividade hidráulica, pois, na prática, na maioria das vezes, trabalha-se com valores de umidades inferiores à capacidade de campo, ao passo que outras metodologias adotam como limite inferior a capacidade de campo. Dessa maneira, utilizou-se a Equação 14 para a determinação da condutividade hidráulica não saturada do solo.

$$K(\Theta) = K_o \times \Theta^L \left[1 - \left(1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \dots\dots\dots(14)$$

Em que:

K_o : condutividade hidráulica saturada (cm s^{-1});

L : parâmetro empírico, sendo aproximadamente $\frac{1}{2}$ para maioria dos solos;

m : parâmetro de ajuste da equação, adimensional, sendo um fator dependente principalmente da tortuosidade.

Θ : saturação efetiva que pode ser obtida pela expressão:

$$\Theta = \frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} \dots\dots\dots(14.1)$$

Em que:

θ : umidade atual do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s : umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_r : umidade residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Os parâmetros θ_s e θ_r foram determinados experimentalmente, enquanto os parâmetros α , m e n foram obtidos pela curva característica de água no solo, correspondente às seguintes camadas do solo: 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, mediante o modelo de Van Genuchten (1980).

A condutividade hidráulica saturada foi determinada pelo método do Permeâmetro de Guelph (Figura 3), de acordo com a recomendação contida no manual de operação do mesmo (Soil Moisture Equipment Corp, 1987).

A partir da Equação 14 e dos parâmetros θ_s , θ_r e m e da K_0 , foi gerada uma equação de condutividade hidráulica não saturada, em função da umidade θ .

3.10.5 Escoamento superficial

O escoamento superficial deve ser determinado por meio de técnicas e estruturas apropriadas. Diante das dificuldades para se determinar o escoamento superficial e também do elevado número de dados requeridos para se fazer o balanço hídrico no solo, em períodos curtos, o mesmo não foi realizado em dias em que ocorreram precipitações pluviométricas.

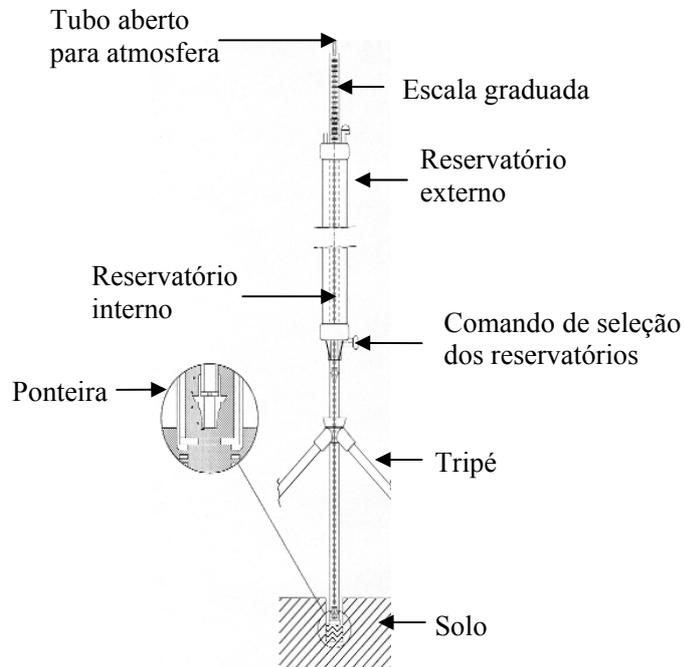


FIGURA 3 Permeâmetro de Guelph e principais partes constituintes. Lavras, MG, 2006.

3.10.6 Variação do armazenamento de água no solo

A variação do armazenamento foi obtida, de acordo Libardi (1999), conforme Equação 15. Foram realizadas as leituras de umidade do solo a cada dois dias, por meio do “Profile Probe”, nas seguintes profundidades: 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm e 60 cm, representadas na Figura 4.

$$\Delta A = \int_0^z \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial \theta}{\partial t} dt dz \dots\dots\dots(15)$$

Em que:

ΔA : variação do armazenamento (mm);

z : profundidade (mm);

t_2 : tempo no final (dia);

t_1 : tempo no início (dia);

θ : umidade base volume (cm cm^{-3}).

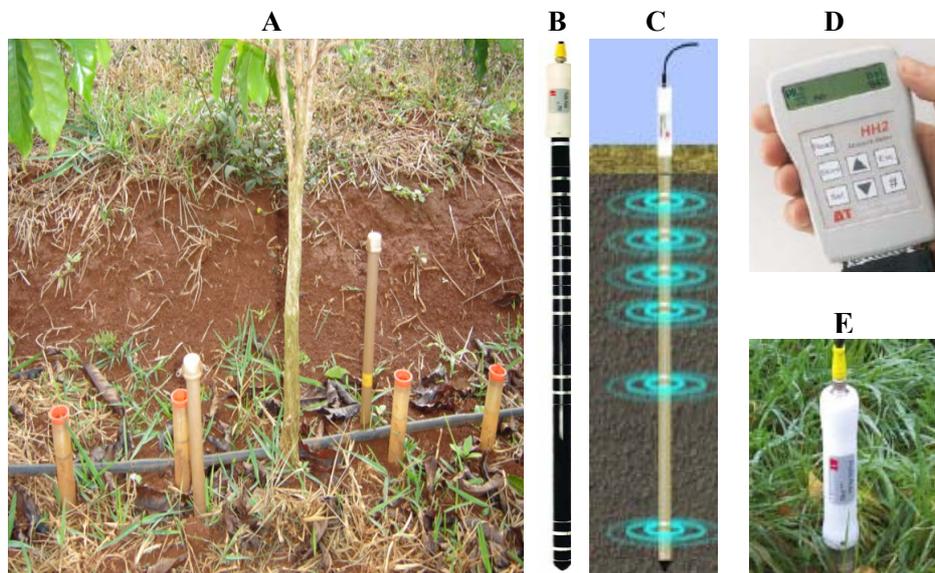


FIGURA 4 Sensores de umidade no solo “Profile Probe” e seus contituintes. (A) 4 tubos de acesso instalados no solo, próximo à planta; (B) haste com sensores a 10, 20, 30, 40, 60 e 100 cm de profundidade; (C) haste introduzida em tubo de acesso instalado no solo e princípio de funcionamento; (D) leitor digital para coleta e armazenamento de dados; (E) vista parcial da haste embutida no tubo de acesso instalado no solo. Lavras, MG, 2006.

3.10.7 Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura foi determinada a partir da equação geral do balanço de água no solo (Equação 11).

A profundidade considerada na contabilidade do balanço hídrico para um volume de solo representativo foi de 55 cm. A esquematização dos componentes do balanço hídrico de uma cultura pode ser verificada na Figura 5.



FIGURA 5 Esquema dos componentes do balanço hídrico de uma cultura.

3.11 Coeficiente de cultura (Kc)

Os coeficientes de cultura (Kc) foram determinados pela equação expressa por Allen et al. (1998), mediante a posse dos valores de evapotranspiração da cultura (ETc) sem restrição de água e evapotranspiração de referência (ETo), de acordo Equação 17.

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \dots\dots\dots(17)$$

Em que:

Kc : coeficiente de cultura;

ETc: evapotranspiração da cultura sem restrição de água (mm d⁻¹);

ETo: evapotranspiração de referência (mm d⁻¹).

3.12 Graus-dia de desenvolvimento (GDD)

O cálculo de graus-dia foi realizado de acordo com o procedimento apresentado por Ometto (1981). Tal metodologia considera cinco situações possíveis de acontecer: Equações 18, 19, 20, 21 e 22. Com base em resultados de trabalhos de Amaral (1991), Iaffe et al. (2001) e Lima (2006), foram adotados valores de temperatura basal inferior e superior da planta igual a 13°C e 34°C, respectivamente. Os graus-dia foram computados a partir da data de transplante das mudas em 14/04/2003, equivalentes aos dias após plantio, referente a cada data de plantio. Os graus-dia foram relacionados com as variáveis de crescimento vegetativo, obtidas no período de 09/09/04 a 17/03/06, bem como os valores de Kc obtidos no período de 13/09/04 a 14/09/05.

1º caso: $T_b < T_m$ e $T_B > T_M$

$$GD = \left(\frac{T_M - T_m}{2} \right) + (T_m - T_b) \dots\dots\dots(18)$$

2º caso: $T_b \geq T_m$ e $T_B > T_M$

$$GD = \frac{(T_M - T_b)^2}{2(T_M - T_m)} \dots\dots\dots(19)$$

3º caso: $(T_b \text{ e } T_B) > (T_M)$

$$GD = 0 \dots\dots\dots(20)$$

4º caso: $T_b < T_m$ e $T_B < T_M$

$$GD = \frac{2(T_M - T_m)(T_m - T_b) + (T_M - T_m)^2 - (T_M - T_B)^2}{2(T_M - T_m)} \dots\dots\dots(21)$$

5º caso: $T_b > T_m$ e $T_B < T_M$

$$GD = \frac{1}{2} \left[\frac{(T_M - T_b)^2 - (T_M - T_B)^2}{T_M - T_m} \right] \dots\dots\dots(22)$$

Em que:

GD : graus-dia ($^{\circ}C$);

T_b : temperatura base inferior da planta ($^{\circ}C$);

T_B : temperatura base superior da planta (°C);

T_m : temperatura mínima do ar (°C);

T_M : temperatura máxima do ar (°C).

3.13 Crescimento vegetativo

A avaliação do crescimento vegetativo dos cafeeiros foi realizada durante o período de 09/09/04 a 17/03/06. Em duas plantas da parcela útil foram marcados os ramos para a realização de leituras mensais das seguintes variáveis de crescimento vegetativo: altura de planta (*Ap*), comprimento do ramo plagiotrópico (*Crp*), diâmetro da seção inferior da copa (*Diac*), diâmetro do ramo ortotrópico (*Dro*), número de internódios do ramo plagiotrópico (*Nirp*) e número de pares de ramos plagiotrópicos (*Nrp*).

Para a avaliação de *Ap* e *Diac*, foi utilizada uma régua de madeira graduada em centímetros. A variável *Ap* foi medida colocando-se a régua próximo ao ramo ortotrópico, na posição perpendicular à superfície do solo, tomando-se como altura a posição mais alta de folhas na parte aérea da planta. Para a medição do *Diac*, colocou-se a régua no mesmo plano da superfície do solo, em sentido transversal à linha de plantio, medindo-se a distância entre as mais distantes extremidades dos ramos plagiotrópicos.

A variável *Crp* foi avaliada por meio de uma trena também graduada em centímetros. A trena foi colocada na base do ramo plagiotrópico, próximo à inserção deste com o ramo ortotrópico, estendendo-se até o ápice.

Para a avaliação do *Dro*, utilizou-se um paquímetro digital graduado em milímetro. As avaliações foram realizadas à altura de 10 cm da superfície do solo.

As variáveis Nirp e Nrp foram avaliadas por meio de contagem visual. Após cada contagem, eram feitas marcações nos ramos, com a finalidade de não permitir uma recontagem dos internódios e ramos anteriormente avaliados.

3.14 Análise dos dados

A análise estatística dos dados correspondentes às variáveis de crescimento vegetativo observados em campo foi realizada com auxílio do programa computacional Sisvar, versão 4.6, segundo Ferreira (2003), enquanto que, para os dados de coeficiente de cultura (Kc) observados, foram feitas análises de regressão, utilizando-se o SigmaPlot (versão 7.0). Os gráficos foram confeccionados a partir de uma planilha eletrônica (Excel).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condições meteorológicas

As variáveis meteorológicas temperaturas máxima e mínima do ar, observadas no período entre a implantação das parcelas, correspondentes às distintas datas de plantio e início do monitoramento experimental, estão representadas na Figura 6. Verificou-se que os menores e os maiores valores de temperatura mínima foram, respectivamente, 6,4°C e 21°C, ao passo que o menor valor para a temperatura máxima foi 17,4°C e os maiores permaneceram entre 33,8°C e 35°C. Os valores de temperatura do ar abaixo do mínimo exigido de 13°C pelo cafeeiro, ou seja, da temperatura basal inferior, ocorreram entre os meses de maio a agosto de 2003 e maio a setembro de 2004. Para os valores de temperatura máxima do ar acima do limite superior de temperatura exigida de 34°C pelo cafeeiro, ou seja, temperatura basal superior, foi observada apenas uma ocorrência em setembro de 2003 e duas em outubro do mesmo ano, permanecendo abaixo da temperatura basal superior por quase todo período.

As variáveis meteorológicas temperaturas máxima e mínima, por todo o período que abrange o monitoramento do desenvolvimento vegetativo e o balanço hídrico no solo, estão apresentadas na Figura 7. Verifica-se que, para todos os períodos, equivalentes às diferentes datas de plantio, os menores e maiores valores de temperatura mínima foram, respectivamente, 7,5°C e 21°C, enquanto o menor valor para a máxima foi de 17,6°C e os maiores situaram-se entre 33°C e 35°C. A maior ocorrência de valores de temperatura abaixo da mínima basal inferior exigida pelo cafeeiro foi nos meses de maio a agosto de 2005. Nos demais meses em que se procederam às avaliações de crescimento, houve uma ocorrência de maiores valores de temperatura mínima do ar, superando a temperatura basal inferior. A temperatura máxima do ar

permaneceu abaixo da temperatura basal superior por quase todo o período de monitoramento, exceto em quatro dias do mês de outubro de 2005 e três dias do mês de janeiro de 2006.

Pode-se observar que as variáveis meteorológicas temperaturas máxima e mínima do ar, ao serem comparadas em relação às temperaturas máxima e mínima basal do cafeeiro, foram semelhantes no período em que ocorreu o monitoramento vegetativo e no período anterior a este.

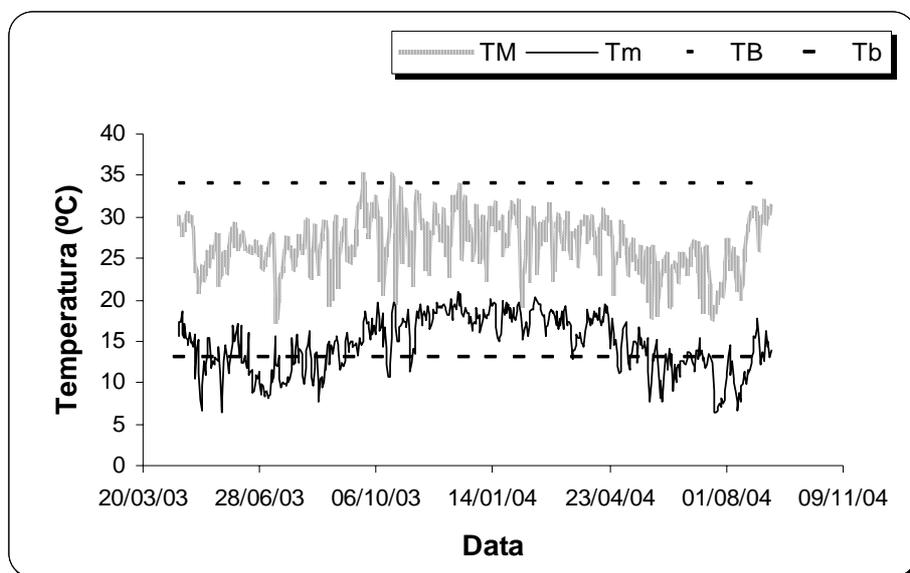


FIGURA 6 Distribuição dos valores de temperaturas mínimas (T_m), máximas (T_M), do ar, basal inferior ($T_b=13^{\circ}\text{C}$) e basal superior ($T_B=34^{\circ}\text{C}$) no período de abr./2003 a set./2004. Lavras, MG, 2006.

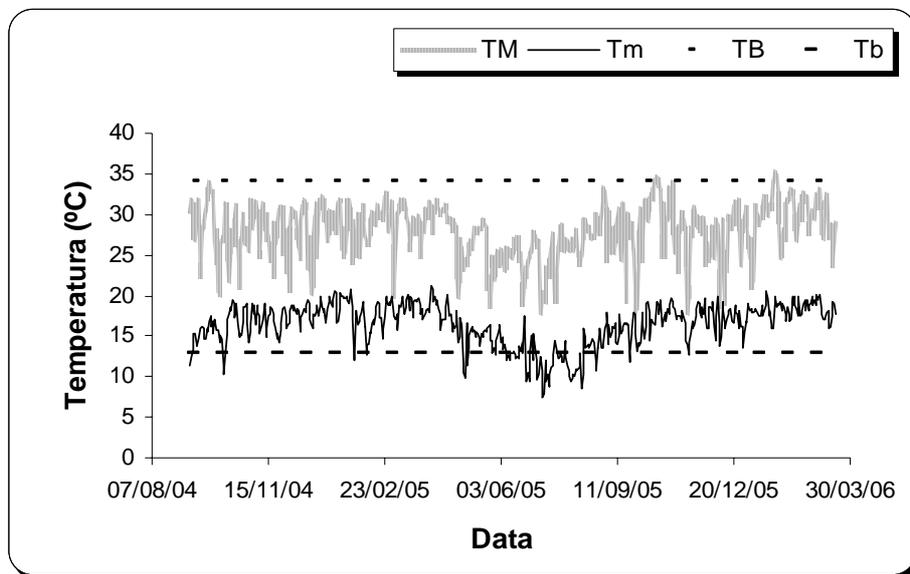


FIGURA 7 Distribuição dos valores de temperaturas mínimas (Tm), máximas (TM), do ar, basal inferior (Tb=13°C) e basal superior (TB=34°C) no período de set./2004 a mar./2006. Lavras, MG, 2006.

4.2 Curva característica de água no solo

As curvas de retenção ou curvas característica de água no solo determinadas para as camadas: 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm estão apresentadas na Figura 8. Os valores dos coeficientes de determinação obtidos foram iguais ou superiores a 0,98 (Tabela 4) e mostram bons ajustes dos dados experimentais ao modelo de Van Genuchten.

Os valores de umidades correspondentes ao potencial matricial de -10 kPa, equivalente à capacidade de campo para as diferentes camadas do solo, foram: 30,96 % (camada de 0 a 20 cm), 35,69 % (camada de 20 a 40 cm) e 32,83% (camada de 40 a 60 cm). Diante da relação entre os valores de umidade

e potencial matricial de água no solo, é possível verificar grande semelhança hidráulica entre as camadas.

TABELA 4 Parâmetros de ajuste da curva característica ao modelo proposto por Van Genuchten (1980), a partir do potencial matricial em kPa e do conteúdo de água em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$. Lavras, MG, 2006.

Parâmetros	Camadas (cm)		
	0 – 20	20 – 40	40 – 60
θ_s	0,658	0,650	0,661
θ_r	0,220	0,241	0,238
α	1,5104	1,1303	1,1340
m	0,3670	0,3394	0,3864
n	1,5799	1,5137	1,6297
R^2	0,98	0,99	0,99

4.3 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi eficiente para repor a lâmina correspondente à variação do armazenamento de água entre o conteúdo de água do solo na capacidade de campo e o conteúdo de água equivalente a um potencial matricial variável entre -10 (capacidade de campo) e -20 kPa.

O potencial matricial foi mantido entre -10 e -20 kPa, em quase todo período analisado (Figura 9 A e B).

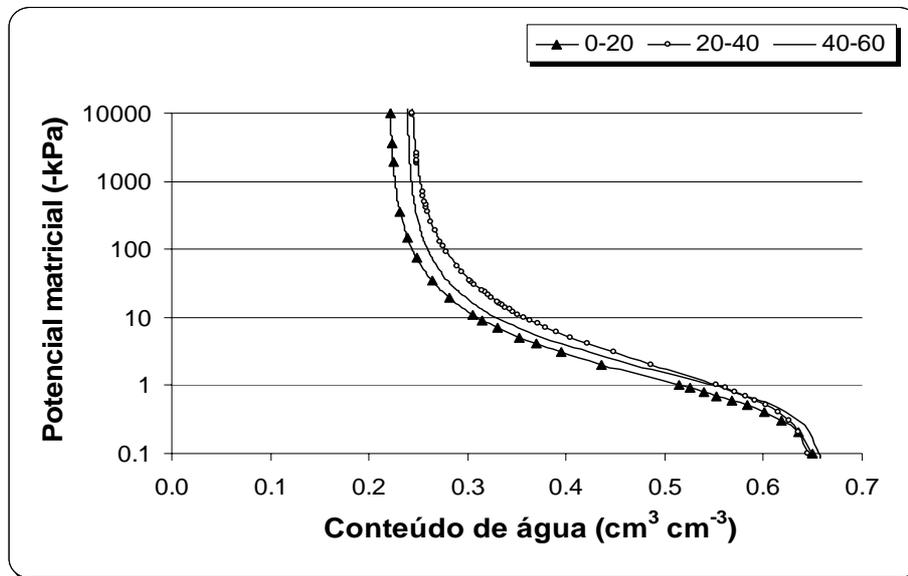


FIGURA 8 Curvas de retenção de água no solo para as três camadas estudadas do Latossolo Vermelho distroférico típico. Lavras, MG, 2006.

Para algumas datas, foram observados valores de potencial matricial acima de -10 kPa. Este fato deve-se à ocorrência de precipitações (Figura 10) com lâmina suficiente para elevar a umidade além do limite superior de -10 kPa. O contrário ocorreu em outras datas, nas quais foram verificados valores de potencial matricial abaixo de -20 kPa, o que pode estar relacionado com a redistribuição da água que, ao movimentar-se para fora da camada de interesse, ocasiona uma diminuição do potencial matricial.

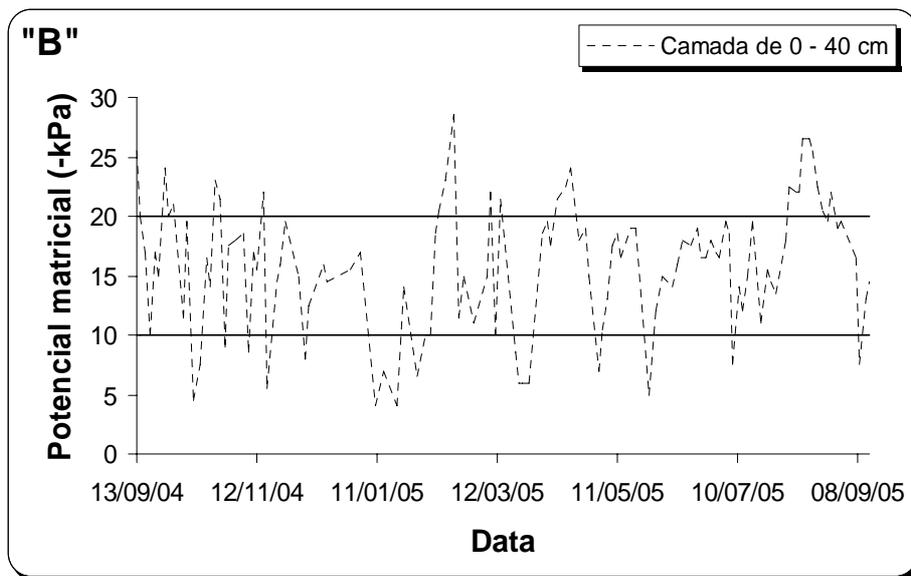
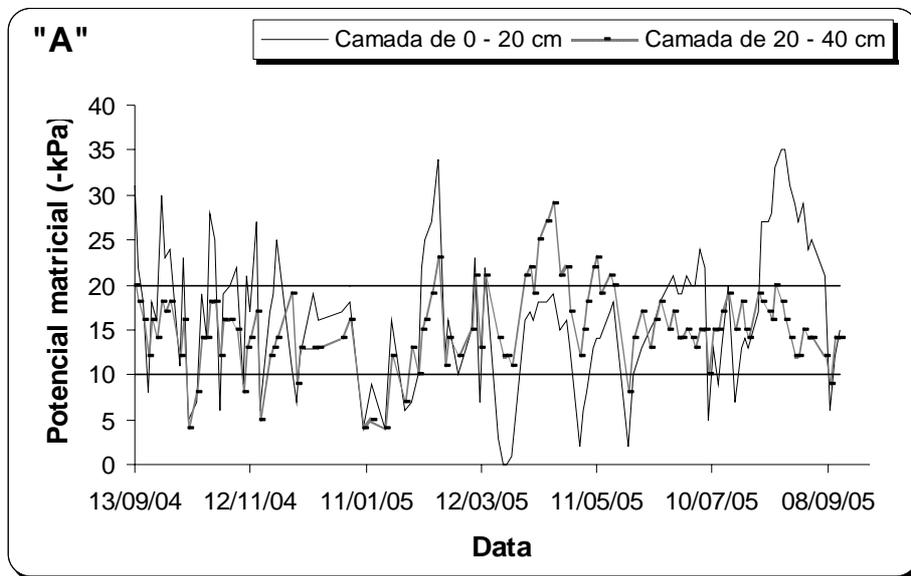


FIGURA 9 Potencial matricial médio no solo nas camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm (A) e na camada de 0 a 40 cm (B), durante o período de irrigação e crescimento vegetativo do cafeeiro. Lavras, MG, 2006.

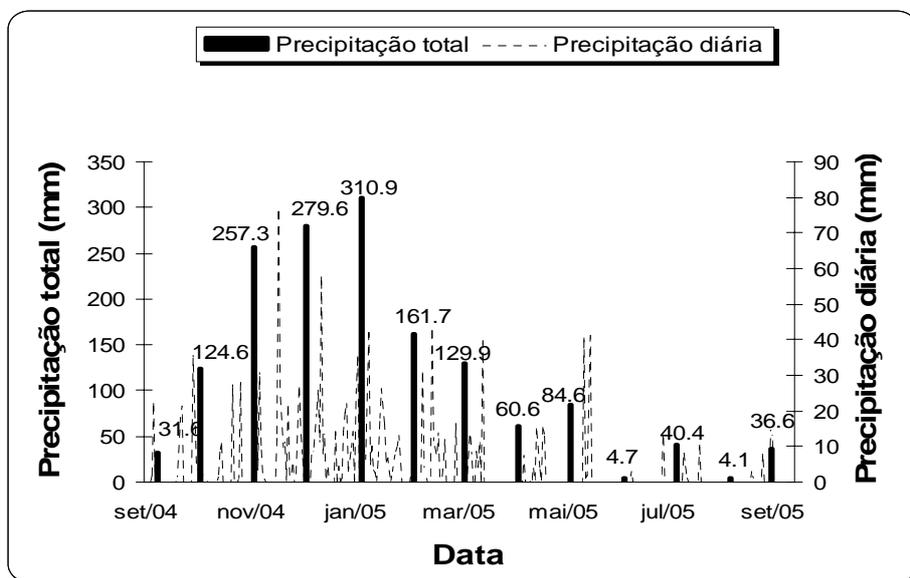


FIGURA 10 Precipitações pluviométricas totais mensais e diárias observadas durante o período de monitoramento do balanço hídrico no solo. Lavras, MG, 2006.

Diante do curto intervalo de monitoramento do potencial matricial de água no solo e da ocorrência de precipitações em boa parte do período avaliado, pode-se assegurar que o objetivo de manter o potencial entre -10 e -20 kPa na área cultivada com o cafeeiro ‘Acaiá’ foi estabelecido em quase todo o período.

4.3.1 Uniformidade de aplicação da água

Os gotejadores utilizados no sistema de irrigação trabalham com uma faixa de compensação de vazão para uma variação na pressão de operação de 5 a 35 mca. Por esta razão e devido à necessidade hidráulica do sistema, a pressão de serviço utilizada na saída do conjunto motobomba foi de 24 mca, sendo suficiente para a adequada operação dos gotejadores.

Foram realizados testes de uniformidade de distribuição de água, conforme metodologia descrita no item 3.8. Após a realização dos testes, verificou-se uma vazão média dos gotejadores igual a 1,58 L h⁻¹, valor ligeiramente inferior ao de fabricação. O valor obtido de CUD igual a 93% foi classificado como excelente, por ter sido maior que 90%, indicando boa performance do sistema de irrigação.

4.4 Crescimento vegetativo

Depois de realizadas 20 avaliações de coleta de dados, foram obtidos os resultados das variáveis de crescimento vegetativo para o cafeeiro ‘Acaia’.

4.4.1 Altura de planta (Ap)

Houve um bom ajuste do modelo de regressão linear aos dados de altura de planta relacionados com graus-dia desenvolvimento (GDD), como pode ser observado pelo valor do coeficiente de determinação apresentado na Tabela 5. Entretanto, apesar do aumento da variável altura de planta estar associado aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), pode-se observar, pelos valores significativamente maiores ($P < 0,01$) entre as datas de plantio, conforme Anexo A, que houve efeito destas sobre a altura de planta. Analisando-se a ocorrência das temperaturas do ar (Figura 7) abaixo e acima da temperatura basal inferior e superior, respectivamente, para cada data de plantio, pode-se observar que, por meio da associação de GDD com altura de planta, não foi possível definir com precisão a relação entre temperatura do ar e o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro. Este fato pode ser observado na Figura 11, pela diferença entre os valores de altura de planta obtidos na Data 1 (plantio 19/04/03) com os valores de altura obtidos nas Datas 7 (plantio 21/11/03) e 8 (plantio 08/01/04), meses

nos quais não foi observada a ocorrência de valores de temperatura do ar menores e maiores que a temperatura basal inferior e superior, respectivamente. Conforme Ometto (1981) e Mota (1989), era de se esperar que os valores de altura de planta para as diferentes datas de plantio fossem próximos, uma vez que o conceito de graus-dia parte do pressuposto de que a temperatura do ar expressa de maneira simples a energia contida no meio e esta é o principal fator que controla o crescimento da planta. Resultados semelhantes (Tabela 5) foram obtidos quando Ap foi relacionada com dias após plantio.

TABELA 5 Parâmetros do modelo de regressão linear simples, de altura de planta (Ap) entre as datas de plantio versus graus-dia de desenvolvimento (GDD) e dias após plantio (DAP), obtidos por meio do Sisvar.

Fonte de variação	Parâmetros estatísticos			
	B ₀	B ₁	R ²	Valor P do desvio
GDD	22,3254	0,0196	0,999**	1,000 ^{n.s}
DAP	21,3831	0,1616	0,998**	0,989 ^{n.s}

** Altamente significativo, a 1%; ^{n.s} Não significativo.

4.4.2 Diâmetro do ramo ortotrópico (Dro)

Ao relacionar-se diâmetro do ramo ortotrópico (caule) com graus-dia de desenvolvimento (GDD), observou-se, pelo coeficiente de determinação (Tabela 6), um bom ajuste do modelo linear aos dados mensurados. Contudo, pode-se verificar, pelos valores significativamente maiores ($P < 0,01$) conforme Anexo B, que também houve efeito da data de plantio sobre o diâmetro do caule. Este fato pode ser observado na Figura 12, ao comparar os valores das Datas 2 (plantio

25/05/03) e 4 (plantio 05/08/03), plantadas em meses com ocorrência de temperaturas do ar abaixo da temperatura basal, com as Datas 7 (plantio 21/11/03) e 8 (plantio 08/01/04), plantadas em meses com ocorrência de temperatura do ar entre os limites superior e inferior basal, ou seja, favorável ao desenvolvimento da planta. Ao relacionar-se diâmetro do caule com dias após plantio, pode-se verificar bom ajuste do modelo linear pelos parâmetros estatísticos (Tabela 6). Todavia, é observado o efeito da data de plantio sobre a variável Dro, quando relacionada com esta mesma variável.

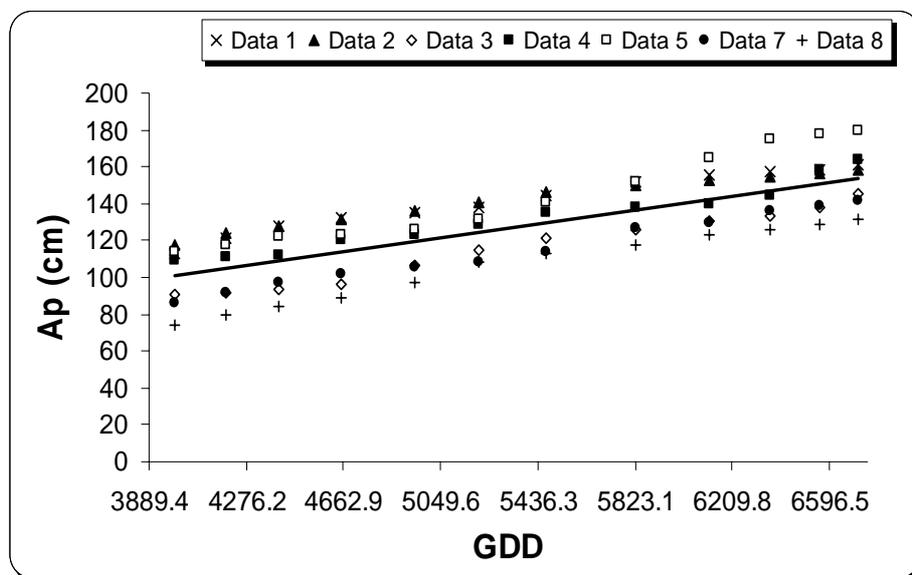


FIGURA 11 Altura de planta (Ap) associada aos graus-dia de desenvolvimento (GDD) para o cafeeiro 'Acaia' correspondentes às diferentes datas de plantio. Lavras, MG, 2006.

TABELA 6 Parâmetros do modelo de regressão linear simples, de diâmetro do ramo ortotrópico (Dro) entre as datas de plantio versus graus-dia de desenvolvimento (GDD) e dias após plantio (DAP), obtidos por meio do Sisvar.

Fonte de variação	Parâmetros estatísticos			
	B ₀	B ₁	R ²	Valor P do desvio
GDD	-0,33018	0,0006	0,996**	0,873 n.s
DAP	-0,1487	0,0049	0,988**	0,630 n.s

** Altamente significativo, a 1%; n.s Não significativo.

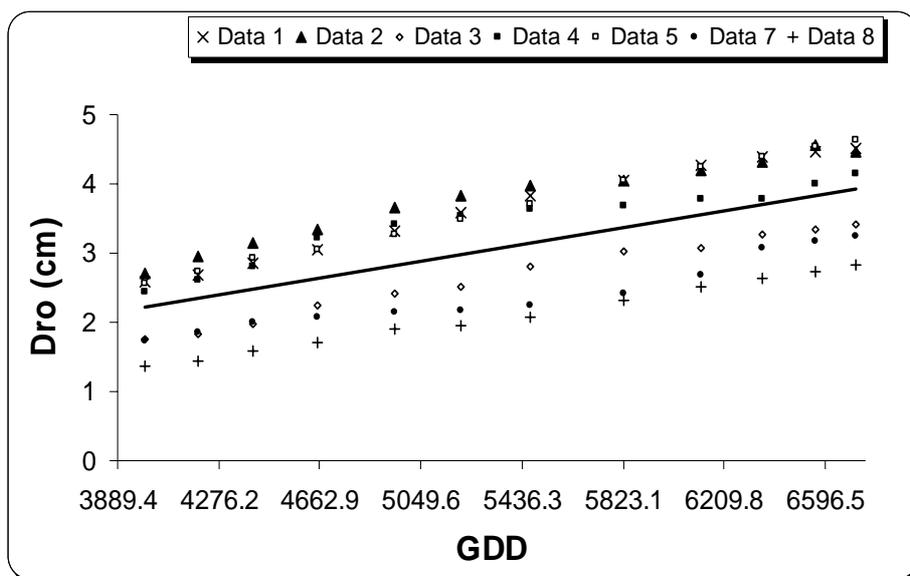


FIGURA 12 Diâmetro do ramo ortotrópico (Dro) associado aos graus-dia de desenvolvimento (GDD) para o cafeeiro ‘Acaia’ correspondentes às diferentes datas de plantio. Lavras, MG, 2006.

4.4.3 Diâmetro de copa (Diac)

Foi verificado um bom ajuste do modelo linear aos dados de diâmetro de copa relacionados com graus-dia desenvolvimento (GDD), como pode ser observado pelo valor do coeficiente de determinação apresentado na Tabela 7. Entretanto, constatou-se, pelos valores de diâmetro de copa significativamente superiores ($P < 0,01$), conforme Anexo C, que houve efeito das datas de plantio sobre esta variável. Observa-se, na Figura 13, a similaridade dos valores de diâmetro de copa entre as datas de plantio (Data 3, Data 7 e Data 8) que ocorreram em períodos com distintas condições de temperaturas do ar, como também o afastamento dos valores de diâmetro de copa entre as datas de plantio (Data 1 e Data 7; Data 8), com uma ocorrência similar de temperatura. Ao associar-se diâmetro de copa com dias após plantio, verifica-se bom ajuste do modelo linear aos dados observados, mas, ainda assim, permanece o efeito da data de plantio sobre o crescimento daquela variável.

TABELA 7 Parâmetros do modelo de regressão linear simples, de diâmetro de copa (Diac) entre as datas de plantio versus graus-dia de desenvolvimento (GDD) e dias após plantio (DAP), obtidos por meio do Sisvar.

Fonte de variação	Parâmetros estatísticos			
	B ₀	B ₁	R ²	Valor P do desvio
GDD	32,1582	0,0172	0,996 ^{**}	0,996 ^{n.s}
DAP	33,8133	0,1373	0,988 ^{**}	0,729 ^{n.s}

^{**} Altamente significativo, a 1%; ^{n.s} Não significativo.

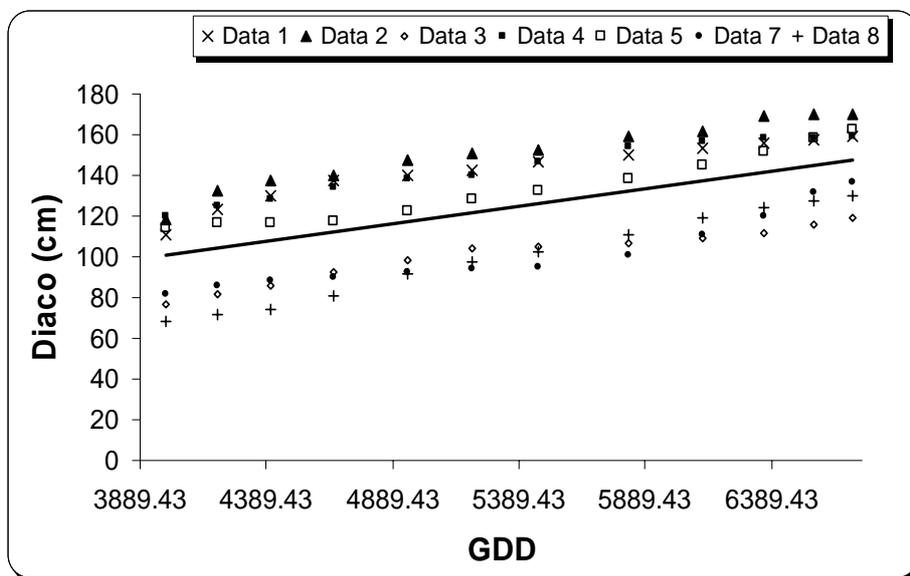


FIGURA 13 Diâmetro de copa (Diaco) associado aos graus-dia de desenvolvimento (GDD) para o cafeeiro ‘Acaiá’ correspondentes às diferentes datas de plantio. Lavras, MG, 2006.

4.4.4 Comprimento do ramo plagiotrópico (Crp)

Por meio dos parâmetros estatísticos na Tabela 8, constata-se que houve bom ajuste do modelo linear aos valores de comprimento do ramo plagiotrópico relacionados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD). Pela Figura 14 verifica-se um aumento do comprimento do ramo plagiotrópico com o acúmulo de graus-dia. O efeito da data de plantio pode ser comprovado pelos valores significativamente maiores ($P < 0,01$) para Crp, referentes às épocas de plantio, conforme Anexo D. Resultados semelhantes foram observados quando Crp foi associado aos dias após plantio.

TABELA 8 Parâmetros do modelo de regressão linear simples, de comprimento do ramo plagiotrópico (C_{rp}) entre as datas de plantio versus graus-dia de desenvolvimento (GDD) e dias após plantio (DAP), obtidos por meio do Sisvar.

Fonte de variação	Parâmetros estatísticos			
	B ₀	B ₁	R ²	Valor P do desvio
GDD	22,2970	0,0078	0,995**	0,998 ^{n.s}
DAP	23,6344	0,0609	0,985**	0,955 ^{n.s}

** Altamente significativo, a 1%; ^{n.s} Não significativo.

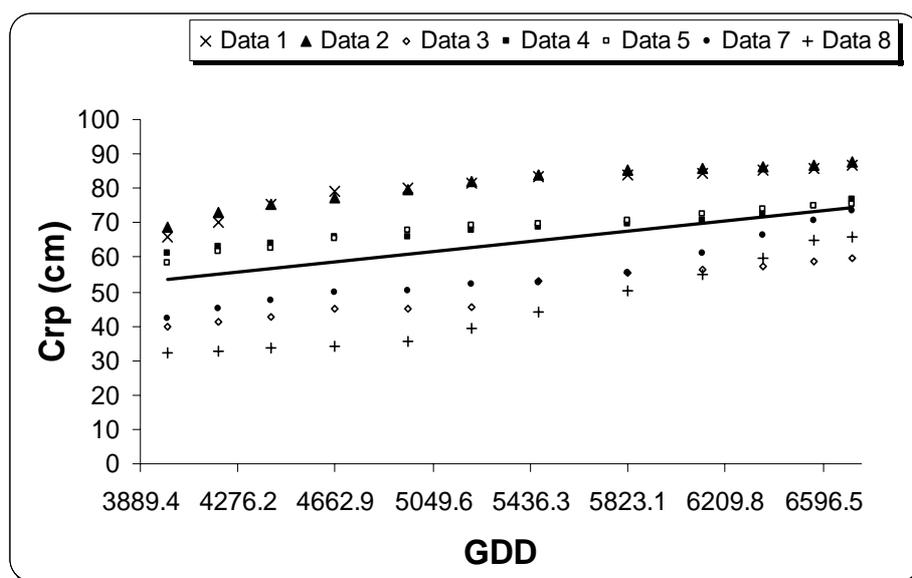


FIGURA 14 Comprimento do ramo plagiotrópico (C_{rp}) associado aos graus-dia de desenvolvimento (GDD) para o cafeeiro ‘Acaia’ correspondentes às diferentes datas de plantio. Lavras, MG, 2006.

4.4.5 Número de internódios do ramo plagiotrópico (Nirp)

O aumento do número de internódios do ramo plagiotrópico associado aos graus-dia de desenvolvimento (GDD) pode ser observado por meio da Figura 15. Os valores dos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 9 demonstram um bom ajuste do modelo linear aos dados de Nirp relacionados aos GDD. Entretanto, os significativos valores superiores ($P < 0,01$), conforme Anexo E, indicam que a data de plantio teve efeito também sobre Nirp. Ao relacionar-se número de internódios do ramo plagiotrópico com dias após plantio, pode-se verificar, pelos parâmetros estatísticos (Tabela 9), um bom ajuste do modelo. Porém, o efeito das datas de plantio sobre o Nirp é verificado, quando relacionado com DAP.

TABELA 9 Parâmetros do modelo de regressão linear simples, de número de internódios do ramo plagiotrópico (Nirp) entre as datas de plantio versus graus-dia de desenvolvimento (GDD) e dias após plantio (DAP), obtidos por meio do Sisvar.

Fonte de variação	Parâmetros estatísticos			
	B ₀	B ₁	R ²	Valor P do desvio
GDD	0,4059	0,0038	0,998**	0,965 ^{n.s}
DAP	-0,0112	0,0311	0,997**	0,961 ^{n.s}

** Altamente significativo, a 1%; ^{n.s} Não significativo.

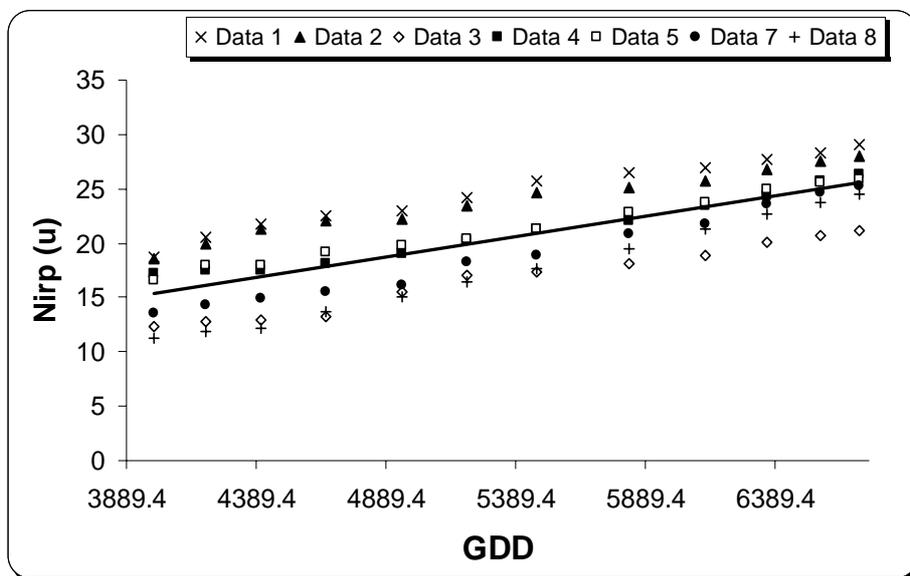


FIGURA 15 Número de internódios do ramo plagiotrópico (Nirp) associado aos graus-dia de desenvolvimento (GDD) para o cafeeiro ‘Acaiá’ correspondentes às diferentes datas de plantio. Lavras, MG, 2006.

4.4.6 Número de pares de ramos plagiotrópicos (Nrp)

Para o número de pares de ramos plagiotrópicos verifica-se que houve um aumento desta variável com o aumento dos graus-dia (Figura 16), em todas as datas de plantio. Pelo valor do coeficiente de determinação, apresentado na Tabela 10, constata-se que bom ajuste do modelo linear aos dados observados. Contudo, os valores significativamente maiores ($P < 0,01$) de Nrp, conforme Anexo F, indicam que houve efeito da data de plantio sobre Nrp. Ao associar Nrp com dias após plantio, observa-se semelhança dos resultados em relação aos graus-dia.

TABELA 10 Parâmetros do modelo de regressão linear simples, de número de pares de ramos plagiotrópicos (Nrp) entre as datas de plantio versus graus-dia de desenvolvimento (GDD) e dias após plantio (DAP), obtidos por meio do Sisvar.

Fonte de variação	Parâmetros estatísticos			
	B ₀	B ₁	R ²	Valor P do desvio
GDD	-0,3632	0,0036	0,996**	0,962 ^{n.s}
DAP	0,0529	0,0291	0,993**	0,966 ^{n.s}

** Altamente significativo, a 1%; ^{n.s} Não significativo.

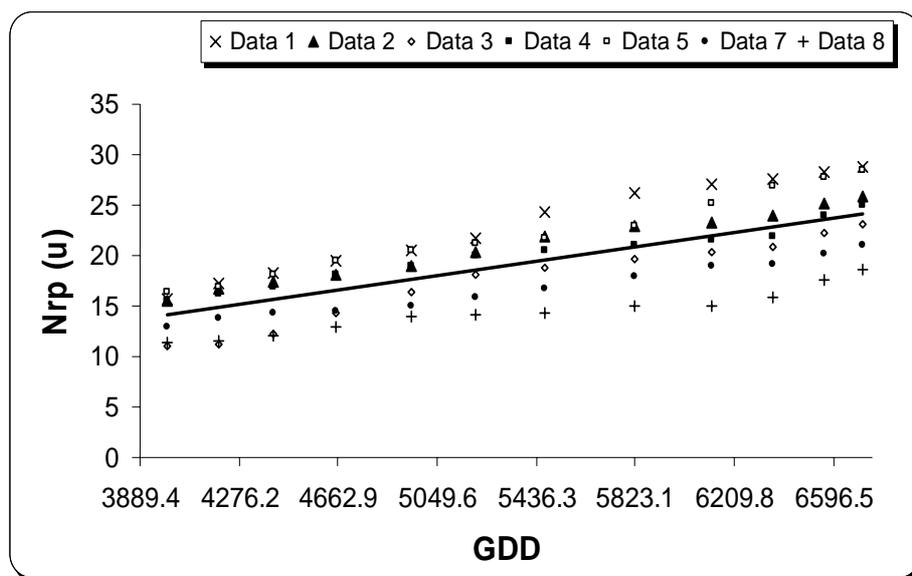


FIGURA 16 Número de pares de ramos plagiotrópicos (Nrp) associado aos graus-dia de desenvolvimento (GDD) para o cafeeiro 'Acaia' correspondentes às diferentes datas de plantio. Lavras, MG, 2006.

De maneira geral, observa-se que houve um bom ajuste do modelo linear simples ao relacionar todas as variáveis de crescimento: Ap, Dro, Diaco, Crp, Nirp e Nrp, aos graus-dia de desenvolvimento (GDD). Apesar do bom ajuste, verificou-se que a data de plantio exerce efeito significativo em todas as variáveis de crescimento analisadas, mostrando que GDD não é um parâmetro confiável para se estimar o crescimento vegetativo do cafeeiro ‘Acaiá Cerrado’, entre diferentes épocas. Foi observada semelhança de resultado para a relação das variáveis de crescimento com dias após plantio (DAP). Dessa maneira, a estimativa do crescimento vegetativo do cafeeiro ‘Acaiá Cerrado’ plantado em diferentes datas, não pode ser realizada por meio de dias após o plantio (DAP), bem como por meio de graus-dia de desenvolvimento (GDD).

Pode-se observar, pela Figura 17, a relação da variável altura de planta (Ap) e da variável bioclimatológica GDD, com dias após plantio (DAP), tendo ocorrido um distanciamento da curva de crescimento da planta em altura, em relação à curva da variável bioclimatológica GDD. Conforme Ometto (1981), esse afastamento entre as curvas é um indicativo de que outro fator, além da temperatura, qualquer que seja, esteja afetando o desenvolvimento da planta. Quando a planta está otimizada, seu crescimento e desenvolvimento são consequência da energia do meio, isto é, a curva que mostra o crescimento deveria seguir uma tendência de acompanhamento com as curvas das variáveis bioclimatológicas.

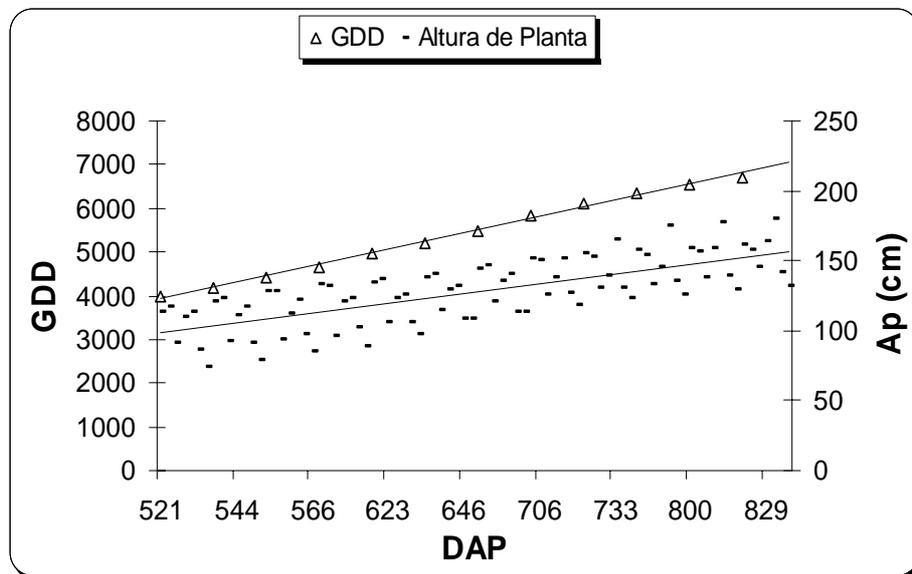


FIGURA 17 Altura de planta (Ap) versus graus-dia de desenvolvimento (GDD) associados aos dias após o plantio (DAP). Lavras, MG, 2006.

4.5 Coeficiente de cultura (Kc)

Por meio do balanço hídrico do solo, realizado a partir de 13/09/2004, quando já tinham sido computados 3932 GDD referentes à primeira data de plantio em 19/04/2003, foram obtidos os valores de Kc. As demais datas de plantio, evidentemente, alcançaram os mesmos graus-dia em épocas e períodos diferentes. Entretanto, devido ao efeito da data de plantio sobre o crescimento das variáveis de desenvolvimento vegetativo, mostrando que GDD não é para o cafeeiro uma variável bioclimática precisa, decidiu-se associar Kc aos GDD correspondentes, apenas, ao período entre o início de florada de 2004 e o de 2005. Isso só foi possível pelo fato da florada ter sido bem uniforme para as datas de plantio, indicando que graus-dia não estimam, aparentemente, a época de floração do cafeeiro. Desse modo, tornou-se possível relacionar os

coeficientes de cultura (Kc) com GDD, a partir da florada, desconsiderando o efeito da data de plantio sobre o crescimento vegetativo.

Os valores de coeficientes de cultura associados aos GDD, para o cafeeiro 'Acaia Cerrado' estão apresentados na Figura 18, em intervalos de 700 GDD. Por meio do coeficiente de determinação (R^2), observa-se que houve um bom ajuste do modelo de regressão linear utilizando a função cúbica aos dados de Kc relacionados com GDD.

Os valores de Kc médios estimados pelo modelo linear de terceiro grau, no período correspondente de 3932 a 7101 GDD, situaram-se entre 0,7 e 1,2. Estes valores estão próximos aos determinados por Doorenbos & Pruitt (1977) e Villa Nova et al. (2002) entre outros verificados na literatura. Porém, são limitados à localidade de Lavras, como aqueles os são, para a condição em que foram determinados.

Sugere-se a utilização de metodologias que incorporem outras variáveis bioclimatológicas além da temperatura, para uma possível associação com crescimento vegetativo e coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro.

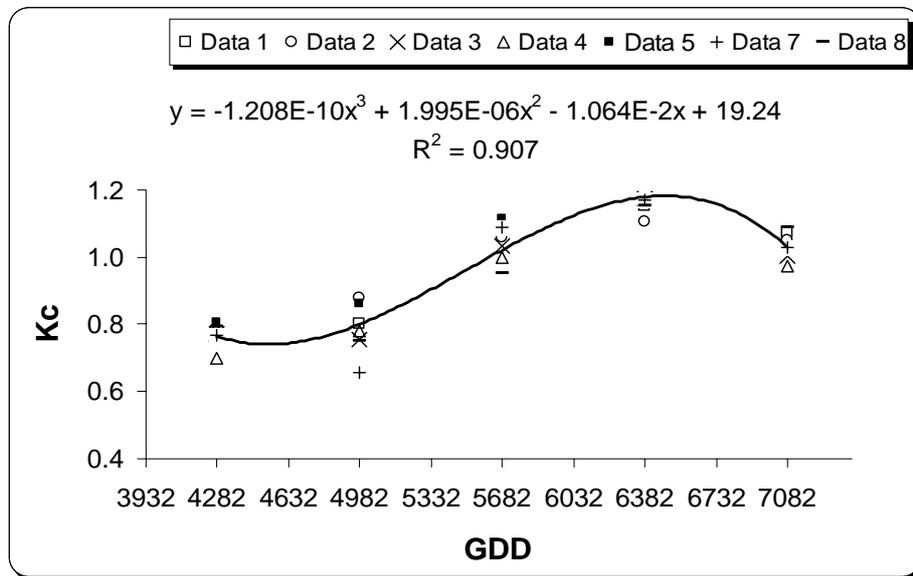


FIGURA 18 Coeficientes de cultura (Kc) associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD) para o cafeeiro ‘Acaiá Cerrado’, obtidos em intervalos de 700 GDD. Lavras, MG, 2006.

5 CONCLUSÕES

A alternativa de utilização dos GDD para estimativa do crescimento vegetativo não se mostrou eficiente para o cafeeiro 'Acaia Cerrado', indicando limitação dessa variável bioclimatológica.

As curvas de Kc correspondentes aos intervalos de 700 GDD, para o cafeeiro 'Acaia Cerrado', no período de 3932 a 7101 GDD, foram semelhantes aos valores encontrados na literatura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2006 - Anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2006. Café, produção brasileira, p. 209-223.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome, Italy: FAO, 1998. 301 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56).

ALVES, I.; PERRIER, A.; PEREIRA, L. S. Aerodynamic and surface resistances of complete cover crops: How good is the “Big leaf”? **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 41, n. 2, p. 345-351, Mar./Apr. 1998.

AMARAL, A. T. de. **Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas inter-relações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação do nitrogênio**. 1991. 139 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. do. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 377-384, Mar. 2006.

ANDRADE, C. L. T. de.; COELHO, E. F.; COUTO, L.; SILVA, E. L. da. 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, MG: UFLA/SBEA, 1998, p. 1-45.

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

ARRUDA, F. B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. O. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama/SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. p. 790-793.

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

BOLONHEZI, D. **Épocas de semeadura do algodoeiro: características agronômicas, tecnológicas da fibra, determinação da temperatura base e graus-dia**. 2000. 182 p. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal.

BONOMO, R.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) para as regiões cafeeiras do triângulo e noroeste de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1., 1998, Araguari, MG. **Anais...** Uberlândia: UFU/DEAGO, 1998. p. 84-90.

BONTA, J. V.; RAO, A. R. Estimating peak flows from small agricultural watersheds. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 118, n. 1, p. 122-137, Jan./Feb. 1992.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas:1961-1990**. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.

BRUNINI, O. **Determinação de índices biometeorológicos e sua aplicação para o estado de São Paulo**. Jaboticabal: Faculdade de Medicina Veterinária e Agronomia, 1971.

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

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.

CAMARGO, M. B. P. de.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. de. Temperatura-base para cálculo dos graus-dia para cultivares de soja em São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 115-121, fev. 1987.

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.

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

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

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Rome: FAO, 1979. 212 p. (Estudio FAO, Riego y Drenaje, n. 33).

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

DOURADO NETO, D.; LIER, Q. J. van.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. 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.; REZENDE, F. C. **Irrigação na cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 110 p. (Curso de Especialização Pos-Graduação "Lato Sensu" por tutoria a distância: Cafeicultura Empresarial: produtividade e qualidade).

FERREIRA, D. F. **Programa de análises estatísticas (statistical analysis software) e planejamento de experimentos - SISVAR 4. 6 (Build 61)**. DEX/UFLA, Lavras, 2003.

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: Instrumentação, automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998. p. 239-280.

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, PB, v. 9, n. 1, p. 45-50, 2005.

GRIEBELER, N. P.; PRUSKI, F. F.; MARTINS JUNIOR, D.; SILVA, D. D. Avaliação de um modelo para a estimativa da lâmina máxima de escoamento

superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 411-417, 2001.

IAFFE, A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E. Estimativa da Temperatura Base e Graus-Dia do Florescimento a Colheita de café Mundo Novo em Botucatu, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: SBA, 2001. p. 703-704.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1989. 332 p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice; 70).

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-84, 1974.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: Ed. USP, 1999. 497 p.

LIMA, E. P. **Graus-dia, temperatura base e coeficiente de cultura para cafeeiros arábica em fase de implantação**. 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MANTOVANI, E. C. A irrigação do café. **ITEM**, Brasília, n. 48, p. 45-49, 2000.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Irrigação por aspersão em hortaliças**: qualidade da água, aspecto do sistema e método prático de manejo. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa Hortaliça, 2001. 111 p.

MATIELLO, J. B.; DANTAS, F. A. S. Desenvolvimento do café e do seu sistema radicular, com e sem irrigação, em Brejão (PE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1987.

MEDEIROS, G. A. de.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1733-1742, set. 2000.

MENDES, A. N. G.; GUIMARAES, R. J. **Economia cafeeira**: o agronegócio. Lavras: UFLA-FAEPE, 2000. 42 p. (Curso de Especialização Pós-Graduação "Lato Sensu" por tutoria a distancia: Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade).

MENDES, A. N. G.; GUIMARAES, R. J. **Genética e melhoramento do cafeeiro**. Lavras: UFLA-FAEPE, 1998. 99 p. (Curso de Especialização Pós-Graduação "Lato Sensu" por tutoria a distancia: Cafeicultura Empresarial).

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. de.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. 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.

MIRANDA, E. M. de; PEREIRA, R. C. A.; BERGO, C. L. Comportamento de seis linhagens de café (*Coffea arabica* L.) em condições de sombreamento e a pleno sol no Estado do Acre, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 62-69, jan./mar. 1999.

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, CE: EMBRAPA, 2001. 17 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 2).

MOREIRA, R. C.; FURLANI JUNIOR, E.; HERNANDEZ, F. B. T.; FURLANI, R. C. M. Espaçamento para cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com e sem o emprego de irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 73-78, 2004.

MOTA, F. S. da. **Meteorologia agrícola**. 7. ed. São Paulo: Nobel, 1989. 376 p. (III reimpressão).

MOURA, M. V. T.; MARQUES JUNIOR, S.; BOTREL, T. A.; FRIZONE, J. A. Estimativa do consumo de água na cultura da cenoura (*Daucus carota* L.) Nantes Superior, para a região de piracicaba, através do método do balanço hídrico. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 284-291, maio/ago. 1994.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, Washington, v. 12, n. 3, p. 513-522, June 1976.

MUDRIK, A. S.; SOARES, A. R.; SILVA, T. C. da.; MANTOVANI, E. C. Avaliação dos efeitos da irrigação no crescimento e na produtividade em cafeeiros na região de Viçosa-MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 6., 2003, Araguari, MG. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2003. p. 98-101.

NIELSEN, D. C.; HINKLE, S. E. Field evaluation of basal crop coefficients for corn based on growing degree days, growth stage, or time. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 1, p. 97-103, Jan./Feb. 1996.

ODHIAMBO, L. O.; YODER, R. E.; YODER, D. C. Estimation of reference crop evapotranspiration using fuzzy state models. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 3, p. 543-550, 2001.

OMETO, J. C.; REGINFO, A. M. Estudo sobre rendimento energético em alface (*Lactuca sativa* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: SBA, 1987, p. 340-347.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

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

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. da. **Escoamento superficial**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004. 87 p.

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

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-147.

SAES, M. S. M.; NAKAZONE, D. O agronegócio café do Brasil no mercado internacional. **Revista Fae Business**, Blumenau, n. 9, p. 40-42, Set. 2004.

SAMMIS, T. W.; MAPEL, C. L.; LUGG, D. G.; LANSFORD, R. R.; MCGUCKIN, J. T. Evapotranspiration crop coefficients predicted using

growing-degree-days. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 3, p. 773-780, May/June 1985.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore Agrícola e Comércio, 1996. 146 p. Divisão Stoller do Brasil.

SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relação clima - água - planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998. p. 46-116.

SERRA, M. E. V.; MAYER FILHO, N.; MINCHIO, C. A.; VOLPE, C. A.; BARBOSA, J. C. Seleção da temperatura base inferior para a determinação das unidades térmicas de cultivares de ervilha (*Pisum sativum* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GAROMETEOROLOGIA, 5., 1987, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: SBA, 1987. p. 94-109.

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

SILVA, E. L. da.; PEREIRA, G. M.; CARVALHO, J. A.; VILELA, L. A. A.; FARIA, M. A. de. **Manejo de irrigação das principais culturas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 89 p.

SILVA, E. M. da.; AZEVEDO, J. A. de.; GUERRA, A. A.; FIGUERÊDO, S. F.; ANDRADE, L. M. de.; ANTONINI, J. C. dos. A. Manejo de irrigação para grandes culturas In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998. p. 239-280.

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, MG: UFLA/SBEA, 1998. p. 311-348.

SOARES, A. S.; MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; SOARES, A. A.; BONOMO, R. Estudo comparativo de fontes de nitrogênio e potássio empregados na fertirrigação do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa Café e MINASPLAN, 2000. v. 1.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F.; SANTOS, C. R. Manejo de irrigação em fruteiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas, MG: UFLA/SBEA, 1998. p. 239-280.

SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP. **Manual de operação do Permeômetro de Guelph**. Califórnia: EUA, 1987. 28 p.

TELLES, D. D. Irrigação: princípios, métodos e dimensionamento. In: AZEVEDO NETO, J. M.; FERNANDEZ, M. F.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1998. 669 p.

VAN GENUCHTEN, M. T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p. 892-898, July/Aug. 1980.

VIEIRA, A. R. R.; BRAGA, H. J.; PRADO, R. C.; RIBEIRO, F. L. Determinação da temperatura basal e somas térmicas em pepino para conserva, cultivar Ginga. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 6, p. 857-864, jun. 1992.

VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, J. L.; ANGELOCCI, L. R.; DOURADO NETO, D. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002.

YANG, S.; LOGAN, J.; COFFEY, D. L. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. **Agricultural and Forest Meteorology**, Knoxville, USA, v. 74, n. 1, p. 61-74, Apr. 1995.

ZINATO, C. E.; NETO, A. C. F.; BATISTA, M.; MANTOVANI, E. C.; LYRA, G. B. Difusão de tecnologia em cafeicultura irrigada: estudo do manejo da irrigação na região leste de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 6., 2003, Araguari, MG. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2003. p. 192-196.

ANEXOS

ANEXO A

Pág.

TABELA 1A Análise de variância dos dados de altura de planta associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....78

TABELA 2A Análise de variância dos dados de altura de planta associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....78

TABELA 1A Análise de variância dos dados de altura de planta associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	2848,686577**
GDD	11	2427,335334**
Erro	66	23,242705

CV(%) = 3,77; Média geral: 127,82; **Significativo, a 1% de probabilidade

TABELA 2A Análise de variância dos dados de altura de planta associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	3669,661924**
DAP	11	1893,705707**
Erro	66	20,675572

CV(%) = 3,52; Média geral: 129,09; **Significativo, a 1% de probabilidade

ANEXO B**Pág.**

TABELA 1B Análise de variância dos dados de diâmetro do ramo ortotrópico associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....79

TABELA 2B Análise de variância dos dados de diâmetro do ramo ortotrópico associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....79

TABELA 1B Análise de variância dos dados de diâmetro do ramo ortotrópico associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	5,677323**
GDD	11	2,504138**
Erro	66	0,019248

CV(%) = 4,50; Média geral: 3,08; **Significativo, a 1% de probabilidade

TABELA 2B Análise de variância dos dados de diâmetro do ramo ortotrópico associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	6,986857**
DAP	11	1,781395**
Erro	66	0,030566

CV(%) = 5,57; Média geral: 3,14; **Significativo, a 1% de probabilidade

ANEXO C**Pág.**

TABELA 1C Análise de variância dos dados de diâmetro de copa associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....80

TABELA 2C Análise de variância dos dados de diâmetro de copa associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....80

TABELA 1C Análise de variância dos dados de diâmetro de copa associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	6217,455491**
GDD	11	1872,524627**
Erro	66	25,111761

CV(%) = 4,02; Média geral: 124,66; **Significativo, a 1% de probabilidade

TABELA 2C Análise de variância dos dados de diâmetro de copa associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	7378,497352**
DAP	11	1379,792723**
Erro	66	26,441161

CV(%) = 4,10; Média geral: 125,31; **Significativo, a 1% de probabilidade

ANEXO D**Pág.**

TABELA 1D Análise de variância dos dados de comprimento do ramo plagiotrópico associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....81

TABELA 2D Análise de variância dos dados de comprimento do ramo plagiotrópico associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....81

TABELA 1D Análise de variância dos dados de comprimento do ramo plagiotrópico associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	2383,141852**
GDD	11	383,700494**
Erro	66	12,882432

CV(%) = 5,59; Média geral: 64,15; **Significativo, a 1% de probabilidade

TABELA 2D Análise de variância dos dados de comprimento do ramo plagiotrópico associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	2709,235588**
DAP	11	272,675973**
Erro	66	11,929663

CV(%) = 5,38; Média geral: 64,25; **Significativo, a 1% de probabilidade

ANEXO E**Pág.**

TABELA 1E Análise de variância dos dados de número de internódios do ramo plagiotrópico associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....82

TABELA 2E Análise de variância dos dados de número de internódios do ramo plagiotrópico associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....82

TABELA 1E Análise de variância dos dados de número de internódios do ramo plagiotrópico associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	108,644637**
GDD	11	88,680845**
Erro	66	0,633275

CV(%) = 3,87; Média geral: 20,56; ** Significativo, a 1% de probabilidade

TABELA 2E Análise de variância dos dados de número de internódios do ramo plagiotrópico associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	128,679999**
DAP	11	69,918768**
Erro	66	0,573923

CV(%) = 3,66; Média geral: 20,68; ** Significativo, a 1% de probabilidade

ANEXO F**Pág.**

TABELA 1F Análise de variância dos dados de número de pares de ramos plagiotrópicos associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....83

TABELA 2F Análise de variância dos dados de número de pares de ramos plagiotrópicos associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.....83

TABELA 1F Análise de variância dos dados de número de pares de ramos plagiotrópicos associados aos graus-dia de desenvolvimento (GDD), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	117,341396**
GDD	11	83,685341**
Erro	66	1,105496

CV(%) = 5,48; Média geral: 19,19; **Significativo, a 1% de probabilidade

TABELA 2F Análise de variância dos dados de número de pares de ramos plagiotrópico associados aos dias após plantio (DAP), em diferentes datas de plantio (DP). Lavras, MG, 2005.

Fonte de variação	GL	QM
DP	6	141,634855**
DAP	11	61,863316**
Erro	66	1,456390

CV(%) = 6,20; Média geral: 19,47; **Significativo, a 1% de probabilidade