

**CONSUMO DE ÁGUA E VIABILIDADE
TÉCNICA E ECONÔMICA DA
CAFEICULTURA IRRIGADA POR PIVÔ
CENTRAL**

ANTONIO CARLOS DA SILVA

2009

ANTONIO CARLOS DA SILVA

**CONSUMO DE ÁGUA E VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
CAFEICULTURA IRRIGADA POR PIVÔ CENTRAL**

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

Orientador:

Prof. Dr . Luiz Antônio Lima

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009**

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

Silva, Antonio Carlos da.

Consumo de água e viabilidade técnica e econômica da
cafeicultura irrigada por pivô central / Antonio Carlos da Silva.

– Lavras : UFLA, 2009.

92 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Luiz Antônio Lima.

Bibliografia.

1. Consumo de água. 2. Irrigação. 3. Café. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.7387

ANTONIO CARLOS DA SILVA

**CONSUMO DE ÁGUA E VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA
CAFEICULTURA IRRIGADA POR PIVÔ CENTRAL**

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

APROVADA em: 20 de fevereiro de 2009

Prof. Dr. Adão Wagner Pêgo Evangelista UFG

Pesq.^(a) Dra. Fátima Conceição Rezende UFLA

Pesq. Dr. José Maria Pinto EMBRAPA SEMI-ÁRIDO

Pesq.^(a) Dr. Myriane Stela Scalco UFLA

Prof. Dr. Luiz Antônio Lima
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

OFEREÇO

A Deus;

Aos meus pais Lindeberg Naves

da Silva e Ana Luiza de Carvalho Silva,

pelo amor, apoio e dedicação e aos meus irmãos

Ana, Marta, Cristina e Carla, pela a amizade e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder o “*dom da vida*”, e uma família que sempre me apoiou, pelas oportunidades e dons a mim ofertados.

Aos meus pais, Lindenberg Naves da Silva e Ana Luiza de Carvalho Silva, pelo exemplo de vida, dedicação, esforço, sabedoria e sacrifícios para a educação e boa formação de seus filhos.

Aos meus irmãos Ana, Marta, Cristina e Carla.

Ao professor Luiz Antônio Lima, professor orientador, pela orientação, ensinamentos, paciência, amizade e consideração principalmente confiança, fatores essenciais para realização deste trabalho.

Ao professor Adão Wagner Pêgo Evangelista, co-orientador, pela amizade, inúmeras e imprescindíveis sugestões e por contribuir significativamente para minha formação.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia que contribuíram para minha formação.

Aos amigos de curso: Marcus Vinícius, Eduardo Inácio, Ednaldo Liberato, Reinaldo, Kátia Daniela, Marcelo Furtine, Luiz César, Natalino, Marcelo Viola, Daniel Brasil, Juliana, pela amizade, confiança, convivência e apoio e ajuda sem os quais seria difícil esta longa jornada.

Aos amigos Gilberto e Carla, pela convivência e amizade.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realizar o doutorado.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, Neném (Oswaldo) e José Luiz, pelo auxílio com material e ajuda no experimento.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que contribuíram, de forma direta e indireta, para esta conquista,

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUÇÃO	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 Necessidades hídricas e o ciclo fenológico do cafeeiro	5
2.2 Manejo da irrigação e influência na produção	7
2.3 Evapotranspiração de referência (ET _o)	10
2.4 Evapotranspiração da cultura (ET _c).....	12
2.5 Coeficiente de cultura (K _c).....	13
2.6 Balanço hídrico do solo	16
2.6.1 Precipitação pluvial e irrigação.....	18
2.6.2 Escoamento superficial	18
2.6.3 Drenagem interna e ascensão capilar	19
2.6.4 Variação de armazenamento	19
2.7 Qualidade de grãos.....	20
2.8 Análise econômica	22
2.8.1 Custos de produção	23
2.9 Considerações finais	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Caracterização da área experimental	26
3.2 Delineamento estatístico	27
3.3 Caracterização físico-hídrica do solo.....	28
3.3.1 Classe textural.....	28
3.3.2 Densidade do solo (ρ_s)	28
3.3.3 Densidade de partículas (ρ_p)	28

3.3.4 Retenção de água no solo.....	28
3.3.5 Condutividade hidráulica do solo não saturado ($K(\theta)$).....	29
3.4 Balanço de água no solo	31
3.4.1 Precipitação (P) e escoamento superficial (ES).....	31
3.4.2 Irrigação (I).....	33
3.4.3 Armazenamento de água no solo (ARM)	33
3.4.4 Drenagem interna e ascensão capilar (D e C).....	35
3.5 Períodos de monitoramento	36
3.6 Cálculo dos valores de K_c	37
3.7 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o)	37
3.8 Comportamento dos valores de potencial matricial de água no solo (h-kPa).....	39
3.9 Produtividade e qualidade do café	39
3.10 Estimativa do custo de produção	40
3.10.1 Custo fixo.....	40
3.10.2 Custo variável	42
3.10.3 Custo alternativo fixo.....	44
3.10.4 Análise econômica simplificada	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 Caracterização físico-hídrica do solo.....	46
4.1.1 Classe textural.....	46
4.1.2 Densidade do solo e de partículas	46
4.1.3 Curva de retenção de água no solo	47
4.1.4 Capacidade de campo (θ_{cc})	49
4.1.5 Condutividade hidráulica (K)	49
4.2 Comportamento dos valores de potencial matricial de água no Solo (h-kPa).....	49
4.3 Balanço hídrico	59
4.3.1 Precipitação e irrigação (P e I).....	59
4.3.2 Escoamento superficial	61

4.3.3 Armazenamento de água no solo	61
4.3.5 Evapotranspiração da cultura (ETc).....	65
4.4 Coeficiente de cultura (Kc) e produto entre Kc e Kp	67
4.5 Características de produção	69
4.6 Qualidade do café	74
4.6.1 Granulometria dos grãos	74
4.6.2 Número de defeitos e tipo de bebida.....	76
4.7.1 Análise econômica simplificada	80
4.7.2 Ponto de nivelamento.....	81
5 CONCLUSÕES	82
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

RESUMO

SILVA, Antonio Carlos da. **Consumo de água e viabilidade técnica e econômica da cafeicultura irrigada por pivô central**. 2009. 92p. Tese (Doutorado em Engenharia de Agrícola. Engenharia de Água e Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. ¹

Este trabalho teve como objetivo monitorar o regime hídrico e climático, calcular a evapotranspiração e o coeficiente de cultura (Kc) em diferentes períodos, utilizando-se o método do balanço hídrico, e determinar a produtividade do cafeeiro “Rubi”, irrigado por pivô central. O experimento foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG-UFLA). A metodologia empregada para determinar o consumo de água do cafeeiro consistiu na determinação do coeficiente da cultura (Kc). Para isso, foi realizado o balanço de água no solo, na região do sistema radicular da planta. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com 6 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos corresponderam à lâmina de água aplicadas em função de percentagens de valores de Kc pré-definidos, ou seja: 60%, 80%, 100%, 120% e 140% do valor de Kc, além de um tratamento sem irrigação (testemunha), totalizando dessa forma 18 parcelas. Em cada parcela considerou-se 08 plantas. Os valores de evapotranspiração da cultura (ETc) do café encontrados foram de 3,46, 5,96 e 5,46 mm d⁻¹, para os períodos , B, C e D do ano de 2007, respectivamente. Nos períodos A e B do ano de 2008, os valores de ETc foram de 5,57 e 3,07 mm d⁻¹, respectivamente, com valor médio de 4,70 mm d⁻¹. Os valores de Kc do café encontrados para os períodos A (Jan-Mar), B (Abr-Jul), C (Ago-Out) e D (Nov-Dez) foram de 1,32, 1,06, 1,34, 1,23, respectivamente, e os valores estimados do produto entre Kp e Kc para os mesmos períodos foram de 1,02, 0,92, 0,97 e 1,08. As produtividades médias dos tratamentos foram de 27,45 sacas ha⁻¹ safra 2007 e 78,96 sacas ha⁻¹ safra 2008. Para a lâmina calculada com base em 100% de Kc (Tr 04), considerado o melhor tratamento, a produtividade média foi 104,08 sacas ha⁻¹ (safra 2008) sendo 139% superior a produtividade apresentada pelo tratamento não irrigado (Tr 01). A irrigação por pivô central da cultura do café utilizando as lâminas de irrigação calculadas com os valores de Kc encontrados neste trabalho é viável economicamente para o município de Lavras, MG.

¹ Comitê de orientação: Luiz Antônio Lima – DEG/UFLA (Orientador), Adão Wagner Pêgo Evangelista – DEG/UFLA (Co-orientador).

ABSTRACT

SILVA, Antonio Carlos da. **Water use in different stages and yield of Center pivot irrigated coffee** . 2009. 92p. Dissertation (Doctorate program in Agricultural Engineering. Soil and water engineering) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. ²

The present work monitored the water and weather regime to estimate the evapotranspiration and Kc coefficients in different periods, by calculating the water balance and measuring the coffee yield of cultivar “Rubi” irrigated by center pivot. The experiment was carried out at the experimental area of Engineering Department of Federal University of Lavras (DEG-UFLA), on a coffee crop irrigated by center pivot. The methodology used to estimate water consumption by coffee plants was based on Kc value determination. To do so, a water balance was calculated at root zone. The statistical design was randomized blocks with 6 treatment levels and 3 replicates. The treatment levels were set by water depth applied as percentage of Kc values predefined and used by farmers at the region, established as 60%, 80%, 100%, 120% e 140% of the predefined Kc value for a given period, including a control (non irrigated) level, totalizing 18 plots, being considered at each one eight effective plants for measurements. The coffee evapotranspiration rates measured were 3.46, 5.96 and 5,46 mm/day for periods B(April-July), C(Aug-Oct) and D(Nov-Dec) 2007, respectively. At periods A(Jan-Mar) and B (2008), the ETc values were 5.57 and 3.07, respectively, with an average value of 4.70 mm/day. According to results obtained the Kc values found for the best treatments were 1.32, 1.06, 1.34 and 1.23, respectively for periods A, B, C and D. The estimated values of Kp (pan coefficient) times Kc for the same periods were 1.02, 0.92, 0.97 and 1.08. The production for year 2006/2007 and 2007/2008 were, respectively, 27.45 and 78.96 bags/ha. The yield obtained for the best treatment level (treatment 4) was, in 2007/2008, 104.08 bags/ha, being 139% higher than the non irrigated treatment (treatment 1). Coffee irrigation by center pivot at Lavras region can be considered as economical and technical viable procedure.

² Guidance committee: Luiz Antônio Lima – DEG/UFLA (Major professor), Adão Wagner Pêgo Evangelista – DEG/UFLA.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura característica das regiões intertropicais, pois necessita de um clima quente e úmido. Introduzida no Brasil desde o século XVIII, a cafeicultura expandiu-se de maneira muito rápida, passando a ser um dos principais produtos agrícolas do país. O Estado brasileiro maior produtor de café é Minas Gerais, cuja maior produção está concentrada no sul do estado. No entanto, o cerrado mineiro, nos últimos anos, também vem se destacando devido à cafeicultura irrigada.

Reconhecidamente, o cafeeiro é afetado pela seca com a conseqüente redução da produção. A introdução de novas tecnologias factíveis de serem adotadas pelos produtores e de uma política financeira que incentive o plantio do café, sem dúvida, propiciarão um aumento da área cultivada, além de atenuarem os problemas de deficiência hídrica, prejudiciais ao cafeeiro principalmente na fase de frutificação, em que a irrigação torna-se necessária. A irrigação tem sido utilizada com o propósito de estimular o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro, aumentar a produção e obter grãos e bebida de melhor qualidade.

A deficiência hídrica pode comprometer os processos bioquímicos e fisiológicos da planta, retardando, o desenvolvimento e o crescimento da cultura, resultando em uma redução da produtividade agrícola. Assim, evidencia-se a importância da identificação de métodos de determinação das necessidades hídricas que melhor se ajustem às condições locais, levando em consideração o solo, o clima, o desenvolvimento da cultura e o sistema de irrigação utilizado.

O conhecimento da forma que as plantas utilizam a água no solo e de como respondem aos níveis de disponibilidade a partir do balanço hídrico, pode ser uma alternativa viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo da irrigação visando o melhor uso possível das reservas de água no solo

pelas culturas. Ainda são poucas as informações sobre o suprimento ideal de água ao cafeeiro, e na literatura há controvérsias quanto ao efeito da irrigação sobre a bienalidade desta cultura, o que demanda a realização de mais pesquisas. Também, não existem critérios definitivos de manejo da irrigação, no que se refere a dois fatores: quando irrigar (turno de rega fixo ou variável) e quanto irrigar (lâmina total necessária).

A importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos de déficit hídrico para a cultura, está relacionada não somente ao conhecimento dos fatores que o compõem, como também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço.

Na agricultura irrigada é fundamental o conhecimento das necessidades hídricas das culturas. A evapotranspiração é objeto de muitas pesquisas, principalmente com vistas ao planejamento da irrigação de diferentes culturas em várias partes do mundo. A transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera ocorre de forma passiva, em resposta às diferenças de potencial de água no solo. O consumo de água de uma cultura depende diretamente da demanda energética atmosférica, do conteúdo de água no solo e da resistência da planta à perda de água para a atmosfera. Sendo assim, torna-se necessário o estudo de parâmetros de apoio para cálculo da necessidade hídrica da planta, como o coeficiente de cultura (K_c), que se apresenta como um indicador de significado físico e biológico importante na tomada de decisão agrícola.

Assim, com este trabalho objetivou-se determinar o consumo de água do cafeeiro, utilizando-se o método do balanço hídrico, estimar a evapotranspiração e o coeficiente K_c em diferentes períodos, e determinar a produtividade do cafeeiro “Rubi” irrigado por pivô central na região de Lavras, MG.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Necessidades hídricas e o ciclo fenológico do cafeeiro

O clima influencia direta e indiretamente as atividades agrícolas e pecuárias, através dos elementos meteorológicos, como a precipitação, temperatura, umidade do ar, vento e radiação, principalmente. Portanto, para o sucesso de qualquer atividade agrícola e mais especificamente de qualquer cultura, é imprescindível o conhecimento da faixa ótima e dos limites permissíveis das variáveis climáticas em relação à cultura de interesse.

Com relação ao cafeeiro, as exigências climáticas são bem conhecidas. De acordo com Matiello et al. (2005), as principais climáticas que influenciam no processo de produção de café são, principalmente, a temperatura e a chuva e, em menor escala, os ventos, a luminosidade e a umidade do ar.

A água é de vital importância no ciclo de qualquer cultura, pois é o principal fator responsável pela absorção e transporte de nutrientes. Para vegetar e frutificar, o cafeeiro necessita de água facilmente disponível no solo. Dentre os fatores que interferem na disponibilidade de água, os climáticos são os mais relevantes, principalmente a precipitação e a temperatura (Vilella, 2001; Oliveira, 2003).

Conforme o zoneamento climático realizado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (2007) é considerado apto ao cultivo, áreas com déficit hídrico anual inferior a 150 mm e temperatura média anual (Tma) entre 18 e 23,5°C, ficando a faixa ideal, segundo vários autores, entre 19 e 21°C (Matiello et al., 1974; Camargo, 1985; Thomaziello et al., 1999). Considera-se ainda, aptas com irrigação, áreas com Tma entre 23,5 e 24°C e déficit hídrico anual superior a 150 mm, e inaptas, áreas de Tma inferior a 18°C ou superior a 24°C.

Mesmo as regiões climaticamente aptas ao cultivo do cafeeiro estão sujeitas ao efeito de estiagens (veranicos) que podem comprometer a produção. No entanto, o aumento da eficiência da prática irrigacionista exige, em primeiro lugar, informações sobre o consumo hídrico do cafeeiro, que são escassas.

Informações na literatura indicam que a baixa disponibilidade de água no solo afeta os processos fisiológicos associados à produção de biomassa e, conseqüentemente, a produtividade do cafeeiro. Embora seus efeitos dependam da duração, intensidade e estágio fenológico da cultura, o déficit hídrico limita o crescimento vegetativo, formação e maturação dos grãos (Camargo, 1987; Maia, 2004). Segundo Camargo (1987), o ciclo fenológico do cafeeiro no centro-sul do Brasil é bem definido e compreende quatro fases distintas: florescimento na primavera; expansão rápida (chumbinho) e enchimento de grãos no verão; maturação no outono; abotoamento e dormência no outono/inverno.. Em experimentos já realizados, o uso de irrigação diminuiu o percentual de flores “estrelinhas” de 57% a menos de 5%, ou até aos valores praticamente nulos (Rena; Maestri, 1987; Thomaziello et al., 1999).

Na fase chumbinho (outubro a dezembro), o déficit hídrico atrasa o crescimento dos frutos, podendo ocasionar a sua queda ou pequeno crescimento do pergaminho, resultando em “peneira baixa”, ou seja, grãos depreciados para comercialização (Camargo, 1987). O tamanho final do grão depende acentuadamente da precipitação ocorrida entre 10^a e 17^a semana após o florescimento, período este considerado de expansão rápida do fruto (Rena; Maestri, 1987). De janeiro a março, dependendo da intensidade, o déficit hídrico pode causar a má formação de grãos, resultando em alto percentual de frutos chochos ou mal granados (Miguel et al., 1976; Freire; Miguel, 1984, Camargo, 1984). Este último autor observou, em Campinas (SP), que a supressão de água durante a granação foi responsável por um índice de chochamento de 45%.

Nos estádios de maturação e abotoamento (abril a junho), o déficit hídrico não afeta a produtividade do ano, porém prejudica seriamente a produção do ano seguinte. Por outro lado, durante a fase de dormência (julho a setembro), a deficiência hídrica pode até ser benéfica, pelo fato de condicionar um florescimento abundante após chuvas ou irrigações, no final da fase, proporcionando uma frutificação e maturação uniforme na safra seguinte (Camargo, 1987).

2.2 Manejo da irrigação e influência na produção

O limite de produção de uma cultura é determinado pelo seu potencial genético, pelas condições nutricionais e climáticas. Alcançar esse limite dependerá sempre da consonância entre os aspectos de engenharia de suprimento de água e as necessidades biológicas da cultura. Os fatores de solo, de planta e de atmosfera interagem entre si, determinando a produtividade das culturas agrícolas. Certamente existe relação funcional entre esses fatores e a produção das culturas, característica de cada condição ambiental. Diante disso, a resposta das culturas à irrigação pode variar em diferentes solos, climas e também em decorrência da quantidade e frequência da aplicação de água (Frizzone, 2005).

A deficiência hídrica é prejudicial ao cafeeiro, principalmente na fase de frutificação, onde a irrigação passa a ser necessária. Nessas condições, a utilização da irrigação tem resultado em excelente retorno, aumentando significativamente a produção (Matiello, 1991).

Segundo Silva et al. (2003), os benefícios da irrigação para uma determinada cultura só podem ser alcançados em toda sua plenitude quando o sistema de irrigação for utilizado com critérios de manejo que resultem em aplicações de água em quantidades compatíveis com as necessidades da cultura. Ressalta-se que qualquer estratégia de manejo de irrigação deve ser alicerçada nas curvas de consumo de água das culturas e para determinação do momento

exato para efetuar a irrigação torna-se necessário racionalizar o manejo de água na agricultura irrigada. A programação adequada de um manejo de irrigação consiste em suprir integralmente as necessidades de água, nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura.

Como a cafeicultura irrigada é uma atividade que só se justifica com alto nível de manejo e tecnificação, é necessário que os cafeicultores conheçam bem essa estrutura de produção e os custos associados a ela (Mendonça, 2001).

A maioria dos trabalhos experimentais sobre a irrigação do cafeeiro tem demonstrado aumentos da ordem de 20 a 30 sacas beneficiadas por hectare, independentemente do sistema utilizado, e dependente da região em estudo (Santinato, 2001). Inclusive, o uso da irrigação suplementar tem se mostrado vantajosa até em locais com períodos curtos de deficiência hídrica (Mantovani, 2000), desde que coincidam com as fases críticas da cultura. Soares et al. (1993) também concluíram que a produtividade tende a aumentar com a uniformidade de irrigação.

Silva et al. (2003), em trabalho conduzido na região Sul do estado de Minas Gerais, com a cultura de café, variedade Catuaí com 17 anos de idade, verificaram que a irrigação por gotejamento promovida de forma suplementar no período de junho a outubro proporcionou produtividade média de aproximadamente 55 sacas de café beneficiado por hectare. Segundo os autores, esta produtividade foi 114% superior àquela obtida com os tratamentos não irrigados. Nesta mesma região, em lavoura de café, variedade Rubi, em fase de formação com 4,5 anos de idade, irrigada por pivô central, a aplicação de lâminas de irrigação correspondentes a 60% da evaporação do tanque Classe "A" proporcionou a melhor média de produtividade em 3 safras consecutivas (49 sacas ha⁻¹), representado um aumento de 230% na produtividade.

Os parâmetros de produção das lavouras de café são, sem dúvida, os mais estudados nos trabalhos de pesquisa, por estarem relacionados diretamente

com a rentabilidade dos produtores. Trabalhos, como o de Rotondano (2003), têm mostrado que a irrigação contribui significativamente para o aumento de produtividade. Esse autor, trabalhando com cafeeiros da variedade cultivada Rubi-1192 em Uberlândia-MG, no primeiro ano de produção, e testando diferentes lâminas de irrigação com base na evaporação da água do tanque classe A (ECA), encontrou produtividades com incremento de 64,13 sacas de café beneficiado por hectare, em relação ao tratamento sem irrigação, sendo de 137,5% da ECA a lâmina que proporcionou tal produtividade.

Faria et al. (2002) avaliaram a produtividade das três primeiras safras do cafeeiro da variedade cultivada Acaiá, sob diferentes lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento, em Lavras-MG. A lâmina correspondente a 100% da ECA proporcionou produtividade superior em 74,63%, quando comparada a do tratamento sem irrigação. Outros trabalhos, como o de Mantovani et al. (2003), apresentaram produtividades 59% superiores para os tratamentos irrigados.

Soares (2005), objetivando estudar os efeitos da irrigação localizada por gotejamento sobre a produção do cafeeiro, variedade cultivada Rubi em Patrocínio-MG, instalou um experimento onde as lâminas de irrigação foram aplicadas com base na evapotranspiração da cultura nas proporções de 0% (testemunha), 35%, 50%, 75%, 100%, 125% e 150%. O turno de rega era variável e o manejo da irrigação realizado pelo aplicativo computacional IRRIGA- GESAI para o tratamento 100%, sendo os demais índices aplicados a partir do valor calculado neste. O autor avaliou a produtividade das plantas e observou que a lâmina correspondente a 75% da ETC e superiores, apresentaram resultados semelhantes estatisticamente e bastante além do tratamento testemunha, provando que a irrigação foi altamente benéfica para cafeeiros cultivados nessa região.

Definir quanto irrigar envolve o conhecimento de três fatores principais: o clima (temperatura e quantidade de chuva), o solo (capacidade de retenção de

água) e as exigências hídricas do cafeeiro. Devido às dificuldades de se chegar a um consenso sobre a melhor forma de manejo, um método bastante utilizado consiste em repor ao solo a quantidade de água transferida para a atmosfera através da ET_{pc} (evapotranspiração potencial da cultura). Mas, para calcular a ET_{pc}, é necessário quantificar a evaporação de uma superfície livre de água, o K_p (coeficiente do tanque “Classe A”) e o K_c (coeficiente de cultivo) (Gomide, 1998), que é um método recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 1985). A utilização do método do Tanque Classe “A” para o manejo da irrigação possui algumas vantagens, dentre elas o custo relativamente baixo, a possibilidade de instalação próxima à cultura a ser irrigada, a facilidade de operação e a boa estimativa da demanda hídrica das culturas.

2.3 Evapotranspiração de referência (ET_o)

O conceito de evapotranspiração de referência foi introduzido para estudar a demanda evaporativa da atmosfera, independentemente do tipo, das práticas de manejo e do desenvolvimento dessa cultura. Como a água é abundante e está sempre disponível, o solo não é considerado um fator influenciador na absorção de água pela cultura de referência. Obedecendo todos esses procedimentos, os valores de ET_o medidos ou calculados em diferentes locais e estações podem ser comparados, pois o único parâmetro variável é o de ordem climático (Allen et al., 1998).

De acordo com Thornthwaite (1948), citado por Pereira et al. (1997), o termo evapotranspiração potencial (ET_p) expressa a ocorrência simultânea dos processos de transpiração e evaporação de uma extensa superfície gramada, sem restrição hídrica e em crescimento ativo. Assim definida, a ET_p representa um elemento climatológico que corresponde ao processo oposto da chuva, sendo expressa na mesma unidade de medida (mm), tornando possível a estimativa da

demanda hídrica da cultura das condições ou disponibilidade de água no solo através do balanço hídrico climatológico.

A evapotranspiração pode ser determinada por meio de medidas diretas ou por modelos que levam em consideração a utilização de elementos meteorológicos. No primeiro grupo são utilizados diversos tipos de lisímetros, além do método de balanço de água no solo; já no segundo grupo são utilizados modelos teóricos, empíricos e evaporímetros, como o Tanque Classe “A”.

Segundo Peres et al. (1995), apesar de fornecerem as melhores estimativas de evapotranspiração, os métodos diretos são de difícil operacionalidade, motivo pelo qual seu uso se restringe basicamente a centros de pesquisa visando calibrar os métodos do segundo grupo. Devido a essas dificuldades, vários métodos teóricos e empíricos foram desenvolvidos com o intuito de estimar a evapotranspiração, sendo alguns bastante simples, os quais necessitam somente da temperatura do ar como variável climática, e outros com uma configuração teórica mais complexa, que requerem um maior número de elementos meteorológicos na sua utilização.

O Boletim 24 da Food and Agriculture Organization (FAO), preparado por Doorenbos & Pruitt (1977), utilizou o conceito de ET_p , como referência para estimar as necessidades hídricas das culturas, explicitando que a grama deve ter entre 0,08 a 0,15 m de altura para melhor caracterizar a superfície foliar transpirante. Em 1990, a FAO reuniu uma equipe de especialistas em evapotranspiração para rever esse boletim. A partir dessa reunião parametrizou-se o método de Penman-Monteith (FAO) como o mais indicado para estimar a evapotranspiração de uma cultura na escala diária (Pereira et al. 1997). A adoção desse boletim pela comunidade irrigante consagrou o termo evapotranspiração de referência (ET_0) introduzido por (Jensen et al. 1971).

Segundo Medeiros (2002), o método Penman-Monteith (FAO) é uma referência internacional e representa uma cultura hipotética que permite a

obtenção de resultados confiáveis do potencial de evapotranspiração de um local. Allen et al. (1998), em trabalhos recentes, redefiniu ET_0 como sendo aquela de um gramado hipotético, com altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da superfície ao transporte de vapor d'água igual a 70 s m^{-1} . Para um gramado com essas condições, o índice de área foliar (IAF) está em torno de $3,0 \text{ m}^2$ de área foliar por m^2 de terreno ocupado, assemelhando-se a uma superfície verde, sombreando totalmente o solo, bem suprida de umidade e em crescimento ativo.

No estado de São Paulo, o modelo de Penman-Monteith foi estudado por Peres (1994) na estimativa da ET_0 em três localidades, originando resultados consistentes e bem correlacionados com os valores medidos em evapotranspirômetros, indicando que o método pode ser utilizado com sucesso na determinação das necessidades hídricas das culturas. Em Piracicaba - SP, Sentelhas (1998) também verificou que o método de Penman-Monteith apresentou estimativas melhores da ET_0 , quando comparado com o método de Penman e Priestley-Taylor, utilizando o lisímetro de pesagem como referência.

Segundo Lima (2006), a evapotranspiração média diária para região de Lavras, nas estações de outono, inverno e primavera de 2003 foi de 2,77 mm, 3,24 mm e 4,21 mm, respectivamente. Nas estações de verão, outono e inverno de 2004, foram de 3,81, 2,47 e 3,36 mm, respectivamente.

2.4 Evapotranspiração da cultura (ET_c)

A determinação da evapotranspiração do cafeeiro, assim como os coeficientes utilizados no manejo da irrigação, tem sido o grande desafio dos pesquisadores, os quais procuram caracterizar regionalmente esses fatores buscando a condição ideal de suprimento hídrico da cultura e a preservação dos mananciais de captação (Bernardo, 1995).

Uma cultura cresce progressivamente e ocupa uma área disponível desde o plantio até a sua colheita. Evidentemente, nessas condições ocorre a evapotranspiração real, que na prática é denominada evapotranspiração da cultura (ET_c). Doorenbos & Kassam (1994) chamaram ET_c de evapotranspiração máxima.

O conhecimento da ET_c permite estimar a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção da cultura em condições ideais. Em condições de campo, os lisímetros e o balanço hídrico são os métodos mais utilizados para a determinação da ET_c . O conhecimento da evapotranspiração de uma cultura, ao longo de seu ciclo, e de seu coeficiente de cultura é de grande importância para o dimensionamento e o manejo de sistemas de irrigação. Isso contribui para o aumento da produtividade e para a otimização da utilização dos recursos hídricos, da energia elétrica e dos equipamentos de irrigação (Miranda et al. 1999). A evapotranspiração da cultura, ET_c , é estimada por duas abordagens clássicas, isto é: com base em informações meteorológicas e uso de modelos matemáticos (empíricos, semiempíricos e físicos, dentre os quais está o de Penman-Monteith preconizado pela FAO como modelo padrão), ou com base em medições diretas da evapotranspiração, seja pelo balanço de água no solo ou pelo uso de lisímetros vegetados com a cultura de referência em estações climatológicas.

2.5 Coeficiente de cultura (K_c)

O coeficiente de cultura é um indicador de significado físico e biológico, uma vez que depende da área foliar, da arquitetura (parte aérea e sistema radicular da planta), da cobertura vegetal e da transpiração da planta (Allen et al., 1994). Na definição de seus valores não é considerada diretamente, para efeito de cálculo, a superfície transpirante, que depende da população e da distribuição de plantas, bem como, do manejo da cultura em relação às plantas

daninhas. No decorrer do período vegetativo, o valor de K_c muda de acordo com o crescimento e o desenvolvimento da cultura, variando também com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação (Sediyama et al., 1998). Os mesmos autores ressaltam, ainda, que o K_c pode variar com a textura e o teor de água do solo, com a profundidade e a densidade do sistema radicular e com as características fenológicas da planta. Assim, o conceito de K_c tem sido usado extensivamente para estimar a necessidade real de água de uma cultura particular por meio de estimativas ou medições de ET_c .

Um simples valor de K_c não pode ser estabelecido para todas as situações climáticas; portanto, deve ser determinado um coeficiente de cultura para cada estágio de desenvolvimento da cultura em estudo. Isto é o que vários resultados de pesquisas vêm demonstrando com relação à ET_c .

Em geral, nos trabalhos com irrigação em cafeeiro, o cálculo da lâmina de irrigação tem sido baseado na evaporação do tanque Classe A, nos quais os resultados obtidos nas regiões Sul e Triângulo do estado de Minas Gerais indicam que lâminas variando de 60 a 100% da evaporação do tanque Classe A são as que proporcionam maiores produtividades. No entanto, sabe-se que a adoção de um único valor para K_c para todos os meses do ano pode levar ao excesso de irrigação ou ao déficit hídrico, sendo ambos prejudiciais às plantas.

Para o cafeeiro, o manejo mais utilizado pelos produtores, considerando os espaçamentos usuais, resume-se na adoção, para a lavoura adulta, do valor de K_c recomendado por Santinato et al. (1996) de 1,1. Esta recomendação assume que a água consumida pelo cafeeiro não varia entre as fases fenológicas. Entretanto, tomando como base o citros, sabe-se, a partir de dados publicados por Doorenbos & Kassam, (1994), que o valor de K_c varia em até 15% entre as fases fenológicas. Numa tentativa de detalhar o consumo de água do cafeeiro, Oliveira (2003), determinou valores de K_c que variaram de 0,72 até 1,50 no

período de junho a setembro, para lavoura adulta. Por outro lado, França Neto et al. (2001) determinaram para a fase de maturação de frutos valores de Kc variando de 0,49 a 0,60.

Gutierrez e Meinzer (1994) encontraram valor de 0,58 para o coeficiente de cultura em cafeeiros com aproximadamente 12 meses de idade, com valores médios de 0,75 e 0,79 no período entre 24 e 48 meses de idade. Santinato et al. (1996) apresentam valores de coeficientes de cultura de café em função da idade e da densidade de plantas, iguais a 0,6; 0,7 e 0,8 em lavouras com 12 meses e densidades de 2500, 3300 e 6700 plantas.ha⁻¹, respectivamente. Arruda et al. (2000) obtiveram valores de coeficientes de cultura (Kc) 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.

Para cafezais com manejo adequado e altura de 2 a 3 m, em clima subúmido, Allen et al. (1998) propõem Kc entre 0,90 e 0,95 e entre 1,05 e 1,10, respectivamente, na ausência e na presença de plantas daninhas, com a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith.

Para Carr (2001), sabe-se pouco sobre o consumo hídrico do cafeeiro, principalmente durante as diferentes fases fenológicas da cultura. Rocha et al. (2006) encontraram, para a cultivar Catuaí, cultivada em Planaltina-DF, valores de Kc entre 0,5 e 0,8, para plantas com até dois anos de idade, nos períodos de junho a agosto, e setembro a maio, respectivamente. Para cafeeiros com mais de dois anos de idade, os autores encontraram valores de 1,0 e 1,25, para os mesmos períodos. Segundo Guerra et al. (2005), os valores de Kc para o período de maior demanda nas condições climáticas do cerrado são, em média, 25% maiores que os encontrados na literatura.

Verificou-se pela divergência dos valores do coeficiente de cultivo do cafeeiro, que não existe até então um consenso sobre qual índice adotar. Uma das possíveis explicações desse fato é a de que na atividade cafeeira existem

muitas variedades cultivadas (de porte alto e baixo) e diversos espaçamentos e tratos culturais possíveis de serem adotados, sendo que cada combinação pode influenciar nos valores desse coeficiente.

2.6 Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico do solo é fundamental, pois define as condições hídricas sob as quais a cultura se desenvolve (Reichardt, 1985). O consumo de água da planta é um importante parâmetro a ser considerado na avaliação da produtividade das culturas. Uma forma pela qual esse consumo de água (evapotranspiração) pode ser determinado é através do balanço hídrico do solo.

Para determinar a quantidade e a disponibilidade de água para as plantas é necessário um conhecimento da dinâmica da água no solo. Através da equação geral de conservação da massa é possível quantificar a água que entra e sai em um volume de solo durante um determinado período de tempo. Diversos autores citaram essa equação como metodologia para quantificar a água disponível para as plantas, entre eles (Rose e Stern 1967); (Reichardt et al. 1979); (Hillel 1982); (Villagra et al. 1995) e (Timm 2002). Segundo Tubelis e Nascimento (1992), o balanço hídrico indica a contabilização da água do solo, representando o balanço entre o que entrou e o que saiu de água.

Segundo Carvalho (2008) em cafeeiros conduzidos sob regime de sequeiro, a produção está diretamente ligada à condição do clima durante o período de florescimento e desenvolvimento vegetativo. Dentre os fatores climáticos podem ser citadas a temperatura e a chuva como os principais. Por outro lado, em ambiente irrigado a falta ou a irregularidade das chuvas deixa de ser um problema, desde que as quantidades de água aplicadas estejam de acordo com a demanda hídrica da planta, para que nem a falta nem o excesso sejam verificados, uma vez que as duas situações são indesejáveis. Nesse sentido, o balanço hídrico climatológico pode ser usado para quantificar as entradas e

saídas de água do solo e com isso, o nível de armazenamento atual da água contida no mesmo. Dessa forma, pode-se usá-lo como um aferidor das quantidades de água aplicadas pelos diversos tratamentos irrigados em referência à capacidade máxima de armazenamento da água do solo, indicando quando há excesso ou deficiência hídrica.

Os valores de balanço hídrico (entradas - saídas) podem indicar excedentes hídricos ou deficiência hídrica ou falta de água. Ocorre excedente de água sempre que a precipitação for superior à quantidade necessária para atender à evapotranspiração potencial e completar o armazenamento de água no solo. A deficiência aparece sempre que o solo não conseguir suplementar a demanda atmosférica.

De acordo com Pires et al. (2001), o manejo da irrigação pode ser realizado via balanço hídrico, desde que seja conhecida a quantidade de água aplicada pelo sistema de irrigação, a evapotranspiração da cultura e a precipitação. Segundo os autores, o balanço hídrico é simples, eficiente e de fácil manejo nas propriedades agrícolas.

A precisão do método do balanço hídrico no solo depende da precisão com que são medidos os componentes da equação de conservação de massa; a maior dificuldade reside na determinação da drenagem profunda ou ascensão capilar, mas a vantagem desse método, quando comparado com os outros que utilizam medições agrometeorológicas acima da superfície, é a facilidade de obtenção e processamento dos dados de precipitação pluvial, irrigação e variação do armazenamento de água no solo e, como principal desvantagem, são citadas as dificuldades de obtenção da evapotranspiração nos períodos chuvosos, embora, este método não seja para estimativas de evapotranspiração em base diária, porém se a drenagem profunda for bem avaliada o método será aceitável para intervalos de dois ou três dias (Silva, 2000).

Uma questão fundamental a ser mensurada é o consumo hídrico do cafeeiro, em relação ao volume de água ou à lâmina de irrigação aplicada à cultura.

2.6.1 Precipitação pluvial e irrigação

As componentes precipitação e irrigação se apresentam como as principais formas de entrada de água no volume de controle. A precipitação pode ser medida com considerável precisão por pluviômetros ou obtida por registros de pluviógrafos. De acordo com Cruz (2003), a distância da estação em relação à cultura onde é efetuado o balanço assume importância fundamental, sendo recomendável que a medida da precipitação seja feita o mais próximo possível da área experimental. A irrigação consiste na aplicação artificial de água no solo, visando manter o armazenamento em nível adequado ao pleno desenvolvimento das culturas. Para que as plantas se desenvolvam nas condições ideais é necessário que as lâminas de irrigação sejam bem quantificadas e aplicadas corretamente, de forma a não provocar o stress hídrico ou o excesso de água para as plantas.

2.6.2 Escoamento superficial

Outro elemento do balanço hídrico é o escoamento superficial, que representa um dos elementos de saída de água no perfil do solo. O escoamento superficial depende da interação entre a intensidade de precipitação e/ou a taxa de aplicação da irrigação e a capacidade de infiltração do solo, sendo ainda influenciado pelo declive da área, o tipo de densidade da cobertura vegetal e as práticas de manejo e conservação do solo e da cultura. Embora de difícil quantificação, a sua determinação pode ser alcançada pelo confronto do total precipitado acumulado com as lâminas que potencialmente o solo permite infiltrar (Reichardt, 1985; Libardi, 1999).

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.

2.6.3 Drenagem interna e ascensão capilar

Drenagem interna é a perda de água devido a movimentos descendentes dentro do perfil do solo, saindo da zona explorada pelo sistema radicular da cultura. Porém, dependendo das condições, ao invés de sair, a água pode entrar através desse limite, ocorrendo então, a ascensão capilar. Com relação ao tipo de solo, suas condições de umidade e a precipitação pluvial, as perdas por drenagem interna podem ser consideráveis. Em certos períodos pode chegar até a 60 – 70% da precipitação, embora também, muitas vezes, seja desprezível (Oliveira, 1991).

2.6.4 Variação de armazenamento

Para a quantificação do armazenamento de água num solo cultivado deve-se levar em consideração uma camada que envolve todo o volume explorado pelo sistema radicular da cultura. De acordo com Libardi (1995), a variação do armazenamento de água no solo pode ser obtida através da integração de perfis consecutivos de umidade do solo em determinado intervalo de tempo. Se a quantidade de água que entra no perfil de solo for maior que a quantidade de água que sai, o saldo será positivo; caso contrário, será negativo.

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).

2.7 Qualidade de grãos

No passado, os cafeicultores brasileiros pouco se preocupavam em produzir café de qualidade, mas hoje sabem que o preço deste produto é determinado pelo fator qualitativo. No Brasil, a qualidade do café é medida em função de duas classificações. Uma se baseia nas características físicas (tipo), através de seu aspecto e pureza, conforme a Tabela Oficial Brasileira de Classificação, do antigo Instituto Brasileiro do Café, que identifica a equivalência em defeitos (grãos pretos, quebrados, ardidos, paus, pedras, torrões, cascas, etc.). Esta classificação é questionável e muito relativa, em função das modernas máquinas de beneficiamento e rebeneficiamento, que são capazes de eliminar todas as impurezas e grãos deteriorados (Carvalho et al., 1994). Segundo esses autores, a outra forma de classificação baseia-se no aroma da bebida, sendo considerada mais importante, pois refere às suas propriedades organolépticas (fragrância, uniformidade, doçura, sabor, corpo, acidez, etc.).

A irrigação promove uma maior produtividade e qualidade do produto colhido, uma vez que plantas sujeitas ao déficit hídrico produzem grãos pequenos (peneira menor) e com nível de defeitos maior, depreciando o produto final. De acordo com Rena e Maestri (2000) o tamanho do grão de café é determinado no período compreendido entre a 15ª e 18ª semanas após a florada, quando o fruto se expande rapidamente, sendo a água a responsável por esse aumento de volume. Neste período o fornecimento de água seja pela chuva seja pela irrigação deve ser indispensável, uma vez que após essa fase, ocorre a formação do pergaminho o qual dificulta o crescimento das sementes.

Uma terceira forma de classificar o café é através da separação por peneiras, sendo os grãos quantificados segundo as dimensões dos crivos de peneiras oficiais, expressas em frações de polegadas (Leite e Silva, 2000). Esta separação é de extrema importância para uma uniforme torrefação do café, pois evita que grãos graúdos fiquem apenas tostados, e os miúdos sejam carbonizados, ao contrário da torrefação em “bica corrida” (Rotondano, 2004). Esse autor conseguiu na primeira safra do cafeeiro Rubi MG-1192, um máximo de 35,5% de grãos retidos nas peneiras 15 e 16 com a lâmina de 128,7% da ECA.

Em Lavras (MG), Vilella (2001) obteve, nos tratamentos irrigados, maior percentagem de grãos retidos nas peneiras 16 e acima, em relação ao não irrigado, o que demonstra melhor granação do café nesses tratamentos. A qualidade do café depende principalmente da forma como ele é cultivado, colhido e processado. Isso envolve não só o uso da irrigação, mas também fatores como o preparo do café (via seca ou úmida), armazenamento e torrefação. Segundo Carvalho et al. (1997), os frutos que tenham completado a maturidade fisiológica, usualmente chamados de café cereja, têm neste estágio o seu maior potencial de qualidade, pois os componentes químicos que conferem qualidade ao café já foram sintetizados.

O fruto é normalmente constituído de duas sementes planoconvexas (chatas), desde que não haja abortamento de um dos lóculos, formando-se, nesse caso, sementes arredondadas, denominadas moca. Como no momento da colheita, normalmente o cafeeiro apresenta frutos em diferentes estádios (verde, verde-cana, cereja, passa e seco), a quantidade de frutos verdes consideradas ideais para iniciar a colheita é de no máximo 5%, sendo toleráveis quantidades de até 20% que, no entanto, prejudicam a qualidade do café (Bartholo; Guimarães, 1997).

Na região do cerrado, o clima seco durante a colheita é um aliado do processamento do café, podendo a sua secagem ser feita em terreiros. Segundo Bartholo e Guimarães (1997), o tempo médio de secagem na região do Triângulo Mineiro é de 15 dias, devendo a umidade final para armazenamento estar entre 10 e 12%.

2.8 Análise econômica

Determinar a viabilidade de um empreendimento que se inicia, é fundamental para o seu sucesso. A irrigação é uma tecnologia que requer investimentos representativos e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando importante a análise econômica dos componentes envolvidos no sistema. A irrigação pode ajudar muito aos agricultores, porém os riscos da adoção de uma agricultura irrigada devem ser criteriosamente estudados e analisados, objetivando-se sempre que o incremento nos rendimentos sejam maiores que os custos. Ressalta-se que o custo da irrigação pode ser previsto por meio de uma avaliação econômica, na qual se estimam todos os dispêndios e retornos anuais esperados no projeto agrícola. O resultado dessa avaliação econômica indicará se é interessante ou não a implantação de um sistema de irrigação.

Os cafeicultores da região Sul de Minas Gerais, como os demais cafeicultores das outras regiões produtoras, precisam ser cada vez mais profissionais, competitivos e eficientes, pois, no contexto atual, as condições de risco e incertezas na cafeicultura são acentuadas, cabendo ao empresário cafeicultor considerar cada vez mais a utilização do gerenciamento da sua empresa produtora de café, tomando decisões baseadas em informações técnicas, econômicas e mercadológicas. Uma dessas informações, o custo de produção, é uma das principais ferramentas que servem como parâmetro e auxiliam o empresário cafeicultor na sua tomada de decisão, pois na cafeicultura vários

fatores contribuem para a formação do custo de produção, o que vai definir, certamente, o sucesso ou não do empresário cafeicultor na exploração desta atividade (Fontes, 2001).

2.8.1 Custos de produção

Os fundamentos teóricos ligados à tecnologia, aos preços dos insumos e à busca da eficiência na alocação dos recursos produtivos constituem a base da relação entre custo total e produção. O custo total de produção constitui-se na soma de todos os pagamentos efetuados pelo uso dos recursos e serviços, incluindo o custo alternativo do emprego dos fatores produtivos. Na teoria do custo, para efeito de planejamento, deve-se determinar o período de tempo, que pode ser de curtos ou longos prazos. No curto prazo, os recursos utilizados são classificados em custos fixos e variáveis, sendo fixos aqueles que não se incorporam totalmente ao produto e os custos variáveis, por sua vez, se incorporam ao produto, necessitando ser repostos a cada ciclo do processo produtivo (Reis, 2002).

A conceituação de alguns custos, componentes que formam o custo de produção, faz-se necessária para estudos do custo de produção. Os custos fixos (CF) são aqueles correspondentes aos insumos que têm duração superior ao curto prazo. Sua renovação se dá em longo prazo, uma vez que não se incorporam totalmente ao produto em curto prazo, fazendo-o em tantos ciclos produtivos quanto o permitir sua vida útil. Constitui-se em recursos que dificilmente serão alterados em curto prazo e independem da variação do volume produzido. Por outro lado existem os custos variáveis (CV) que referem aos recursos com duração inferior ou igual ao curto prazo, no qual se incorporam totalmente ao produto, sendo a sua recomposição feita a cada ciclo do processo produtivo e podem provocar alterações quantitativas e qualitativas no produto dentro do ciclo, sendo facilmente alteráveis. A soma dos custos fixos e variáveis

representa o custo total (CT), que corresponde a todos os custos durante o ciclo de produção da atividade agrícola para produzir certa quantidade do produto (Silva, 2002). Outra classificação, importante para a análise, divide-se em custo alternativo ou de oportunidade e custo operacional (Cop) e para facilitar as análises em termos unitários, apuram-se os custos médios (CMe).

Os custos operacionais constituem os valores correspondentes às depreciações e aos insumos empregados, equivalentes ao prazo de análise e os custos alternativos correspondem à remuneração que esses recursos teriam se fossem empregados na melhor das demais alternativas econômicas possíveis. (Reis et al., 2001). O custo econômico obtém-se da soma entre o custo operacional e o custo alternativo. O custo operacional é dividido em custo operacional fixo (CopF), composto pelas depreciações e custo operacional variável (CopV), constituído pelos desembolsos.

O custo operacional total (CopT) é a soma do custo operacional fixo e operacional variável. A finalidade dos custos operacionais na análise é a opção de decisão nos casos em que os retornos financeiros sejam inferiores a de outra alternativa, representada pelos custos de oportunidade. Neste sentido, ainda podem fazer importantes interpretações com base neste tipo de custo. (Reis, 2002). Quando se divide o custo desejado pela quantidade (q) do produto agrícola produzido naquele ciclo estudado, encontra-se o custo médio (CMe). É importante para se realizar as análises em termos unitários comparando-se com os preços do produto. Os resultados das condições de mercado e rendimento da empresa agrícola (ou atividade produtiva) são medidos pelo preço do produto ou pela receita média. A receita média pode ser considerada como o preço do produto mais o valor médio das vendas de produtos secundários (subprodutos). (Reis, 2002).

O nível de produção no qual uma atividade tem seu custo total (ou operacional total) igual à sua receita total é indicado pelo ponto de nivelamento

(qn) e de resíduo (qr). Ele mostra o nível mínimo de produção além do qual a atividade daria lucro econômico (ou resíduo positivo). O ponto de nivelamento, em que se encontra o lucro normal, é a posição cuja receita total é igual ao custo total ($RT=CT$). O ponto de resíduo é encontrado onde o resíduo é nulo e neste ponto a receita total é igual ao custo operacional total ($RT=CopT$). As estimativas de qn e qr permitem uma avaliação da situação presente estudada, com possíveis situações de otimização ou as possibilidades de se chegar a elas. (Reis, 2002). Se a empresa é capaz de ajustar-se totalmente a mudanças de circunstâncias, alterando o tamanho do empreendimento, de forma que não existem fatores fixos, trata-se da análise a longo prazo. A empresa em cada nível de produção procura otimizar esta produção com menor custo total, através da alocação ótima dos fatores produtivos. (Silva, 2002).

2.9 Considerações finais

A maior parte dos trabalhos nos quais se estuda a necessidade hídrica do cafeeiro é realizada com base no balanço hídrico climatológico, geralmente para períodos mensais, com base na metodologia desenvolvida por Thornthwaite & Mather (1955). De acordo com as revisões de literatura, o balanço hídrico é de elevada importância para avaliar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura (Kc), que se apresentam como indicadores com significados físicos e biológicos da planta, principalmente, quando associados com o ciclo fenológico da planta. Porém, pesquisas englobando o balanço hídrico no solo, particularmente voltadas para a cafeicultura, ainda são muito escassas, o que permite acentuar a importância do presente trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG-UFLA), em uma lavoura de café irrigada por pivô central. A cidade de Lavras situa-se na região sul do estado de Minas Gerais, a 21°13' de latitude sul e 44°58' de longitude oeste, numa altitude média de 918,8 m. A temperatura média anual do ar é de 19,4 °C e o total anual de precipitação pluvial, de 1530 mm (Brasil, 1992).

A variedade do cafeeiro cultivado na área é a “Rubi” plantado em março de 1999, no espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,80 m entre plantas. A área total do experimento é de aproximadamente 1,6 ha, no qual foi dividida em 18 talhões com aproximadamente 888 m² cada, visando distribuir os tratamentos, conforme Figura 1. O solo da área é classificado como Latossolo Roxo eutroférico (Embrapa, 1999). A área experimental esta localizada nas coordenadas a 21°13'14”de latitude sul e 44°58'39” de longitude oeste que corresponde ao centro do pivô.



FIGURA 1 Vista geral da área experimental.

3.2 Delineamento estatístico

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com 6 tratamentos e 3 repetições. Os tratamentos corresponderam à lâmina de água aplicadas em função de percentagens de valores de Kc atualmente utilizados por irrigantes na região, ou seja: 60%, 80%, 100%, 120% e 140% do valor de Kc, além de um tratamento onde não se efetuou a irrigação, totalizando dessa forma 18 parcelas, em cada parcela, considerou-se 08 plantas úteis, conforme visualizado na Figura 2.

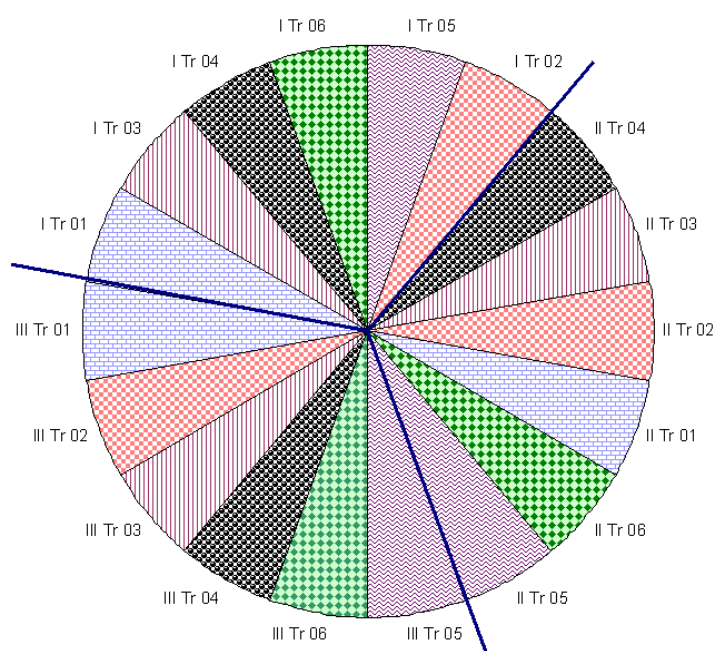


FIGURA 2 Esquema da área experimental com as 18 parcelas identificadas.

3.3 Caracterização físico-hídrica do solo

3.3.1 Classe textural

Para a determinação da textura foram retiradas amostras nas profundidades de 0,0 - 0,25; 0,25 - 0,50 e 0,50 - 0,75 m, e foi utilizado o método da pipeta.

3.3.2 Densidade do solo (ρ_s)

Foram coletadas amostras de solo com três repetições das camadas referentes às profundidades de 0,0 - 0,25; 0,25 - 0,50 e 0,50 - 0,75 m, com estrutura indeformada em anéis volumétricos de volume determinado (método do cilindro de Uhland), equação 1.

$$\rho_s = \frac{m_s}{V} \quad (1)$$

Em que:

ρ_s - densidade do solo (kg m^{-3});

m_s - massa de sólidos (kg);

V - volume total (m^3).

3.3.3 Densidade de partículas (ρ_p)

Para a determinação da densidade de partículas do solo nas três camadas estudadas (0,0 - 0,25; 0,25 - 0,50 e 0,50 - 0,75 m) utilizou-se o método do Picnômetro, realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos no Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

3.3.4 Retenção de água no solo

As curvas de retenção de água no solo foram elaboradas por secamento para três profundidades: 0,0 - 0,25; 0,25 - 0,50 e 0,50 - 0,75 m. Em cada

intervalo de profundidade foram coletadas amostras de solos indeformadas para baixas tensões, de 2 a 10 kPa, e amostras de solos deformadas para tensões mais elevadas, de 33 a 1500 kPa.

Com os valores médios de potencial mátrico e de umidade volumétrica foram elaboradas curvas de retenção, utilizando-se o programa computacional SWRC desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990). Estes valores foram ajustados ao modelo de Van Genuchten (1980), dado pela Equação 2:

$$\theta [\Psi_{mat}] = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha \times \Psi_{mat})^n\right]^m} \quad (2)$$

Em que:

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

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

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

Ψ_{mat} - potencial mátrico (kPa);

α , n e m - parâmetros de ajuste do modelo.

3.3.5 Condutividade hidráulica do solo não saturado ($K(\theta)$)

Para estimar a condutividade hidráulica do solo não saturado por meio do modelo proposto por Mualem (1976), a condutividade hidráulica do solo saturado foi determinada no campo utilizando o permeâmetro de Guelph Figura 3. A determinação de K_0 foi realizada em uma profundidade de 0,75 m abaixo da superfície do solo.

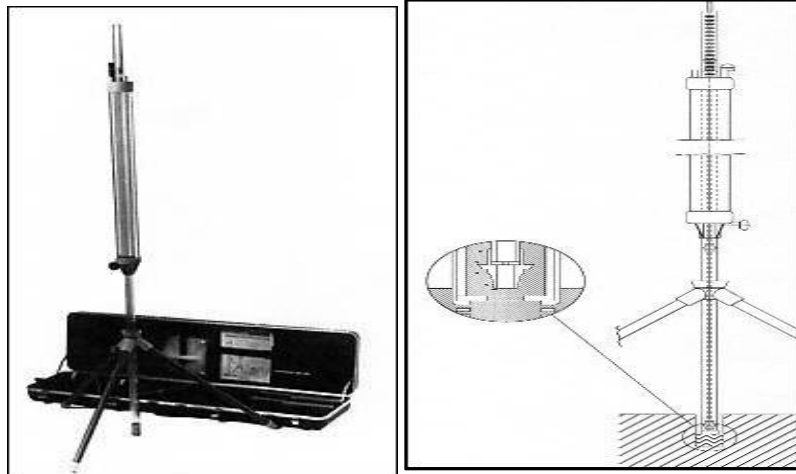


FIGURA 3 Permeômetro de Guelph.

Para a determinação da expressão da $K_{(\theta)}$, foi utilizada a seguinte equação:

$$K_{\theta} = K_0 \times \Theta^{0.5} \times \left[1 - \left(1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (3)$$

Em que:

K_0 - condutividade hidráulica pelo permeômetro de Guelph (cm s^{-1});

Θ - grau de saturação;

m - fator de ajuste (parâmetro do solo).

A equação para determinação de Θ é:

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (4)$$

Em que:

θ - umidade volumétrica;

θ_r - umidade residual;

θ_s - umidade de saturação.

3.4 Balanço de água no solo

Os principais componentes do balanço de água no solo foram contabilizados em períodos decendias, em um volume de controle de base unitária que se estende desde a profundidade imediatamente abaixo do sistema radicular da cultura (0,75 m) até a superfície do solo. Estes componentes foram: a precipitação pluvial diária, o escoamento superficial, a irrigação, o armazenamento de água na zona radicular, a drenagem interna, a ascensão capilar e a evapotranspiração da cultura.

A evapotranspiração do cafeeiro (ETc) foi determinada realizando o balanço de água na zona radicular da cultura (Equação 5), entre os fluxos que contribuem para a adição de água no volume de controle, ou seja, a precipitação pluvial diária, a irrigação e a ascensão capilar, e os componentes que constituem em perdas de água, como o escoamento superficial e a drenagem interna.

$$ETc = P + I + C - ES - D - \Delta ARM_z \quad (5)$$

em que,

ETc = evapotranspiração da cultura, mm;

P= precipitação, mm;

I = irrigação, mm;

C = ascensão capilar, mm

ES =, escoamento superficial, mm

D = drenagem interna, mm; e

ΔARM_z = variação no armazenamento na camada, mm.

3.4.1 Precipitação (P) e escoamento superficial (ES)

A contabilização da entrada de água por precipitação foi feita por meio de um pluviômetro instalado na área experimental (Figura 4). As medidas de precipitação acumulada em 24h foram realizadas às 8h 00 da manhã seguinte a cada dia chuvoso.



FIGURA 4 Vista geral do pluviômetro instalado na área experimental

Para contabilização do escoamento superficial, cada parcela experimental foi delimitada por diques de metal com área de 1 m^2 , conforme Figura 5. Dessa foram feitas medições do volume de água escoado por gravidade em cada parcela experimental. A lâmina de escoamento superficial foi determinada através da relação entre o volume escoado e a área de cada parcela experimental.



FIGURA 5 Dique de metal para coleta do escoamento superficial

3.4.2 Irrigação (I)

As irrigações foram realizadas três vezes por semana (segunda, quarta e sexta feira), através de um pivô central instalado na área, contendo dois vãos que totalizam 67,5 metros de extensão e um lance em balanço de 4 metros, perfazendo um raio molhado de 71,5 metros (Figura 1). As lâminas aplicadas foram calculadas por meio da seguinte equação:

$$Li = \frac{K_c ET_0}{Ei} \quad (6)$$

em que,

Li = lâmina de irrigação, (mm);

Kc = coeficiente de cultura;

ET₀ = evapotranspiração de referência, (Penman-Monteith), (mm), e;

Ei = eficiência de irrigação (0,9).

Os valores de Kc utilizados foram 1,1, para o período A de 01/01/2008 a 31/03/2008, 0,90 para o período B de 01/04 a 18/05 dos anos de 2007 e 2008, 1,3 e 1,15 para os períodos C e D de 01/08/2007 a 31/10/2007 e 01/11/2007 a 31/12/2007, respectivamente. A variação da lâmina de irrigação foi realizada através de programação do painel do pivô, variando a velocidade de deslocamento em cada segmento de arco.

Durante o período de 19/05 a 31/07/2007 e 19/05 a 31/07/2008, não foram realizadas irrigações na lavoura, para permitir a realização da colheita das parcelas experimentais.

3.4.3 Armazenamento de água no solo (ARM)

O armazenamento de água no solo por camada e a umidade volumétrica (θ) por profundidade foram quantificadas, utilizando-se curvas de retenção de água no solo. Os valores de potencial mátricial (h_m) foram obtidos por meio de sensores matriciais de uso simplificado conectados a dataloggers (Figura 6)

cujos dados foram armazenados de hora em hora. A coleta dos dados armazenados nos dataloggers foi realizada utilizando um microcomputador (Figura 6).



FIGURA 6 Dataloggers e microcomputador utilizados para registro e coleta de dados de tensão de água no solo.

Na Figura 7 são mostrados os sensores Watermark instalados em quatro profundidades (0,25, 0,50, 0,75 e 1,0 m) e a 0,40 m de distância do caule da planta. Os sensores de umidade foram conectados a tubos de PVC de 20 mm (Figura 7), visando facilitar a instalação dos mesmos nas referidas profundidades. Foi instalada uma bateria de sensores por parcela, totalizando 72 sensores.

A fiação para transmissão do sinal dos sensores de umidade foi alojada em tubos de PVC e posteriormente enterrada no terreno. A distância média entre a casa de alvenaria e as parcelas experimentais é de 60 m.



FIGURA 7 Sensores de umidade conectados a tubos de PVC e instalados na área experimental.

O armazenamento de água no perfil de solo considerado foi determinado pelo método trapezoidal.

$$ARM = \int_0^L \theta dz \cong (\bar{\theta}(t_i))L \quad (7)$$

em que,

ARM = armazenamento de água no solo, mm;

$\bar{\theta}$ = teor de água, base volume, médio das camadas de solo, $m^3 m^{-3}$; e

L = profundidade do perfil do solo, mm.

3.4.4 Drenagem interna e ascensão capilar (D e C)

Os fluxos de drenagem interna ou ascensão capilar no limite inferior do volume de controle foram estimados por meio da equação de Darcy – Buckingham, ou seja:

$$q = K(\theta) \frac{dh_t}{dz} \quad (8)$$

em que,

q = fluxo de água no solo, mm d^{-1} ;

$K(\theta)$ = condutividade hidráulica do solo não saturado, mm d^{-1} ;

h = potencial matricial, mm.c.a ; e

z = coordenada vertical, positiva para baixo, mm .

A condutividade hidráulica do solo não saturado ($K(\theta)$) foi determinada pelo método proposto por Mualem (1976), ou seja:

3.5 Períodos de monitoramento

A coleta e a tabulação dos dados foram realizadas ao longo dos anos de 2007 e 2008 a fim de verificar o comportamento do consumo de água pelo cafeeiro durante diferentes períodos. O monitoramento foi dividido em 04 períodos, correspondente as fases fenológicas do café (Tabela 1), a saber:

- Período A - 01/01/08 a 30/03/08 $\Rightarrow K_c = 1,10$
- Período B - 01/04/07 a 31/07/07 $\Rightarrow K_c = 0,90$
- Período C - 01/08/07 a 31/10/07 $\Rightarrow K_c = 1,30$
- Período D - 01/11/07 a 31/12/07 $\Rightarrow K_c = 1,15$

TABELA 1 Ciclo fenológico do cafeeiro para as condições do Brasil.

Meses	Jan/Fev/Mar.	Abr/Maio/Jun.	Jul/Ago/Set	Out./Nov/Dez.
Estações	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Vegetação	Plena	Moderada	Fraca	Plena
Fases Fenológicas	Granação	Maturação e Abotamento	Dormência	Expansão

Fonte: CAMARDO (1987)

3.6 Cálculo dos valores de Kc

Ao final de cada fase fenológica do café foram estimados os valores de Kc com base na seguinte equação:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (10)$$

em que,

Kc = coeficiente de cultura, mm;

ETc = evapotranspiração da cultura (Balanço Hídrico), mm;

ET₀ = evapotranspiração de referência (Penman-Monteith), mm.

3.7 Estimativa da evapotranspiração de referência (ET₀)

A evapotranspiração de referência (ET₀) foi estimada por dois métodos distintos, o do tanque Classe A e o de Penman-Monteith padrão FAO 1998, conforme Allen et al. (1998), equações 11 e 12,

$$ET_0 = k_p EV \quad (11)$$

onde

$$k_p = 0,482 + 0,024 \ln(F) - 0,000376 U_2 + 0,0045 UR \quad (11.1)$$

em que,

ET₀ = evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Kp = coeficiente do tanque A;

EV = evaporação do tanque, mm d⁻¹;

F = distância da área de bordadura, m;

U₂ = velocidade média do vento a 2 m de altura, km d⁻¹; e

UR = umidade relativa, %.

$$ET_0 = \frac{s}{(s + \gamma^*)} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s + \gamma^*)} \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a) \quad (12)$$

em que,

s = declividade da curva de pressão de saturação de vapor, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$;

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

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

λ = calor latente de evaporação, MJ kg^{-1} ;

e_a = pressão parcial de vapor, kPa ;

e_s = pressão de saturação de vapor, kPa ;

γ = coeficiente psicrométrico, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$;

γ^* = coeficiente psicrométrico modificado, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$;

T = temperatura média do ar, $^\circ\text{C}$; e

U_2 = velocidade média do vento a 2 m de altura, m s^{-1} .

As variáveis climáticas necessárias à estimativa da ET_0 durante realização do experimento foram obtidos na estação principal de INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada a 300 m da área experimental.

Ressalta-se que para realização do balanço de água no solo utilizou-se os dados de ET_0 estimados pelo método de Penman-Monteith (PM), considerado por pesquisadores da FAO como método padrão (Allen et al., 1998). Os dados estimados pelo método do tanque Classe A foram comparados com os obtidos pelo método de Penman-Monteith (PM), visando a sua utilização por produtores irrigantes da região pela sua simplicidade, assim como para determinação do produto entre K_p e K_c .

3.8 Comportamento dos valores de potencial matricial de água no solo (h-kPa)

Para comparação dos resultados, consideraram-se as condições hídricas do solo sob cultivo. Desta forma, foi analisado o comportamento de dados de potencial matricial obtido por meio de sensores de umidade conectados a dataloggers. Para isso, realizou-se análise de regressão linear simples nos dados de potencial matricial (h) observados em cada parcela experimental e foi considerado como melhor tratamento, àquele cuja equação da reta ajustada, apresentou o menor coeficiente angular em valor absoluto, ou seja, aquele cujos valores de h obtidos apresentaram uma menor variabilidade ao longo dos períodos analisados. Para fins de comparação, analisou-se também, a faixa variação dos valores de h encontrados em cada parcela experimental, considerando como melhor tratamento àquele cujos valores de h aproximaram de valores considerados satisfatórios, sendo a variação entre as tensões de 10 e 35 kPa. Foram analisados os dados dos sensores instalados a 0,25 m, numa distância de 0,40 m do caule da planta.

3.9 Produtividade e qualidade do café.

Após a colheita das parcelas experimentais tomaram-se amostras de café da roça no volume de 10 litros, que foram secadas em bancadas suspensas ao ar livre até atingirem umidade na faixa de 11% a 12% em base peso, quando então se procedeu ao beneficiamento (retirada da casca). Do volume beneficiado, retiraram-se amostras de 300 g para efetuar a classificação quanto ao tipo e peneiras. A classificação física quanto aos defeitos intrínsecos foi feita de acordo com Brasil (2003). Na presença de mais de uma classe de defeito em um mesmo grão, considerou-se o de maior equivalência. A classificação por tipo admite seis tipos de valores (de dois a sete), resultantes da apreciação de uma amostra de 300 g de café beneficiado. Após a separação dos grãos defeituosos em suas

respectivas classes de defeitos (ardido, brocado, chocho ou mal granado, concha, preto e verde), atribuiu-se os pontos correspondentes a cada classe, o que possibilitou a obtenção do tipo do café. Efetuou-se também a pesagem individual dos grãos defeituosos para todas as classes de defeitos. A classificação quanto ao tamanho dos grãos foi feita com amostras de 300 g e obtida pelas porcentagens de grãos retidos nas peneiras circulares (18, 17, 16, 15, 14 e 13) para grãos chatos e peneiras oblongas (13, 12, 11, 10 e 9) para grãos redondos (moca).

As características avaliadas, produtividade (expressa em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare); rendimento (expresso em litros de café da roça por sacos de 60 kg de café beneficiado por hectare) e granulometria dos grãos. Os resultados foram analisados no programa estatístico SAEG. Quando a análise de variância identificou diferenças, os dados foram comparados pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

3.10 Estimativa do custo de produção

Para o procedimento de estimativa do custo de produção, conceituado como a soma de valores de todos os recursos e operações utilizados no processo produtivo de certa atividade, utilizou-se o cálculo da depreciação e do custo alternativo (Reis, 2007).

Para estimar o custo de produção, neste trabalho, utilizou-se de valores aproximados em reais (R\$) com base nas seguintes informações: lavoura em produção de 50 ha, período de duas safras e nos custos fixos e variáveis detalhados a seguir.

3.10.1 Custo fixo

a) Terra: O valor considerado foi o custo alternativo, baseado no aluguel da terra explorada. O aluguel foi considerado como sendo um litro de leite ha⁻¹ d⁻¹, pois

este é um dos procedimentos mais utilizados na região sul mineiro. O preço utilizado de um litro de leite foi R\$ 0,70, ou seja, R\$ 21,00 ha⁻¹ mês⁻¹.

b) Formação da lavoura: Para a formação da lavoura considerou-se o custo médio obtido no período de junho de 2008 (Agrianual, 2008). Realizou-se a depreciação, utilizando-se como vida útil da lavoura o período de 15 anos.

c) Benfeitorias: Consideraram-se as benfeitorias que participam diretamente na produção de café, tais como: tulha; armazém; galpão de máquinas; depósito; casa de colono; terreiro de café; instalação elétrica; sistema de comunicação; e estradas. Para o cálculo da depreciação considerou-se a vida útil de 30 anos. O valor residual considerado para as benfeitorias foi de 20% do valor inicial.

d) Máquinas e equipamentos: Foi computada a depreciação das seguintes máquinas e implementos: trator; grade; roçadora; carreta; pulverizador; adubadora; subsolador; sulcador e lâmina; distribuidor de calcário; lavador de café; secador de café; máquina de beneficiar; automóvel de serviço; e ferramentas diversas. O valor residual considerado para máquinas e implementos foi de 20% do valor inicial e a vida útil média de 12 anos.

e) Imposto territorial rural (ITR): Foi estimado o valor de R\$ 0,11 ha⁻¹ ano⁻¹, conforme citado nos índices de preços agrícolas do Departamento de Administração e Economia da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

f) Sistema de irrigação: Sistema de irrigação tipo Pivô Central. Valor total e exclusivo para café de R\$ 225000,00 (50 ha). A vida útil considerada foi de 15 anos

g) Calagem: O gasto com calagem neste trabalho foi de R\$ 78,15 ha⁻¹ a cada 2 anos.

h) Depreciação: O método de depreciação utilizado foi o linear, conforme equação 13.

$$\text{Depreciação} = \frac{\text{Valor atual} - \text{Valor residual}}{\text{Vida útil}} \quad (13)$$

O custo de cada recurso fixo foi calculado somando-se a depreciação e o custo alternativo do recurso.

3.10.2 Custo variável

O custo de cada recurso variável foi calculado pelo desembolso realizado para aquisição de produtos e serviços, somado ao custo alternativo. Os recursos variáveis e a forma de operacionalização utilizada foram:

- a) Mão-de-obra: Os custos com mão-de-obra (gastos na safra com operação do sistema de irrigação; salários do administrador, capataz, tratorista e diaristas; manutenção da cultura; colheita; terreiro; etc.).
- b) Insumos: Correspondem ao gasto com aquisição de fertilizantes químicos e defensivos.
- c) Gastos com máquinas e implementos agrícolas: Gastos com máquinas, equipamentos e veículos, para funcionamento e manutenção (combustíveis, lubrificantes, peças de reposição, serviços mecânicos, etc...).
- d) Despesas gerais: Secagem, conservação das benfeitorias e outros.
- e) Utensílios para colheita e ferramentas: Referem-se a gastos com rastelões, rastelos, rodos, sacas de 60 L, peneiras, carrinhos de mão, escovões, lonas 5 x 6 m, enxadas, foices, limas, enxadões, pás etc.
- f) Energia: O custo com energia (CE) foi calculado conforme a Equação 14, sugerida por Mendonça (2001).

$$CE = V_{kwh} T \frac{736Pot}{1000\eta} \quad (14)$$

em que

V_{kwh} = valor do kwh;

T = tempo total de funcionamento do sistema de irrigação, h;

Pot = potência do conjunto moto-bomba, cv; e

η = rendimento do conjunto moto-bomba em decimal.

O valor do kwh utilizado foi de R\$ 0,254, conforme sugerido pela Companhia Energética de Minas Gerais/CEMIG).

g) Água: a cobrança pelo uso dos recursos hídricos é um dos importantes instrumentos de gestão estabelecidos pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e tem como objetivo central “reconhecer a água como um bem econômico, promover a racionalização de seu uso, criar as condições de equilíbrio entre as forças da oferta e da demanda, promovendo, em conseqüências, a harmonia entre os usuários competidores, ao mesmo tempo gerar fundo financeiro, para as obras, programas e intervenção na bacia que deu origem”. Apesar de sua complexidade, a adoção do instrumento de cobrança pelo uso dos recursos hídricos está em fase de implantação e aperfeiçoamento. Nesta pesquisa, optou-se por considerar a metodologia proposta na Bacia do Paraíba do Sul, disposta em territórios dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, inicialmente para os setores de saneamento básico e industrial, onde os estados são autônomos para adotar ou não os mesmos critérios da União. As propostas para a cobrança dos usuários da água para fins de irrigação utilizam a mesma metodologia, considerando nulo os itens referentes à descarga de efluentes, correspondendo à captação máxima de 1 litro por segundo. Os irrigantes defenderam que os custos da cobrança não poderiam exceder 0,5% dos custos de produção, o que equivale à metade da proposta então apresentada, alternativa aprovada pela CEIVAP (Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul).

Para o caso específico da irrigação, a cobrança pelo consumo de água foi feita de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Valor}_{\text{cons}} = Q_{\text{cap}} \times \text{PPU}_{\text{cons}} \times K_{\text{consumo}} \quad (15)$$

Na qual:

$\text{Valor}_{\text{cons}}$ = pagamento anual pelo consumo de água R\$/ano;

Q_{cap} = volume anual de água captado, em m³/ano;

PPU_{cons} = preço público unitário correspondente à cobrança pela captação, pelo consumo e pela diluição de efluentes, para cada metro cúbico de água captada, R\$/m³. No caso, para o setor de irrigação $\text{PPU} = \text{R}\$0,01/\text{m}^3$;

K_{consumo} = coeficiente que leva em conta a parte da água utilizada na irrigação que não retorna aos corpos d'água, K_{consumo} será igual a 0,5.

3.10.3 Custo alternativo fixo

Calculado a uma taxa de juros real de 12% a.a., para cada item dos recursos variáveis empregados no processo produtivo da cafeicultura. No seu cálculo, quando a idade média de uso do bem era conhecida, utilizou-se a equação 16.

$$CA_{\text{fixo}} = \frac{V_u - I}{V_u} V_a TJ \quad (16)$$

em que,

CA_{fixo} = custo alternativo fixo;

V_a = valor atual do recurso;

I = idade média de uso do bem, anos

V_u = vida útil (período em anos que determinado bem é utilizado na atividade); e

TJ = taxa de juros, decimal.

Quando não se conhecia a idade média de uso do bem, usou-se a equação 17 para o cálculo do CA_{fixo}

$$CA_{\text{fixo}} = \frac{V_a}{2} TJ \quad (17)$$

ou seja, considerou-se o CA_{fixo} como se a idade de uso dos recursos fixos fosse 50% da vida útil (Vu) que resulta na metade do valor atual do recurso (Va) multiplicado pela taxa de juros. Para o cálculo do custo alternativo variável (CA_{var}) utilizou-se a equação 18.

$$CA_{\text{var}} = V_{\text{gasto}} TJP \quad (18)$$

sendo que V_{gasto} é o desembolso financeiro realizado pelo produtor para adquirir insumos e serviços necessários para a produção agrícola.

3.10.4 Análise econômica simplificada

A análise econômica permite identificar como os recursos empregados no processo produtivo estão sendo remunerados, além de verificar como está a rentabilidade da atividade em questão, comparada a alternativas de emprego do tempo e capital. Para esta análise, considerou-se a situação de análises econômica e operacional de atividade produtiva, descrita por Reis (2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização físico-hídrica do solo

4.1.1 Classe textural

Com base nos resultados obtidos e analisando a distribuição das frações granulométricas, solo da área do experimento em estudo foi classificado como Latossolo Roxo eutroférico Tabela 2.

TABELA 2 Resultados da caracterização física do solo do experimento, realizadas no DEG/UFLA.

SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	AMOSTRA (0 – 20 cm)
Areia	-	dag Kg ⁻¹	22
Silte	-	dag Kg ⁻¹	2
Argila	-	dag Kg ⁻¹	76
Textura	Classe Textural	-	Muito Argilosa

4.1.2 Densidade do solo e de partículas.

Na Tabela 3 estão reunidos os resultados de densidade do solo e densidade de partículas. Constata-se que os valores de densidades de partículas situam-se próximos de valores tidos como referência (2,6 a 2,7 g cm⁻³) como citados. Os valores de densidade do solo variaram de 1,29 g.cm⁻³ para a camada superficial a 0,86 g.cm⁻³ para a camada de 0,50 – 0,75 que é a mais profunda, sendo assim, menos trabalhada, explicando o comportamento do solo em estudo, em função da maior pressão exercida das camadas superiores sobre as inferiores, existe uma tendência de compactação crescente. Prevedello (1996) e Libardi (2005), avaliando diversos tipos de solos e analisando a superfície dos mesmos, constatou que a densidade do solo variou, para solos argilosos, de 1,0 a 1,4 g.cm⁻³ sendo que valores de densidade do solo acima de 1,4 g cm⁻³ restringem o

crescimento radicular em solos argilosos. De modo geral, pode-se afirmar que quanto maior a densidade do solo, mais compactado ele será, menor porosidade total terá e menor será a sua estruturação; portanto, as plantas terão maiores restrições quanto ao seu crescimento e desenvolvimento radicular.

TABELA 3 Valores médios de densidades de partículas e do solo do Latossolo Roxo eutroférico, nas diferentes camadas.

Camadas (m)	Densidade de partículas (g cm ⁻³)	Densidade do solo (g cm ⁻³)
0,0 – 0,25	2,67	1,29
0,25 – 0,50	2,70	1,10
0,50 – 0,75	2,70	0,86

4.1.3 Curva de retenção de água no solo

Na Tabela 4 encontram-se os valores dos parâmetros de ajustes para a equação de van Genuchten. Observa-se, pela Figura 8, um bom ajuste dos dados experimentais pelo modelo de van Genuchten (com restrição de Mualem), obtido pelo programa computacional SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990), corroborando com os valores dos coeficientes de determinação das curvas, incluídos na Tabela 4, que foram sempre superiores a 0,98.

TABELA 4 Parâmetros de ajuste para a equação de Genuchten para o Latossolo Roxo eutroférico.

Parâmetros	Camada (m)		
	0 - 0,25	0,25 – 0,50	0,50 - 0,75
θ_s	0,531	0,588	0,644
θ_r	0,3592	0,3970	0,3520
α	0,5164	0,6384	1,77
m	0,2901	0,3895	0,3001
n	1,347	1,638	1,429

As curvas de retenção de água no solo obtidas para as três camadas estudadas são observadas na Figura 8.

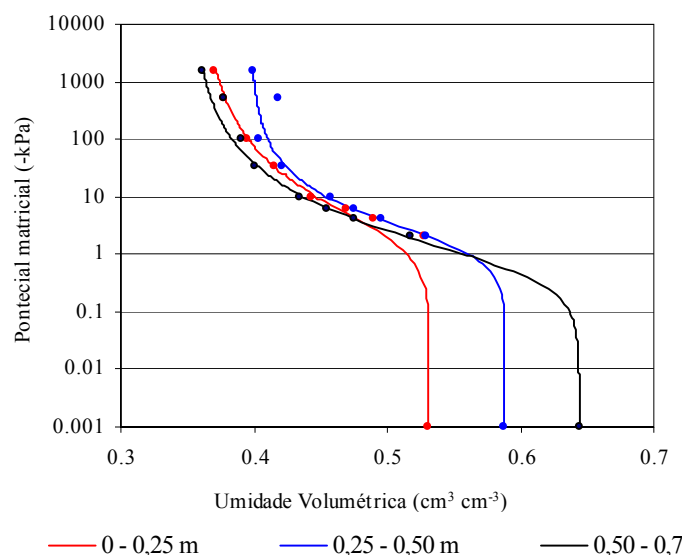


FIGURA 8 Curvas de retenção de água no solo das três camadas analisadas do Latossolo Roxo eutroférico, ajustadas pelo modelo de Genuchten.

As equações de van Genuchten ajustadas, para a área da cultura, nas três camadas estudadas, podem ser visualizadas na Tabelas 5.

TABELA 5 Equações de retenção ajustadas pelo van Genuchten para o solo da área experimental.

Camadas (m)	Equações Ajustadas	r^2
0,0 - 0,25	$\theta(h) = 0,3592 + \frac{0,531 \cdot 0,3592}{\left[1 + (0,5164h)^{1,347}\right]^{0,2901}}$	0,994
0,25 - 0,50	$\theta(h) = 0,3970 + \frac{0,588 \cdot 0,3970}{\left[1 + (0,6394 \cdot h)^{1,6381}\right]^{0,3895}}$	0,989
0,50 - 0,75	$\theta(h) = 0,3520 + \frac{0,644 \cdot 0,3520}{\left[1 + (1,77h)^{1,429}\right]^{0,3001}}$	0,997

4.1.4 Capacidade de campo (θ_{cc})

Para a determinação dos valores de umidade do solo correspondente a capacidade de campo foi considerada a tensão de -10,0 kPa como a em equilíbrio e os valores correspondentes as camadas em estudo, encontra-se listados na Tabela 6.

TABELA 6 Dados de umidade e tensão na capacidade de campo.

Camada (cm)	θ_{cc} (cm ³ cm ⁻³)	Ψ_m (kPa)
0 - 0,25	0,443	-10,0
0,20- 0,50	0,457	-10,0
0,50 – 0,75	0,435	-10,0

4.1.5 Condutividade hidráulica (K)

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) determinada utilizando o permeâmetro de Guelph, para a camada de 0,75 m foi de 1440 mm d⁻¹ e a condutividade hidráulica do solo não saturado $K(\theta)$ no limite inferior do volume de controle foi determinada por meio das equações 19 e 19.1 (Mualem, 1976).

$$K(\theta) = 1440 w^{0,5} \left[1 - \left(1 - w^{\frac{1}{0,3001}} \right)^{0,3001} \right]^2 \quad 19$$

$$w = \frac{\theta - 0,352}{0,64 - 0,352}$$

19.1

4.2 Comportamento dos valores de potencial matricial de água no Solo (h-kPa)

A variação dos valores de potencial matricial de água no solo (camada de 0 a 0,25 m), medidos nas parcelas não irrigadas (Tr 01) e nas irrigadas com os diferentes tratamentos (Tr 02 a 06), durante o período A (01/01/2008 a 31/03/2008), é observada na Figura 9. Os resultados representam a média de três

repetições. Nessa Figura também são apresentadas as retas ajustadas aos dados de h , com suas respectivas equações, e os limites dos valores de potencial matricial de água no solo (h -kPa), considerados, para manter o solo em boas condições hídricas (10 a 35 kPa).

Observa-se na Figura 9 que o coeficiente angular da reta ajustada aos valores de h registrados nas parcelas não irrigadas (Tr 01) foi de 0,26. O alto valor positivo do coeficiente angular encontrado, quando comparados aos das equações das retas ajustadas aos dados observados nas parcelas irrigadas, indica tendência de aumento dos valores de h ao longo do período, resultando, portanto, numa redução da disponibilidade de água para as plantas.

Analisando os dados de h registrados na camada de solo irrigada com os tratamentos 2 e 3 (60 e 80 %Kc - Figura 9), verificou-se que os coeficientes angulares das retas ajustadas (0,034 e 0,048) foram relativamente baixos, porém os valores de potencial matricial observados em alguns períodos foram relativamente altos (> 40 kPa). Portanto, a lâmina aplicada nessas parcelas não foi suficiente para manter o teor de água no solo em níveis desejados, no período considerado.

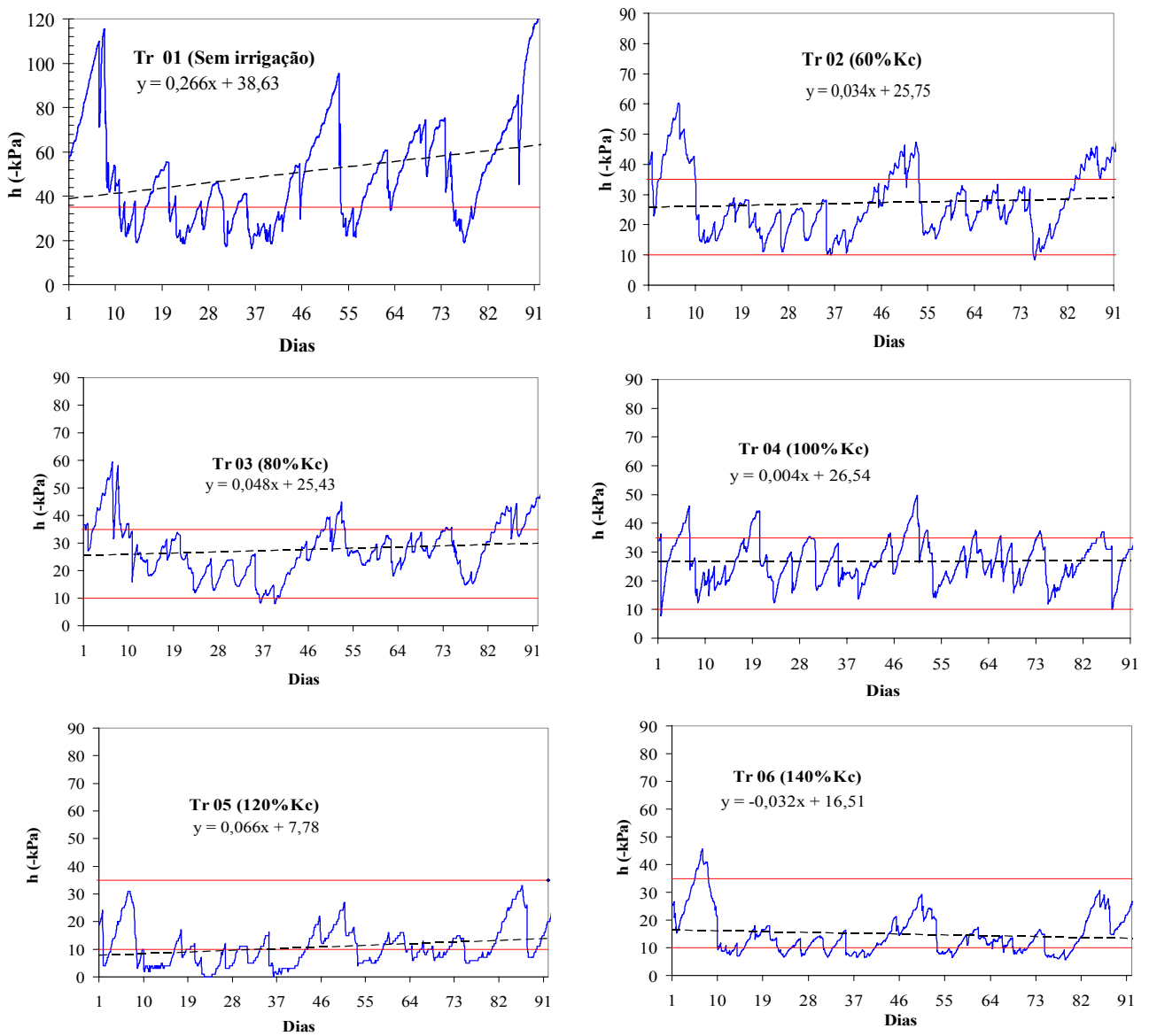


FIGURA 9 Variação dos valores médios de potencial matricial observados nas parcelas não irrigadas (Tr01) e nas parcelas irrigadas com os tratamentos 02 a 06, durante o período A (01/01/08 a 30/03/08), $K_c = 1,10$.

Nota-se ainda na Figura 9 que o tratamento 04 (100%Kc) foi o que apresentou o melhor resultado, justificado pelo menor coeficiente angular (0,004) da reta ajustada aos dados de h , quando comparado aos valores dos coeficientes angulares das retas ajustadas aos dados observados nas parcelas irrigadas com os demais tratamentos. O valor médio de h observado nas parcelas irrigadas com esse tratamento foi de 26,7 kPa com uma variação entre -10 a -35 kPa. Ressalta-se que essa faixa de tensão é considerada satisfatória, pois foram garantidas as condições ideais de livre desenvolvimento vegetativo sem restrições hídricas para a determinação dos valores de evapotranspiração máxima da cultura a serem usados no cálculo dos coeficientes de cultura (Kc).

Quanto as parcelas irrigadas com os tratamentos 05 (120%Kc) e 6 (140%Kc) ainda durante o período A (Figura 9), percebe-se que os valores de h observados em alguns períodos permaneceram abaixo de -10 kPa (tensão em equilíbrio com a umidade correspondente a capacidade de campo). Portanto, a lâmina aplicada com base nesses tratamentos pode contribuir para o excesso de água no solo, no período analisado, e por consequência pode ocorrer perda de água e nutrientes da região de absorção do sistema radicular da planta, para camadas mais profundas, o que pode contribuir para redução da produtividade da cultura, além de aumentar os custos com água e energia elétrica.

A variação dos valores médios de h registrados nos sensores de umidade instalados na profundidade de 0,25 m, nas parcelas não irrigadas e nas irrigadas com os tratamentos considerados (Tr 02 a Tr 06), durante o período B do ano de 2008 (01/04 a 15/05/2008), podem ser visualizados na Figura 10.

Como observado na Figura 10, o tratamento 04 (100%Kc) também foi o que apresentou o melhor resultado (coeficientes angular de 0,272) nesta fase, apesar da tendência ascendente dos valores de h registrados ao longo do período. Ressalta-se que o valor médio de tensão registrada nas parcelas irrigadas com esse tratamento, foi de 29,1 kPa. Como no caso anterior, esse tratamento

também foi o que apresentou o melhor resultado no mesmo período do ano de 2007 (Figura 11), porém o valor médio de h foi de 19,9 kPa.

Na Figura 12 é apresentada a variação dos valores médios de h , nas parcelas não irrigadas e nas irrigadas com tratamentos de 01 a 06, durante o período C do ano de 2007.

Observa-se que diferentemente dos casos anteriores, o tratamento 03 foi o que apresentou o melhor resultado (coeficiente angular = 0,010), seguido dos tratamentos 02 (coeficiente angular médio = 0,073) e 6 (coeficiente angular = 0,075). Analisando ainda a Figura 12 verificou-se os valores de h registrados nas parcelas irrigadas com o tratamento 01 (sem irrigação) atingiram o valor máximo (-229 kPa) possível de ser medido pelos sensores utilizados. Ressalta-se que nessas parcelas foi visualizado sintomas de déficit hídrico, como murcha e desfolha das plantas (Figura 13), justificando mais uma vez, a importância da irrigação do cafeeiro na região de Lavras, sul do estado de MG.

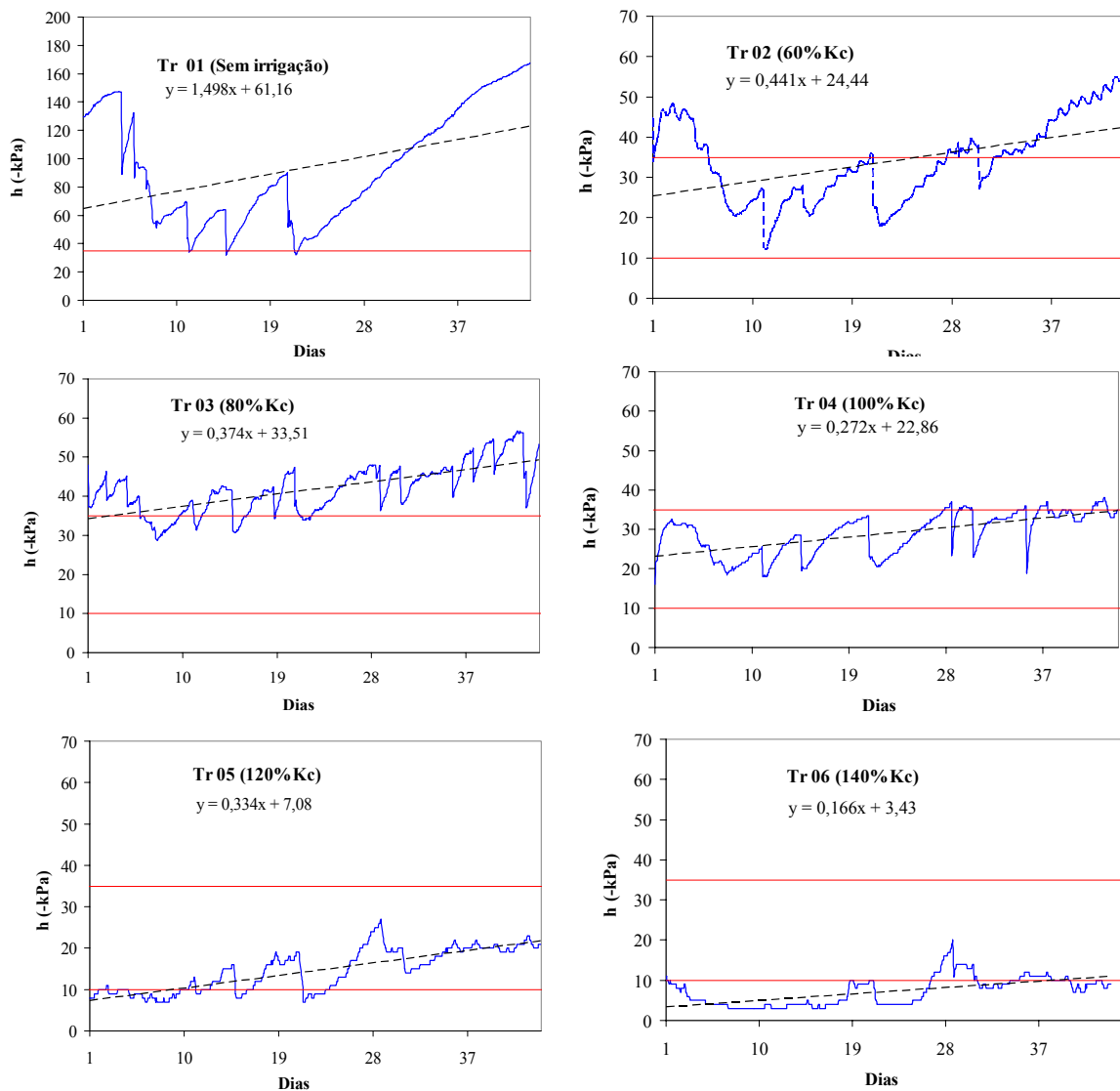


FIGURA 10 Variação dos valores médios de potencial matricial observados nas parcelas não irrigadas (Tr01) e nas parcelas irrigadas com os tratamentos de 02 a 06, durante o período B (01/04/08 a 18/05/08) $K_c = 0,90$.

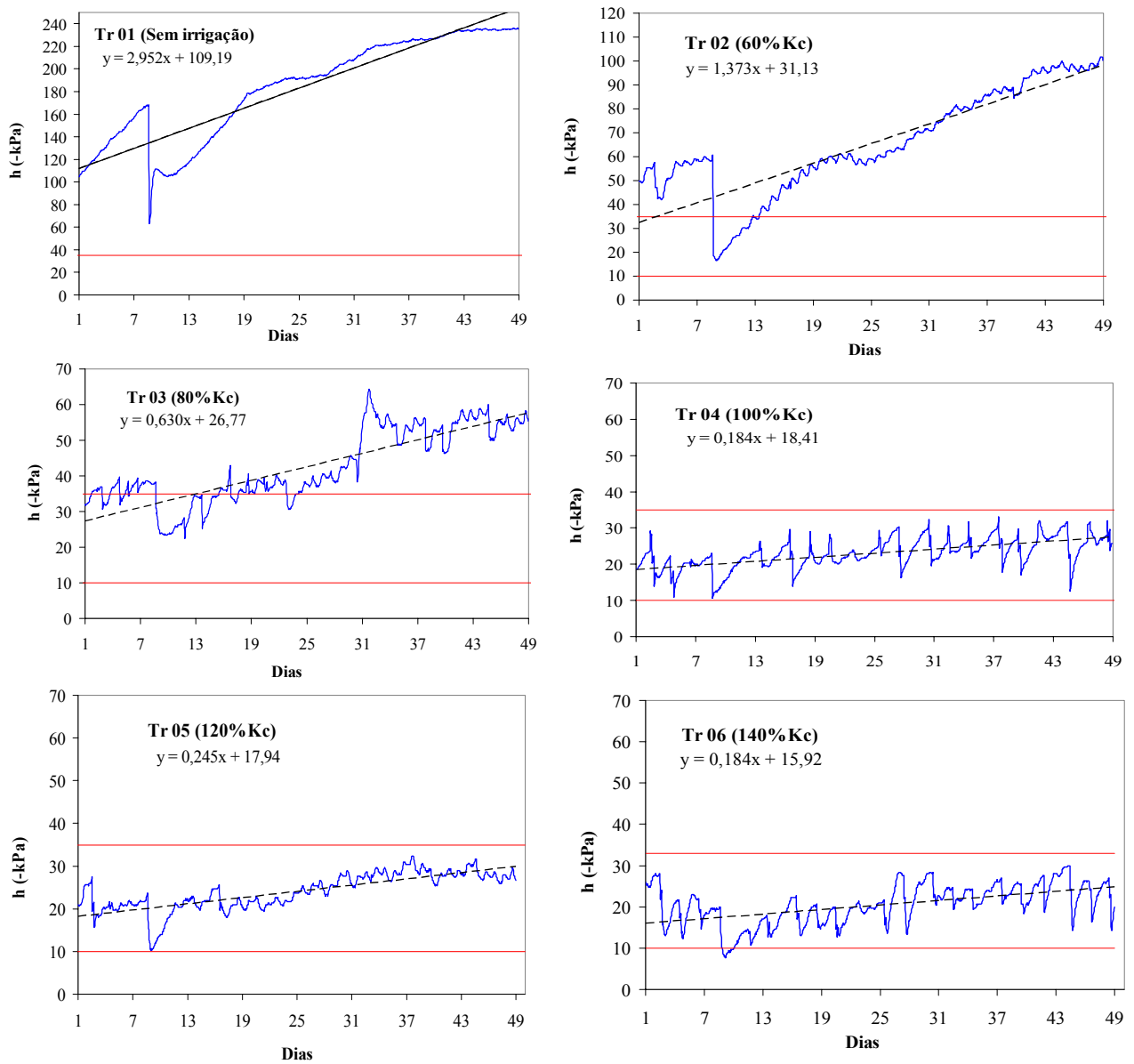


FIGURA 11 Variação dos valores médios de potencial matricial observados nas parcelas não irrigadas (Tr01) e nas parcelas irrigadas com os tratamentos de 02 a 06, durante o período B (01/04/07 a 18/05/07) $K_c = 0,90$.

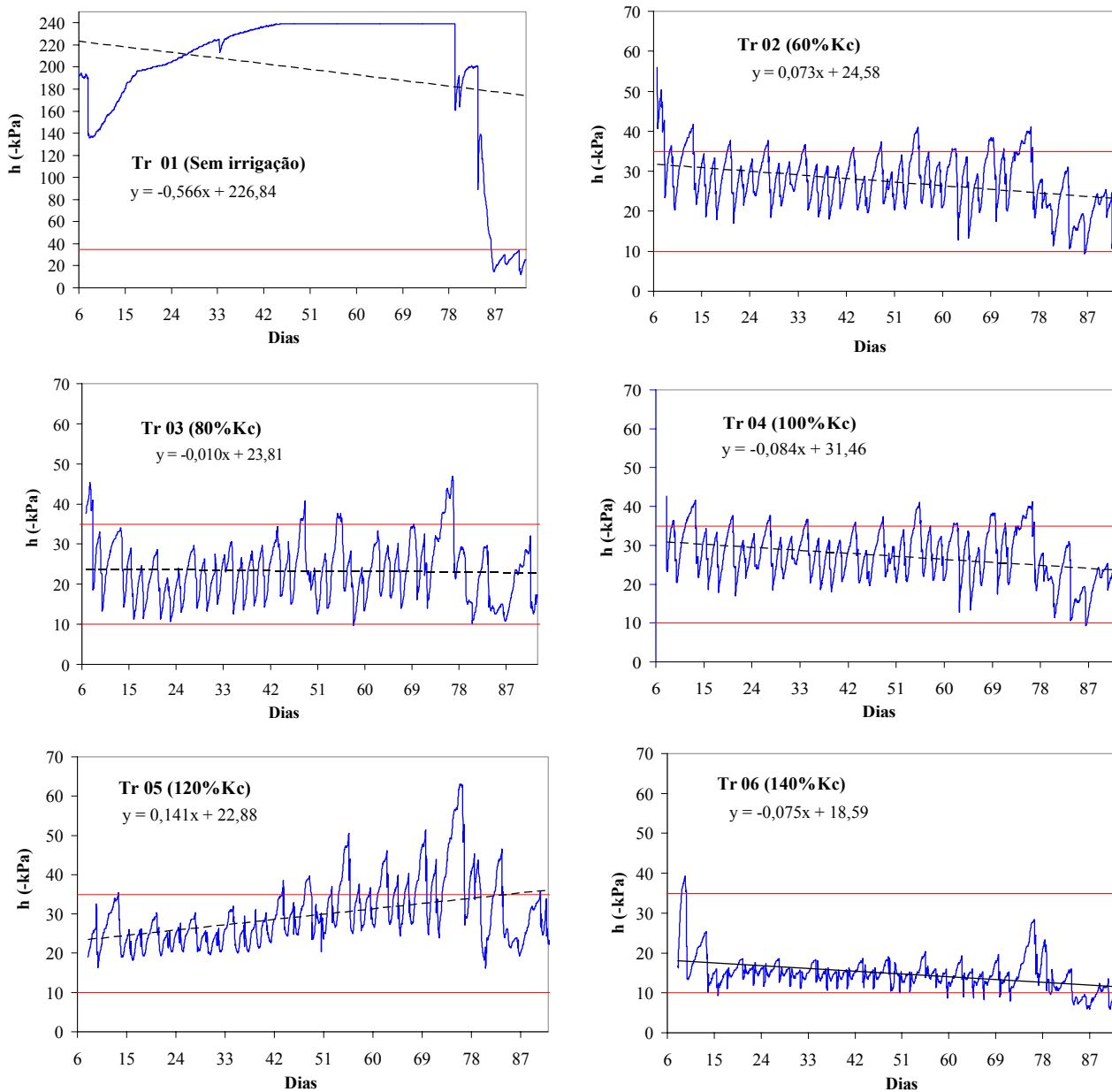


FIGURA 12 Variação dos valores médios de potencial matricial observados nas parcelas não irrigadas (Tr01) e nas parcelas irrigadas com os tratamentos de 02 a 06, durante o período C (01/08/07 a 31/10/07) $K_c = 1,30$.



FIGURA 13 Plantas (sequeiro), com sintomas de deficiência hídrica, observados durante o período C do ano de 2007.

A variação dos valores médios de h , observados nas parcelas não irrigadas e nas irrigadas com tratamentos de 02 a 06, durante o período D do ano de 2007, podem ser visto na Figura 14.

Observando-se na Figura 14 verifica-se de maneira geral que não houve diferenciação entre os tratamentos. Provavelmente isso pode ter ocorrido devido o período analisado, coincidir com o período chuvoso da região, não necessitando, portanto de irrigar a lavoura. Analisando ainda a Figura 14 verificou-se que o tratamento 03 foi o que apresentou o melhor resultado, pois o coeficiente angular ajustado aos dados de h foi apenas 0,007 e o valor médio do potencial matricial foi de -26,3 kPa.

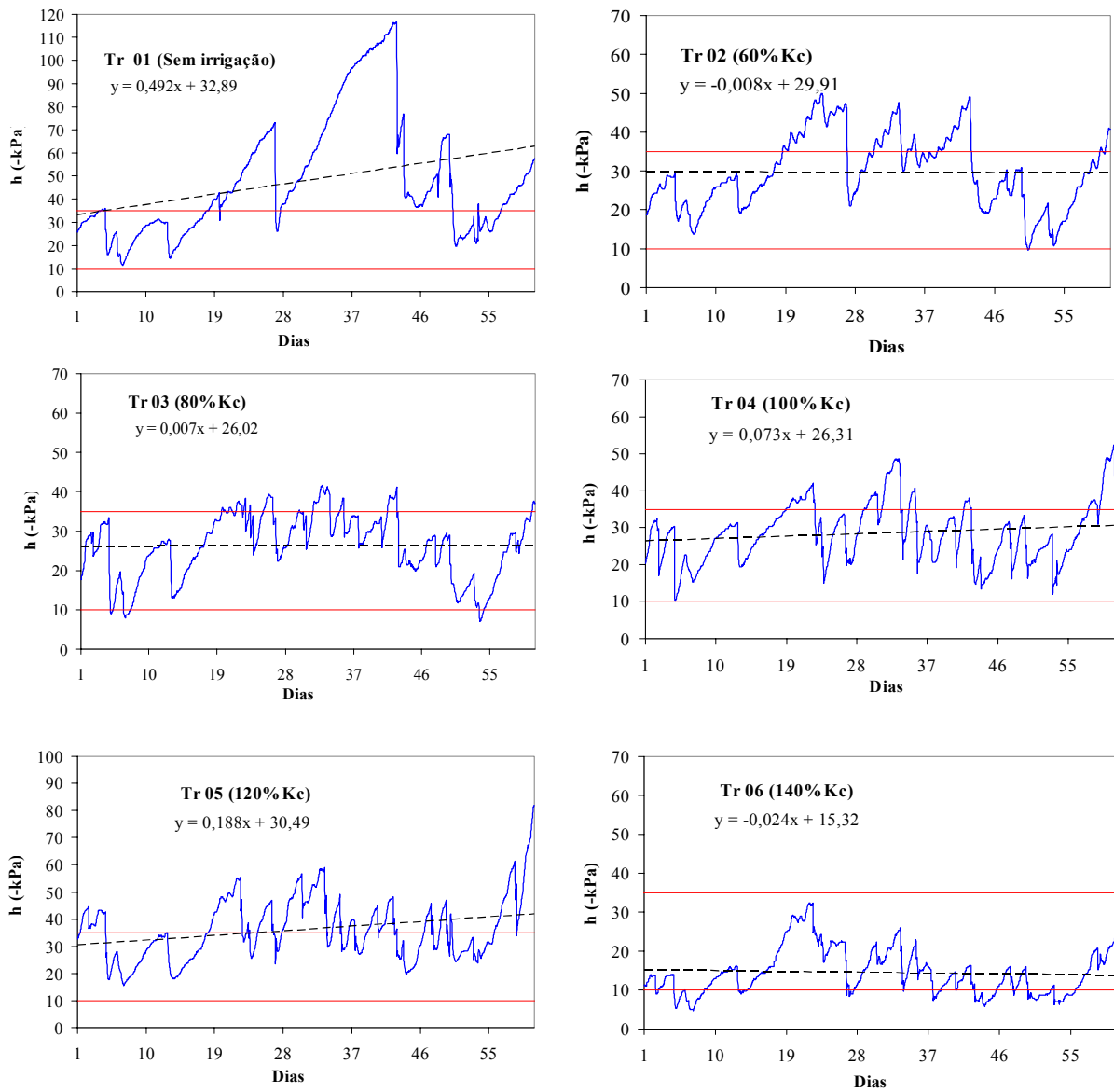


FIGURA 14 Variação dos valores médios de potencial matricial observados nas parcelas não irrigadas (Tr01) e nas parcelas irrigadas com os tratamentos de 02 a 06, durante o período D (01/11/07 a 31/12/07) Kc = 1,15.

4.3 Balanço hídrico

4.3.1 Precipitação e irrigação (P e I)

Os dados de precipitação coletados no pluviômetro instalado na área experimental e as lâminas de irrigação aplicadas, durante os períodos A (ano 2008), B (ano 2007 e 2008), C e D do ano 2007 podem ser visualizados na Figura 15.

No período A (2008), que corresponde aos meses de janeiro, fevereiro e março, foi registrada a maior precipitação pluvial, de 720,4 mm, que corresponde a fase de formação e enchimento de grãos. O volume de chuva ocorrido nesse período correspondeu a 55,5% da precipitação média anual no período avaliado (Figura 15).

Durante os períodos B, C e D do ano de 2007, a lâmina total precipitada foi de 457,7 mm. Em 2007 as primeiras chuvas após o outono aconteceram a partir de outubro, permanecendo os meses de agosto e setembro sem registros de precipitação. Esta pluviosidade é inferior ao valor normal de precipitação pluvial ocorrida na região de Lavras, MG, e abaixo daquela indicada como a ideal para a cultura do café, reforçando, portanto, a necessidade de irrigação dessa cultura na região. Entretanto, para os períodos A e B do ano de 2008, a lâmina total precipitada foi de 841 mm.

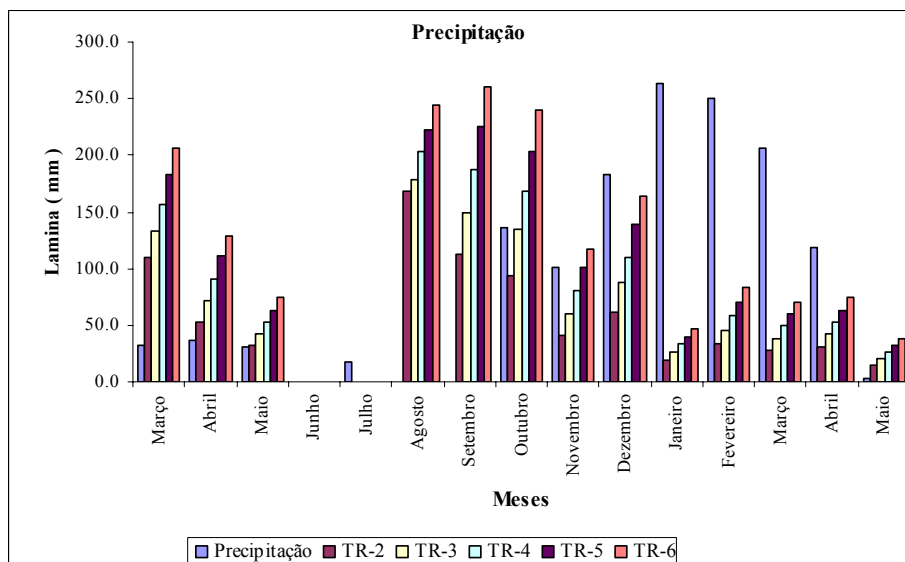


FIGURA 15 Precipitação e lâminas de irrigação aplicadas na área experimental, nos períodos A (01/01/08 a 30/03/08), B (01/04 a 15/05 dos anos 07 e 08), C (01/08/07 a 31/10/07) e D (01/11/07 a 31/12/07).

Observando os valores das lâminas aplicadas conforme os melhores resultados obtidos com valores de potencial matricial de água no solo verificados neste experimento (Tr 04 para os períodos A e B, Tr 03 para os períodos C e D), com aquelas recomendadas em experimentos anteriores realizados na mesma área, mas com lâminas calculadas com base na evaporação do tanque Classe A, verificou-se que as lâminas aplicadas foram superiores àquelas recomendadas nos experimentos anteriores, nos mesmos períodos. Assim, verificou-se que a lâmina de irrigação determinada conforme o manejo adotado em experimentos anteriores utilizando o tanque classe A pode ser insuficiente para atender as necessidades hídricas da cultura do cafeeiro, durante suas diferentes fases fenológicas, na região de Lavras, MG.

4.3.2 Escoamento superficial

A componente ES (escoamento superficial) do balanço de água no solo foi praticamente desprezível em todos os tratamentos durante os períodos analisados no ano de 2007. Entretanto, durante os períodos A e B do ano de 2008, a lamina média escoada foi de 95 mm (total do período experimental analisado). Isto significa que o cultivo em curva de nível está sendo adequado para o controle do escoamento superficial e, conseqüentemente, da erosão.

4.3.3 Armazenamento de água no solo

Para representar a disponibilidade hídrica no solo, resultante dos efeitos dos tratamentos durante os períodos analisados, são apresentados nas Figuras 16, a variação dos valores médios diários de armazenamento de água no solo (ARM) na camada de 0 a 0,75 m, durante os períodos A (2008), B (2007/2008), C (2007) e D (2007), respectivamente.

As variações de armazenamento de água no solo durante o período B do ano de 2007 foram unicamente em função das lâminas de irrigação aplicadas e da demanda evaporativa para a atmosfera, pois a lâmina total precipitada nesses períodos foi relativamente baixa. Entretanto, ao longo do período C e D do ano de 2007 e A e B do ano de 2008, as variações ocorreram em função do volume das precipitações ocorridas, das lâminas aplicadas e da demanda evaporativa para a atmosfera.

Os maiores valores de armazenamento encontrado em todos os períodos analisados referem-se ao Tr 06, correspondente à condição mais úmida. Com estes dados pode-se avaliar a capacidade de água disponível deste perfil de solo e o início das perdas por drenagem e conseqüente lixiviação de nutrientes.

Observando as Figuras 16 verificou-se que nas parcelas irrigadas com os melhores tratamentos de acordo com o resultado da variável potencial matricial (Tr 04 - Períodos A e B; Tr 03 Período C e D), o valor médio do ARM manteve

próximo da disponibilidade máxima de água para a cultura ($ARM = \theta_{cc}.750 = 327 \text{ mm}$) durante os períodos analisados, ou seja, a umidade na camada de solo considerado manteve-se próxima da correspondente à capacidade de campo. Esse fato pode refletir em altas produtividades de plantas irrigadas com os respectivos tratamentos, pois a distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante todo o ciclo da cultura reduzem as perdas de água por drenagem e os períodos de estresse hídrico da cultura, o que aumenta a eficiência no uso da água.

Verificou-se ainda nas Figuras 16, que o ARM no tratamento não irrigado (Tr 01) foi em média o que apresentou o menor valor, ao longo dos períodos analisados que pode corresponder à uma condição de déficit hídrico, mas ainda suportável para a cultura. Diante disso, os valores evapotranspirados pelas plantas podem ser menores do que o máximo possível. Isso pode ter contribuído para a baixa produtividade do cafeeiro de sequeiro, haja vista que a planta é altamente exigente em água no período que coincide com a florada e frutificação

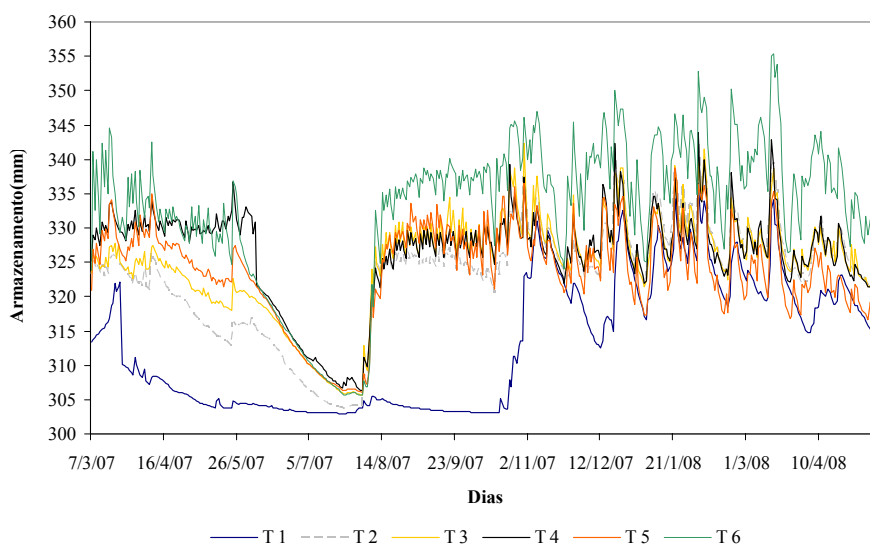


FIGURA 16 Armazenamento de água no solo no período A (Ano 2008), B (Ano 2007 e 2008), C e D (Ano 2007) para o volume de controle de 0,75 m, no Latossolo Roxo eutroférico.

4.3.4 Evapotranspiração de referência (ET₀)

Os valores médios de evapotranspiração de referência (ET₀) estimados pelos métodos do Tanque Classe A (TCA) e de Penman-Monteith (PM), para os períodos B, C e D do ano de 2007 e para os períodos A e B do ano de 2008, com o propósito de ter um dos parâmetros necessários a determinação do coeficiente de cultura (K_c), podem ser observados na Tabela 7, nessa tabela também podem ser observados os valores médios de temperatura (T_{med}), umidade relativa (UR) e velocidade do vento (V), registrados nos referentes períodos. Observando-se os dados de umidade relativa média do ar referentes aos meses de abril de 2007 a maio de 2008, verificou-se que o valor médio decresce de 72,4% para 52,37%, no outono/inverno de 2007.

A temperatura média variou de 17,04 a 22,99 °C, com baixa contribuição para o processo de evapotranspiração. Como a média anual da temperatura durante a realização do experimento de março 2007 a maio de 2008

ficou em 20,4 °C, conforme o zoneamento climático realizado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (2007), são consideradas aptas ao cultivo, áreas com temperatura média anual (T_{ma}) entre 18 e 23,5°C, verificam-se condições favoráveis de temperatura para o desenvolvimento fisiológico do cafeeiro na região de Lavras, MG, dessa forma, suprindo-se as demandas hídricas e nutricionais das cultivares estudadas, as condições de desenvolvimento são satisfatórias.

TABELA 7 Valores médios da evapotranspiração diária de referência (ET₀), estimada pelos métodos do tanque Classe A e Penman-Monteith para cidade de Lavras, MG.

Periodos	Meses	T _{med} (°C)	UR (%)	V(vento) (m s ⁻¹)	Media de ET ₀ diária (mm d ⁻¹)	
					ET ₀ (TCA)	ET ₀ (PM)
B	abr/07	21,86	72,40	2,17	3,3	3,2
	mai/07	18,09	70,77	2,21		
	jun/07	17,26	66,29	2,18		
	jul/07	17,06	66,85	2,21		
C	ago/07	18,93	55,23	2,66	4,5	4,4
	set/07	21,60	52,37	3,12		
	out/07	22,74	59,21	2,70		
D	nov/07	21,51	77,52	2,81	4,2	4,2
	dez/07	22,99	72,93	2,49		
A	jan/08	21,84	78,16	2,57	3,8	3,7
	fev/08	22,09	79,76	2,06		
	mar/08	21,86	76,97	2,27		
B	abr/08	20,82	80,00	2,00	2,8	2,7
	mai/08	17,04	75,15	2,34		

Comparando os valores de ET₀ estimados por meio das duas metodologias propostas (TCA e PM), verificou-se que os valores estimados pelo método do tanque Classe A, aproximaram dos obtidos pelo método de Penman-Monteith em todos os períodos estudados, com uma pequena tendência de superestimativa dos valores de ET₀ estimados pelo método do tanque Classe A,

como encontrado por uma vez que a metodologia descrita por Penman-Monteith foi considerada como padrão.

Na Tabela 7 estão reunidos os dados médios de evapotranspiração de referência (ET_0). Com relação à (ET_0), observa-se que no meses de agosto setembro e outubro de 2007, que correspondem ao período C, os valores médios foram mais elevados quando comparados com o restante do ano, alcançando 4,5 para (TCA) e 4,4 mm dia⁻¹ para (PM), o que demanda maior quantidade de água pelas plantas. Por outro lado, o período B se sobressaiu em relação aos demais, alcançando os menores valores de ET_0 dentre os períodos avaliados. De acordo com dados apresentados por Lima (2006), a média alcançada nesses meses está acima daquela encontrada pelo autor, o qual cita um valor de 3,86 mm dia⁻¹ por (PM).

4.3.5 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Os valores médios de evapotranspiração da cultura do cafeeiro (ETc) verificados nos períodos B; C e D do ano de 2007 e A e B do ano 2008 podem ser visualizados na Tabela 8.

A maior taxa de evapotranspiração média diária foi obtida no período C que corresponde estágio de floração e expansão dos frutos com 5,04; 5,96; 7,14; 8,20 e 9,25 mm d⁻¹, respectivamente para os tratamentos Tr 02, Tr 03, Tr 04, Tr 05 e Tr 06. As menores taxas de evapotranspiração média diária foram obtidas no período B, estágio de maturação dos frutos, com valores de 2,13; 2,51; 3,07; 3,34 e 4,05 mm d⁻¹, nos tratamentos Tr 02, Tr 03, Tr 04, Tr 05 e Tr 06, respectivamente. A evapotranspiração média diária do ciclo produtivo do cafeeiro nos tratamentos Tr 02, Tr 03, Tr 04, Tr 05 e Tr 06 foi de 3,80; 4,41; 4,93; 5,53 e 6,04 mm, respectivamente. Portanto, o tratamento Tr 06 foi o que apresentou a maior taxa de evapotranspiração média diária, tanto no período total quanto nos estágios fenológicos. Assim, a ETc aumentou em função da

maior lâmina de irrigação e os resultados apresentados indicam que a evapotranspiração do cafeeiro foi bastante influenciada pelo volume de água aplicado ao solo.

TABELA 8 Valores médios da evapotranspiração da cultura do cafeeiro nos diferentes períodos de irrigação.

Períodos	ETc para os períodos de irrigação (mm d ⁻¹)				
	Tr 02	Tr 03	Tr 04	Tr 05	Tr 06
B (01/04/2007 a 18/05/2007)	2,53	2,94	3,46	4,19	4,57
C (01/08/2007 a 31/10/2007)	5,04	5,96	7,14	8,20	9,25
D (31/10/2007 a 31/12/2007)	4,85	5,46	5,41	5,80	5,87
A (31/12/2007 a 31/03/2008)	4,42	5,19	5,57	6,13	6,47
B (31/03/2008 a 13/05/2008)	2,13	2,51	3,07	3,34	4,05
Média	3,80	4,41	4,93	5,53	6,04

Observa-se na Tabela 8, que a evapotranspiração da cultura (ETc) do café, determinada pelo balanço de água no solo, considerando os melhores tratamentos em relação ao parâmetro potencial matricial de água no solo, foram de 3,46, 5,96 e 5,46, para os períodos , B, C e D do ano de 2007, respectivamente. Nos períodos A e B do ano de 2008, os valores de ETc foram de 5,57 e 3,07, respectivamente.

Mantovani et al. (2001) obtiveram como resultados de ETc do cafeeiro em produção, irrigado por pivô central, nas regiões Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia, valores da ordem de 0,6 a 1,0 mm d⁻¹ no período de menor demanda atmosférica e de 4,5 a 4,8 mm d⁻¹ no período de maior demanda. Os valores de consumo de água observados por estes autores foram menores do que obtidos neste experimento.

4.4 Coeficiente de cultura (Kc) e produto entre Kc e Kp

Os valores médios dos coeficientes de cultura (Kc) para os diferentes períodos analisados, utilizando-se o método de Penman-Monteith no cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0), podem ser observados na Tabela 9.

TABELA 9 Valores médios dos coeficientes de cultura (Kc) do cafeeiro nos diferentes estádios fenológicos, para os tratamentos que receberam irrigação.

Períodos	Kc para os períodos de irrigação				
	Tr 02	Tr 03	Tr 04	Tr 05	Tr 06
B (01/04/07 a 18/05/07)	0,79	0,92	1,08	1,31	1,42
C (01/08/07 a 31/10/07)	1,14	1,34	1,61	1,84	2,06
D (01/11/07 a 31/12/07)	1,08	1,23	1,25	1,44	1,46
A (01/01/08 a 31/03/08)	1,16	1,24	1,32	1,40	1,44
B (01/04/08 a 13/05/08)	0,71	0,86	1,04	1,17	1,37

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 9, verificou-se que ocorreu decréscimo nos valores de Kc do período A para o período B, o qual coincide com a fase fenológica de maturação/abotoamento. Esta fase é caracterizada por moderada atividade vegetativa. A partir de agosto, houve aumento nos valores de Kc, que corresponde ao período C, fato que está associado à atividade vegetativa plena e fase fenológica de floração.

Os valores de Kc encontrados para os melhores tratamentos, de acordo com os resultados da variável de potencial matricial de água no solo, nos períodos B, C e D do ano de 2007 foram de 1,08, 1,34 e 1,23, respectivamente. Entretanto, para os períodos A e B do ano de 2008, os valores de Kc do cafeeiro para os períodos A e B foram de 1,32 e 1,04. Observou-se que para o período B

os valores de Kc analisados nos dois anos foram praticamente iguais (1,08 e 1,04; média = 1,06), (Tabela 9).

Assim, nos períodos analisados, os valores de Kc encontrados foram maiores do que aqueles utilizados para o cálculo da lâmina de irrigação por agricultores da região (1,10; 0,90; 1,30; e 1,15). Entretanto verificou-se que tais valores aproximam dos recomendados por Allen et al. (1998) para cafeeiros adultos (1,05 a 1,10) e Rocha et al. (2006) encontraram, para a cultivar Catuaí, cultivada em Planaltina-DF, valores de Kc, nos períodos de junho a agosto, e setembro a maio, para cafeeiros com mais de dois anos de idade, valores de 1,0 e 1,25, respectivamente.

Oliveira (2003), que encontrou valores de Kc variando entre 0,72 a 1,50, no período de junho a setembro, para lavoura adulta. Por outro lado, os valores de Kc encontrados na literatura são considerados constantes, dependendo apenas da idade, isto é, sem levar em consideração a fenologia da cultura. Pelos resultados obtidos nesse estudo, entretanto, verificam-se variações nos valores de Kc em resposta às condições do clima local, manejo da irrigação e a demanda de água pelo cafeeiro, evidenciando a importância da obtenção do Kc nas diferentes fases fenológicas do cafeeiro.

Os valores de coeficiente do tanque e dos produtos entre os coeficientes do tanque (Kp) e de cultura (Kc), para os períodos A (2008), B (2007/2008), C (2007) e D (2007), são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 Valores do coeficiente do tanque e do produto entre os coeficientes do tanque (Kp) e de cultura Kc, para os diferentes estádios fenológicos da cultura do cafeeiro, para os tratamentos que receberam irrigação.

Períodos	Kp	Produto entre Kp e Kc (KpxKc) para os períodos de irrigação				
		Tr 02	Tr 03	Tr 04	Tr 05	Tr 06
B (07)	0,80	0,63	0,74	0,86	1,05	1,14
C (07)	0,72	0,82	0,97	1,16	1,32	1,48
D (07)	0,81	0,95	1,08	1,10	1,26	1,33
A (08)	0,77	0,89	0,95	1,02	1,08	1,11
B (08)	0,77	0,74	0,83	0,99	1,08	1,26

Conforme a Tabela 10, os valores prováveis dos produtos entre Kp e Kc para os períodos A, B, C e D foram de, 1,02, 0,92 (média entre 0,86 e 0,99), 0,97 e 1,08. Como os valores de ET_0 estimados pelos métodos do tanque Classe A aproximaram daqueles obtidos pelo método de Penmam-Monteith, verificou-se que o manejo da irrigação na região de Lavras pode ser realizado utilizando o método do tanque Classe A e as relações entre Kp e Kc estimados neste trabalho ($Li = Kc.Kp.EV$).

4.5 Características de produção

O resumo da análise de variância para a característica de produção do cafeeiro observadas nas safras 2007 e 2008 e na soma das duas safras, pode ser visualizado na Tabela 11, foi analisada a safra 2007 uma vez que o experimento começou em janeiro do ano de 2007 (coleta de dados a partir de março de 2007), sendo assim podendo ter influenciado esta safra. Verificaram-se diferenças significativas entre os tratamentos nas safras analisadas, em nível de 5% de probabilidade, apenas para a característica produtividade.

TABELA 11 Resumo da análise de variância para produtividade das safras 2007 e 2008 e acumuladas (07/08) do cafeeiro (*Coffea arábica* L. cv. Rubi).

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios ((sc ha ⁻¹))		
		Safra 2007	Safra 2008	Soma das safras
Blocos	2	15,17 ^{ns}	1031,52 ^{ns}	1108,72 ^{ns}
Tratamentos	5	439,92*	1532,49*	3356,26*
Resíduo	10	21,45	180,76	189,56
C.V. (%)		16,87	17,02	12,93

* = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo.

O teste de comparação de médias (Tabela 12) reforça menção feita anteriormente, de que apenas a característica produtividade do cafeeiro foi influenciada significativamente pelos tratamentos, em todas as safras analisadas. Observa-se ainda na Tabela 12 que o tratamento 04 (100%Kc) foi o que apresentou a maior produtividade em todas as safras. Porém na safra 2007 o Tr 04 foi considerado estatisticamente igual ao tratamento 05.

Na análise da soma das duas safras, constatou-se uma produtividade média de 149,67 sacas por hectare (Tr 04), o que é uma excelente produtividade média de mais de 70,0 sc ha⁻¹ por ano. Tendo em vista a importância da produtividade do café para o retorno econômico do cafeicultor, é imprescindível salientar que as produtividades obtidas com o melhor tratamento (Tr 04) na safra 06/07 e 07/08 foram 200 e 139% respectivamente superiores a produtividade apresentada pelo tratamento não irrigado (Tr 01).

TABELA 12 Tabela de médias detalhando a influência da irrigação sobre as características de produção analisadas.

Tratamentos	Produtividade (sc ha ⁻¹)		
	Safra 2007	Safra 2008	Soma das Safras
04	45,59 a	104,08 a	149,67 a
05	38,35 ab	89,27 ab	127,63 ab
06	26,57 bc	94,73 ab	121,30 ab
03	21,50 c	80,74 abc	102,25 bc
02	17,56 c	61,46 bc	79,02 cd
01	15,15 c	43,48 c	58,63 d

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Nota-se também na Tabela 12 que a produtividade se eleva à medida que aumenta a lâmina de irrigação, atingindo um valor máximo (Tr 04) e posteriormente tende a reduzir, com o aumento da lâmina aplicada. A redução na produtividade das plantas irrigadas com lâminas relativamente altas (Tr 05 e 06) explica-se, possivelmente, pelo excesso de água na região do sistema radicular da cultura e por uma provável lixiviação de nutrientes juntamente com a água de irrigação para as camadas mais profundas do solo, como já descrito anteriormente. Portanto, o aumento do volume de água aplicado ao cafeeiro não implica, necessariamente, no aumento de produtividade.

Neste trabalho o tratamento não irrigado foi aquele onde a produtividade foi a mais baixa indicando que o uso da irrigação em cafeeiros cultivados em Lavras-MG é uma prática vantajosa. Verifica-se na Figura 13 a condição das plantas do tratamento testemunha no período C (2007) em comparação com aquelas de um tratamento irrigado. Essa superioridade das plantas irrigadas em relação às não irrigadas também foi encontrada por Rotondano (2003) em Uberlândia-MG, Soares (2005) em Patrocínio-MG e por Faria et al. (2002) em Lavras-MG.

Comparando esses resultados com os obtidos, com base na análise dos valores de potencial matricial de água no solo anteriormente realizada, fica comprovada a superioridade do tratamento 04, com relação aos demais.

Na Figura 17 está detalhada a função de produção: água aplicada versus produtividade, bem como o resultado do teste de regressão para esse parâmetro.

O modelo de regressão polinomial de segundo grau representou com maior precisão o comportamento do cafeeiro submetido a diferentes lâminas de irrigação, pois o coeficiente de determinação (R^2) da função polinomial de segundo grau foi superior, sendo que o coeficiente de determinação (R^2) é um dos parâmetros estatísticos que atestam a eficiência da função em prever o comportamento dos dados.

O coeficiente de determinação calculado foi (83,29%), indicando que ao se usar esse modelo 83,29% das variações da produtividade podem ser explicadas pela variação das lâminas de irrigação. O modelo polinomial de segundo grau é o de uso mais comum na determinação de função de produção da cultura em relação à quantidade de água aplicada, e foi utilizado neste trabalho. Verificou-se um comportamento linear dos dados até aproximadamente metade da quantidade de água aplicada. A partir desse ponto, para maiores quantidades de água aplicada, os acréscimos na produção são progressivamente menores, refletindo as várias perdas de água que ocorrem. Esta situação foi verificada neste trabalho, onde se observa decremento na produtividade a partir da lâmina de 100%. Não foi possível encontrar a máxima produtividade, pois analisando a aplicação da lâmina de irrigação (Figura 20) verificou-se através das equações um aumento da produtividade com o aumento da lâmina de irrigação, não atingindo, até a maior lâmina aplicada (140%Kc), o ponto de máxima produtividade.

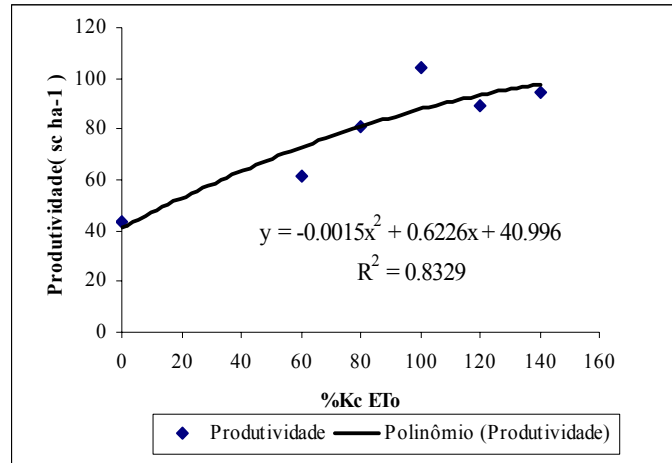


FIGURA 17 Representação gráfica e equação de regressão da produtividade de café safra 2008, em função das lâminas de água aplicadas (%Kc ETo).

Na análise de variância (Tabela 13), percebeu-se que não houve diferença significativa quanto ao rendimento para nenhuma das safras estudadas 2007 e 2008, ou seja, não houve diferença de rendimento em consequência das lâminas de irrigação. Os dados deste experimento confirmam as observações de Vilela et al. (2002), trabalhando na mesma área experimental, que não encontraram diferença significativa no rendimento das duas primeiras safras do cafeeiro 'Rubi', cultivado em Lavras, com lâminas de irrigação de 0 a 140% da ECA.

TABELA 13 Resumo da análise de variância para rendimento das safras 06/07, 07/08 do cafeeiro (*Coffea arábica* L. cv. Rubi).

Fontes de variação	G.L.	Quadrados médios	
		Safra 2007	Safra 2008
Blocos	2	4980,22 ^{ns}	399,95 ^{ns}
Tratamentos	5	9602,48 ^{ns}	5754,24 ^{ns}
Resíduo	10	20290,52	2268,89
C.V. (%)		39,546	8,31

* = significativo a 5% de probabilidade; ns = não significativo.

4.6 Qualidade do café

4.6.1 Granulometria dos grãos

Na Tabela 14 está contido o resumo dos resultados da análise de variância para a classificação quanto à granulometria,. Verificou-se que as lâminas de irrigação influenciaram significativamente a granulometria dos grãos de café para as classes de grãos “café miúdo”, “café moca”. Verificou-se que a maior porcentagem de café miúdo para o tratamento Tr 06 = 140%Kc, para o café moca a maior porcentagem foi Tr 01 = 0, podendo concluir, que os tratamento não irrigado e o Tr 06 = 140%Kc, obtiveram os piores resultados quando comparados com os demais tratamentos.

TABELA 14 Soma de quadrados (SQ) para a classificação por peneiras da produção do café safra 07/08. Grão chato grosso (café grande) (GCG), Grão chato médio (café médio) (GCM), Grão chatinho (café miúdo) (GC) e Grão Moca (café moca) (GM).

FV	Peneiras			
	GCG	GCM	GC	GM
Tratamento	424,577 ^{ns}	1,38504 ^{ns}	7,78999 [*]	0,398 [*]
Bloco	64,11503	150,5146	150,2307	120,6842
Resíduo 1	310,8179	165,0619	51,70314	29,77
CV (%)	35,15	7,74	13,55	10,42

^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade.

Os valores percentuais médios para as classes granulométricas, obtidos na safra 07/08, são apresentados na Figura 18. Visualiza-se nesta figura que a classe granulométrica “café médio”, foi a que apresentou os maiores percentuais para todas as lâminas de irrigação. O uso da irrigação diminuiu o percentual de grãos grandes de 18,0% (sem irrigação) para um valor mínimo de 13,0%, referente à lâmina de 140,0 %Kc. Estes dados contradizem com os de Vilella (2001), que obteve, com o suprimento de água pela irrigação, maior quantidade de grãos grandes, em relação às plantas não irrigadas. No tratamento não irrigado, os grãos médios representaram 48,0%. Aumentando progressivamente a lâmina d'água, até 140,0%Kc, a quantidade de grãos médios atingiu um máximo de 55,0%.

De maneira geral, nota-se certa regularidade nos percentuais para as classes granulométricas. Percentuais próximos de 55% e 13% para as classes granulométricas “café médio” e “café grande”, respectivamente, se traduzem em bom percentual de café para exportação ou seja 68 %, uma vez que os exportadores preferem grãos maiores, pois assim, estão automaticamente eliminando os defeitos. Com relação aos grãos tipo moca e café miúdo, observa-se que para todos os tratamentos testados, as planta produziram baixos percentuais, com valores médios de 17 %.

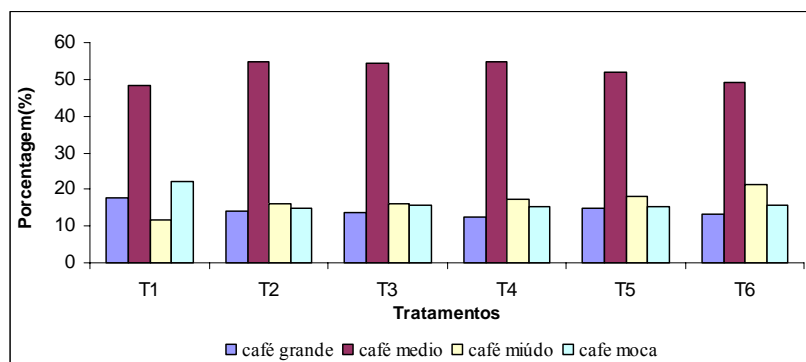


FIGURA 18 Percentuais de grãos de café para as classes de classificação quanto a granulometria para a safra 07/08.

4.6.2 Número de defeitos e tipo de bebida

A Tabela 15 revela uma menor quantidade de defeitos dos grãos colhidos nas parcelas sem irrigação que se contabilizou em 77 defeitos numa amostra de 300 g equivalendo o café ao tipo 5. Isto pode ser explicado, pela maturação dos frutos das plantas não irrigadas tenha sido mais homogênea do que nos cafeeiros que receberam suprimento de água, resultando em menos numero de grãos verdes e, portanto, menos defeitos. Também é provável que o maior percentual de grãos grandes no tratamento de 0%Kc, tenha favorecido o beneficiamento das amostras sem irrigação, resultando em menor quantidade de grãos quebrados, marinhos e cascas, e conseqüentemente, menor equivalência em defeitos, em relação ao café irrigado.

Os tratamentos que receberam água através da irrigação apresentaram quantidades de defeitos relativamente maiores que a testemunha, variando de 118 a 145 defeitos em 300 g, mostrando que altas produções vêm acompanhadas de uma redução na qualidade do produto colhido correspondendo ao tipo 6.

O tratamento testemunha (sem irrigação) promoveu bons valores na qualidade física do café, principalmente no que se refere ao numero de defeitos.

No entanto, a produtividade média foi relativamente baixa (Tabela 12), o que desestimula sua recomendação

TABELA 15 Equivalência de defeitos e o tipo de café, em função de lâminas de irrigação nas safras 06/07, 07/08 do cafeeiro (*Coffea arábica* L. cv. Rubi).

Lâmina de Irrigação (%Kc)	Defeitos em 300 g	Tipo
0%	77	5
60%	118	6
80%	145	6
100%	103	6
120%	124	6
140%	123	6

Caso se deseje primar pela qualidade do produto colhido entre os tratamentos irrigados, o Tr 04 (100%Kc) foi o que obteve a maior produtividade, e o menor número de defeitos.

4.7 Custo de produção

Os percentuais de participação dos itens que compõem os custos totais de produção do café para os tratamentos analisados podem ser visualizados na Tabela 16. Percebe-se, pelos dados apresentados, que os custos fixos representam 19,70% do custo final da produção do café, e o custo variável 80,30%. Para o tratamento 1 (sequeiro), o custo fixo correspondeu a 21,36% do custo total e o custo variável, com 78,64% do custo final de produção do café,

O item com maior participação no custo fixo da média geral dos tratamentos foi máquinas e implementos (6,40%). Os gastos com mão-de-obra (24,98%) e insumos (25,22%) foram os itens com maior participação na formação do custo variável geral.

No tratamento 4, máquinas e implementos corresponderam a 5,54% do custo total, destacando-se com o menor percentual deste recurso, enquanto o tratamento 01 correspondeu a 8,34%, com maior participação nos custos fixos dos itens máquinas e implementos.

O valor pago pela energia elétrica representou 10,36% do custo total médio de cada saca produzida para o tratamento 06. Isto já era de se esperar, visto que, este tratamento é o que recebe a maior quantidade de água, e por consequência maior foi o número de horas de funcionamento do sistema de irrigação. Em geral, entre os tratamentos irrigados, a energia contribuiu com 9,15% do custo total médio.

Entre os tratamentos irrigados, o Tr 04 apresentou a maior participação dos custos variáveis no custo total de produção, destacando-se o custo com mão de obra (31,6410%). Isso já era esperado, pois esse tratamento foi o que apresentou o maior volume de café colhido, e por consequência maior foram os custos com colheita, tratos culturais, etc...

Tabela 16 Percentagem dos custos fixos e variáveis da produção de café, em diferentes tratamentos de lâminas de irrigação, proveniente de duas safras acumuladas do cafeeiro Rubi.

Custos fixos e variáveis	% do custo total						Média Geral
	Tr 01	Tr 02	Tr 03	Tr 04	Tr 05	Tr 06	
Terra	2,71	2,17	2,03	1,80	1,88	1,90	2,08
Sistema de Irrigação	0,00	4,39	4,11	3,65	3,81	3,84	3,30
Formação da Lavoura	6,04	4,84	4,52	4,02	4,20	4,23	4,64
Benfeitorias	4,27	3,41	3,19	2,83	2,96	2,99	3,28
Maq. e Implementos	8,34	6,67	6,24	5,54	5,79	5,79	6,40
ITR (anual)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Calagem	0,52	0,42	0,39	0,35	0,36	0,36	0,40
CFT	21,36	21,49	20,09	17,84	18,65	18,79	19,70
Insumos	32,84	26,68	24,58	21,83	22,81	22,99	25,22
Mão-de-obra	18,57	20,12	24,34	31,64	28,24	26,96	24,98
Gastos com máq. e implementos	13,99	11,20	10,47	9,30	9,72	9,79	10,74
Utensílios para colheita	3,41	2,73	2,55	2,27	2,37	2,39	2,62
Energia elétrica	0,00	9,14	9,13	8,61	9,54	10,36	7,80
Água	0,00	0,29	0,30	0,29	0,33	0,36	0,26
Despesas Gerais	5,38	4,31	4,03	3,58	3,74	3,77	4,13
Subtotal - c.op.vt	74,19	74,07	75,39	77,51	76,75	76,61	75,75
Custo alternativo	4,45	4,44	4,52	4,65	4,60	4,60	4,55
C VT	78,64	78,51	79,91	82,16	81,35	81,21	80,30
CT	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,00

4.7.1 Análise econômica simplificada

Os resultados dos custos médios de produção do cafeeiro podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17 Custos econômicos e operacionais médios por saca de 60 kg da produção de café, em diferentes tratamentos, provenientes de 2 safras acumuladas, do cafeeiro.

Tratamentos	CFMe (R\$)	CVMe (R\$)	CTMe (R\$)	CopFMe (R\$)	CopVMe (R\$)	CopTMe (R\$)
Tr01	67,98	264,48	332,46	29,61	236,14	265,75
Tr02	63,12	243,71	306,84	27,94	217,60	245,55
Tr03	48,81	208,39	257,19	21,61	183,13	204,73
Tr04	33,34	167,94	201,28	14,76	144,83	159,59
Tr05	39,04	190,80	229,84	17,28	160,65	177,93
Tr06	41,20	203,39	244,59	18,24	167,97	186,21
Média	48,91	213,12	263,03	21,57	185,05	206,63

No período em estudo, o preço médio da saca de 60 kg do café beneficiado foi de R\$ 250,00 (Agrinual, 2008). Verificou-se pela Tabela 17 que o tratamento sem irrigação (Tr 01) apresentou um custo total médio de R\$ 332,46/saca, enquanto que nos tratamentos irrigados o custo total médio foi sendo reduzido a medida que se aumentava a lâmina de água aplicada, até o tratamento que recebeu a lâmina de irrigação de 100% Kc, no qual custo total médio foi o menor (R\$ 201,28/saca), em função de sua maior produtividade, o que corresponde a um ganho de 39,46%, quando comparado com o tratamento que não recebeu irrigação.

Na análise econômica feita, observa-se que a partir do Tr 04, situações de lucro supernormal, foram observadas sendo que os custos totais médios (CTMe) de cada tratamento foram inferiores à receita média (RMe). Esta é uma situação em que o investimento paga todos os recursos aplicados na atividade econômica e proporciona um lucro adicional, superior ao de alternativas de mercado. A tendência a médio e longo prazo é de expansão e a entrada de novas empresas para a atividade, atraindo investimentos competitivos.

4.7.2 Ponto de nivelamento

A produtividade mínima por tratamento aplicado, no qual a receita total foi igual ao custo total ($RT = CT$), bem como a produtividade média das duas safras analisadas, estão indicadas na Tabela 18.

Observar-se na Tabela 18 que os tratamentos 01, 02 e 03 apresentaram produtividade abaixo da mínima indicada para que não haja perda econômica, sendo necessário um aumento na produtividade de 32,98, 24,53 e 4,54% (9,63; 9,70 e 2,32 sc ha⁻¹), respectivamente para que a receita se iguale aos custos totais, ou seja, lucro zero. As produções acima do ponto de equilíbrio foram de: 13,6; 4,02 e 0,04 sc ha⁻¹ para os respectivos tratamentos 04, 05 e 06. Esse fato vem ressaltar a superioridade do tratamento 04, quando comparado aos demais. Como o preço da saca de 60 kg de café foi de R\$ 250,00, a lucratividade média por hectare obtida com o melhor tratamento (Tr 04) foi de R\$ 3398,85.

TABELA 18 Ponto de nivelamento e produtividade média, do café, em diferentes tratamentos, provenientes de 2 safras acumuladas, do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).

Tratamentos	Ponto nivelamento (sc ha ⁻¹)	Produtividade média (sc ha ⁻¹)
Tr 01	38,83	29,20
Tr 02	49,22	39,53
Tr 03	53,44	51,12
Tr 04	61,24	74,84
Tr 05	59,89	63,92
Tr 06	60,52	60,56

5 CONCLUSÕES

- Os melhores tratamentos, para a variação dos valores de potencial matricial de água no solo, foram o 4 (100%Kc) para os períodos A e B, e o 3 (80%Kc) para período C e D; justificado pelo menor coeficiente angular.
- Os valores de Kc encontrados para os melhores tratamentos em relação potencial matricial de água no solo nos períodos A, B, C e D foram de 1,32, 1,06, 1,34, 1,23, respectivamente e os valores do produto entre Kp e Kc para os mesmos períodos foram de 1,02, 0,92, 0,97 e 1,08;
- A produtividade média dos tratamentos foi de 27,45 sacas ha⁻¹ safra 2007 e 78,96 sacas ha⁻¹ safra 2008 sendo que a lâmina calculada com base em 100% de Kc, apresentou produtividade média de 104,08 sacas ha⁻¹; e que as produtividades obtidas com o melhor tratamento (Tr 04) na safra 2007 e 2008 foram 200 e 139% respectivamente superiores a produtividade apresentada pelo tratamento não irrigado (Tr 01).
- A irrigação por pivô central da cultura do café utilizando as lâminas de irrigação calculadas com os valores de Kc encontrados neste trabalho é viável economicamente para o município de Lavras, MG.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L.S. **An update for the definition of reference evapotranspiration**. New Delhi: International Commission on Irrigation and Drainage, 1994. 93p.

ALLEN, T.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage, Paper 56).

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA. AGRIANUAL 2008. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2008. p. 224.

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/MINASPLAN, 2000. p.790-793.

BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 1995. 595 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n.8, 11/06/03. **Regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru**. Brasília, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. **Normais Climatológicas: 1961-1990**. Brasília, 1992. 84p.

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

CAMARGO, A. P. de. O clima e cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.126, p. 13-26, jun. 1985.

CAMARGO, A.P; GROHMAN, F.; DESSIMONI, L.M.; TEIXEIRA, A.A. Efeitos na produção de café de épocas de rega e de supressão da água, por meio de cobertura transparente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 21., 1984, Londrina. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1984. p.62-64

CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requeriments of coffee. **Experimental Agriculturae**, Cambridge, v.37, n.1, p.1-36, Jan. 2001.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.187, p.5-20. 1997.

CARVALHO, H. P. **Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café** - Piracicaba, 2008. 173 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M.; BOTREL, N.; JUSTE JÚNIOR, E. S. G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 449-454, mar. 1994.

CONSÓRCIO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO CAFÉ. **Zoneamento climático da cultura do café (Coffea arabica L.) no estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/cafe/MG_menu.html>. Acesso em: 15 jun. 2007.

CRUZ, A. C. R. **Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo**. 2003. 92 p. Tese (Doutorado em Solo e Nutrição das Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q. J.; BOTREL, T. A. et al. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando modelo Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 92-102, dez. 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 1999. 412p.

FARIA, M.A.; SILVA, E.L. de; GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, P.R.; COSTA, E.S.C.; SILVA, M.L.O.; SILVA, A.L. da. Produtividade das três primeiras safras do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari. **Anais ... Araguari**, 2002. p. 29-32

FERREIRA, M. M.; JUNIOR, M. S. D.; MESQUITA, M. G. B.; ALVES, E. A. **Física do solo**. Lavras: UFLA, 2004. 79 p.

FONTES, R.E. **Estudo econômico da cafeicultura no sul de Minas Gerais**. 2001. 94p. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FRANÇA NETO, A.C.F.; MANTOVANI, E.C.; RENA, A. B. Determinação da evapotranspiração de dois cultivares de café arábica na fase de maturação dos frutos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DO CAFÉ DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Vitória: Embrapa Café, 2001. p. 44.

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

FRIZZONE, J.A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 2005. 371 p. (Série Didática, 17).

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

GOMIDE, R. L.; Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 133-238.

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C. 2005. Manejo do cafeeiro irrigado no cerrado com estresse hídrico controlado. **Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, n.65/66, p. 42-45, 2005.

GUTIERREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.119, n.3, p.653-657, June 1994.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic, 1982. 320 p.

JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; PRATT, B. J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 14, n. 5, p. 954-959, Sept./Oct. 1971

LEITE, C. A. M.; SILVA, O. M. da. Demanda de cafés especiais. In: ZAMBOLIM, L. **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 51-75.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 497 p.

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

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo:USP, 2005. 327p.

LIMA, E. P. **Graus-dia, temperatura base e coeficientes de cultura para cafeeiros arábicaem fase de implantação.** 2006. 116 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MAIA, R. M. B. **Disponibilidade de água no solo para a cultura do café no Planalto de Conquista - BA:** análise dos componentes do balanço hídrico. 2004. 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.

MANTOVANI, E. C. A Irrigação do cafeeiro. **Item, Irrigação e Tecnologia,** Brasília, n. 48, p. 45-49, 2000.

MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R; SILVA, T.C. da; MUDRIK, S.A. 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. **Anais ...** Araguari, 2003. p. 98-101.

MATIELLO, J. B.; ABREU, R. G.; ANDRADE, I. P. R. **A cultura do café no Brasil.** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1974. 262p

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil:** novo manual de recomendações. 5.ed. Rio de Janeiro: MAPA/SARC/ PROCAFÉ-SPAE/ DECAF/ FUNDAÇÃO PROCAFÉ, 2005. 438 p.

MATTIELO, J.B. **O café:** do cultivo ao consumo. São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa de evapotranspiração de referência a partir da equação de penman-monteith de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE.** 2002. 103 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MENDONÇA, F.C. Evolução dos custos e avaliação econômica de sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura. In: SANTOS, C. M.; MENDONÇA F.C.; BENJAMIN, M.; TEODORO R.E.F.; SANTOS, V.L.M. **Irrigação da cafeicultura no cerrado**. Uberlândia: UFU, 2001. p. 45 -78.

MIGUEL, A. E.; FRANCO, C. M.; MATIELLO, J. B.; ARAÚJO NETO, K. Influência do déficit hídrico em diferentes épocas após a floração, no desenvolvimento de frutos de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 4., 1976, Caxambú. **Resumos...** Caxambú: IBC, 1976. p. 184-187.

MIRANDA, F. R.; YODER, R. E.; SOUZA, F. Instalação e calibração de um lisímetro de pesagem no projeto de irrigação Curu-Paraipaba, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.1, p.107-110, jan./abr. 1999.

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

OLIVEIRA, J. B. de. Solos para citros. In: RODRIGUES, O.; VIEGA, F.; POMPEU, Jr., J.; AMARO, A. A. (Ed.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 196-227.

OLIVEIRA, L.A.M. **Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do cafeeiro (Coffea arábica L.) irrigado em diferentes épocas do ano**. 2003. 54 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

OLIVEIRA, P.M. **Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (Coffea arabica L.)**. 2003. 86p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

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

PERES, J. G.; PEREIRA, A. R.; FRIZZONE, J. A. Avaliação do modelo de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência padronizada pela FAO. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 6, n. 1, p. 65-75, jun. 1995.

PIRES, R.C.M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; FOLEGATTI, M.V. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. (Ed.). **Irrigação**. Jaboticabal: FUNEP, 2001. v. 1, p. 121-194.

PRADO, H. do. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento agrícola e geotécnico**. 3. ed. rev. ampl. Piracicaba: [s.n.], 2003.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Salesward-Discovery, 1996. 446 p.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo: planta atmosfera**. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.V.; CADIMA, Z.A. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-5, jan./abr. 1979.

REIS, R. P. **Fundamentos da economia aplicada**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 91 p.

REIS, R.P. **Fundamentos da economia aplicada**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2007. 95 p.

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

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **Item: Irrigação & tecnologia moderna**, Brasília, v.48, p.34-41, 2000.

ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; SILVA, F.A.M.; MACHADO JÚNIOR, J.R.R.; ARAÚJO, M.C.; SILVA, H.H. Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 8., 2006, Araguari. **Anais...** Araguari: ACA, 2006. p. 61-64.

ROSE, C.W.; STERN, W.R. Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as function of depth and time. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.5, n.1, p.11-9, 1967.

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

ROTONDANO, A.K.F. **Desenvolvimento vegetativo, produção e qualidade dos grãos do cafeeiro (Coffea arabica L.) sob diferentes lâminas de irrigação**. 2003. 61 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SANTINATO, R. Avanços da tecnologia de irrigação na cultura do café. In: SANTOS, C. M.; MENDONÇA F.C.; BENJAMIN, M.; TEODORO R.E. F.; SANTOS, V.L.M. **Irrigação da cafeicultura no cerrado**. Uberlândia: UFU, 2001. p. 79 - 92.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. 146p.

SEDYAMA, C. G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. Relações clima-água-plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 46-85.

SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática.** 1998. 97 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

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, A.L. da. **Estudo técnico e econômico do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.).** 2002. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, M. L. O. E.; FARIA, M.A.; GARCIA, J. R. S.; MATTIOLI, W. Influência das lâminas de irrigação e da fertirrigação na produtividade acumulada (5 safras) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004. 1 CD ROM.

SILVA, M. L. O. E; FARIA, M. A.; GARCIA, J.R.S.; BORGES, C. T. Produtividade das quatro primeiras safras do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2003. 1 CD ROM.

SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; LUCATO, J.J. Uso racional de energia elétrica em sistemas de irrigação tipo pivô central no estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 22., 1993. Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: SBEA, 1993. p. 2688-2702.

SOARES, A.R. **Efeito da lâmina de irrigação e da porcentagem de área molhada no desenvolvimento e produção do cafeeiro em Patrocínio, MG.** 2005. 63 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

THOMAZIELLO, R. A. OLIVEIRA, E. G. de; TOLEDO FILHO, J. A. de; COSTA, T. E. da. Cultura do café. **Boletim Técnico CATI**, Campinas, n. 193, 77 p. 1999.

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

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance. Publications in Climatology**, New Jersey, v.8, n 1, 104 p. 1955.

TIMM, L.C. **Efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. 2002. 115 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1992. 374 p.

VILELA, L. A. A.; MARTINS, C. de P.; GOMES, N. M. Estudo de diferentes lâminas de irrigação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) desde a fase inicial de formação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 27., 2001 Uberaba. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2001. p. 403-405.

VILLAGRA, M.M.; BACCHI, O.O.S.; TUON, R.L.; REICHARDT, K. Difficulties of estimating evaporation from the water balance equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 72, n. 3-4, p. 317-325, 1995.