

ADILSON RODRIGUES SOARES

**EFEITO DA LÂMINA DE IRRIGAÇÃO E DA PORCENTAGEM DE  
ÁREA MOLHADA NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DO  
CAFEIRO EM PATROCÍNIO, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2005

ADILSON RODRIGUES SOARES

**EFEITO DA LÂMINA DE IRRIGAÇÃO E DA PORCENTAGEM DE  
ÁREA MOLHADA NO DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DO  
CAFEIRO EM PATROCÍNIO, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 24 de junho de 2005.

---

Dr. Maurício Bernardes Coelho

---

Dr. Antônio de Pádua Alvarenga

---

Prof. Elias Fernandes de Sousa

---

Prof. Márcio Mota Ramos

---

Prof. Everardo Chartuni Mantovani  
(Orientador)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) e do Programa de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, pela oportunidade de realizar este treinamento.

Ao meu orientador, Everardo Chartuni Mantovani, pelo apoio, pelo incentivo e pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café e ao Núcleo de Cafeicultura Irrigada, por ter financiado este trabalho.

À minha esposa, Sandra, e aos meus filhos, Bruno e Bárbara, pelo carinho, pelo apoio e pela compreensão nas horas difíceis.

Aos meus pais, Osvaldo Rodrigues Soares e Maria Alves Soares, e aos meus irmãos e cunhados, pelo incentivo, pela amizade e pelo apoio.

Ao professores Alemar Braga Rena, Antônio Alves Soares e ao Dr. Mauricio Bernardes Coelho, pelo convívio, pelos ensinamentos e pela assistência durante os trabalhos.

Aos meus amigos do Projeto Café, Marcelo Rossi, Carlos Alberto Villioti, Cleiber Geraldo dos Reis e Alessandro Freitas, pelo incentivo e pela colaboração nos experimentos de campo.

Aos amigos da pós-graduação, Edson Vieira, Ricardo Amorim, Geraldo Magela, Patrícia Queiroz, Salomão Medeiros, Rafael Batista de Oliveira, Élio

Almeida Cordeiro e José Alberto, pela convivência diária, pela troca de conhecimentos e pela amizade sincera.

Aos funcionários do DEA, Chicão, Edna, Marcos, Galinari, Chiquinho, Juvercindo, Eduardo e Zé Mauro, pela colaboração e amizade.

A todos os colegas que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para o bom andamento deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

ADILSON RODRIGUES SOARES, filho de Osvaldo Rodrigues Soares e Maria Alves Soares, nasceu em 15 de setembro de 1964, em Capitólio-MG.

Em 1990, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG, graduando-se em julho de 1995.

De julho de 1995 a março de 1998, trabalhou como gerente da Fazenda Diamantina de Santo Antônio, em São Sebastião do Paraíso-MG, cuja principal atividade é a cafeicultura.

Em abril de 1998, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de mestrado, em Engenharia Agrícola, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, com área de concentração em Irrigação e Drenagem, concluindo-o em agosto de 2001.

Em agosto de 2001, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de doutorado, em Engenharia Agrícola, no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, com área de concentração em Irrigação e Drenagem, concluindo-o em julho de 2005.

## CONTEÚDO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Efeitos da irrigação no desenvolvimento vegetativo da parte aérea do cafeeiro .....	4
2.2. Efeitos da irrigação na produtividade do cafeeiro .....	5
2.3. Porcentagem de área molhada (PAM) .....	6
2.4. Estrutura do sistema radicular	8
2.4.1. Classificação das raízes .....	8
2.5. Distribuição e a morfologia do sistema radicular .....	10
2.5.1. Fatores que afetam a distribuição e a morfologia do sistema radicular .....	10
2.6. Manejo da irrigação com o software IRRIGA-GESAI .....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.1. Características da área experimental .....	17

	<b>Página</b>
3.2. O manejo da irrigação .....	18
3.2.1. Evapotranspiração da cultura de referência (ET <sub>o</sub> ).....	18
3.2.2. Evapotranspiração da cultura (ET <sub>c</sub> ).....	19
3.2.3. O coeficiente de cultura (k <sub>c</sub> ) .....	19
3.2.4. O coeficiente k <sub>l</sub> .....	20
3.2.5. O coeficiente k <sub>s</sub> .....	20
3.3. Características do solo.....	21
3.4. Caracterização dos tratamentos .....	22
3.4.1. Experimento 1 .....	22
3.4.1.1. Avaliação do efeito da variação da lâmina de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade do cafeeiro	22
3.4.2. Experimento 2 .....	23
3.4.2.1. Avaliação da influência da PAM sobre o desenvolvimento e a estrutura do sistema radicular do cafeeiro .....	23
3.5. Avaliação do desenvolvimento vegetativo e da produtividade ...	24
3.6. Avaliação do sistema radicular.....	24
3.7. Análise estatística .....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1. O manejo da irrigação.....	29
4.2. Efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro .....	34
4.3. Efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade do cafeeiro.....	37
4.4. Efeito da PAM sobre a produtividade do cafeeiro .....	46
4.5. Efeito da PAM sobre o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular do cafeeiro .....	48
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
1 Relação existente entre o volume radicular molhado e as porcentagens de transpiração em macieiras jovens .....	6
2 Valores de kc, duração das fases e porcentagem de área sombreada utilizados pelo IRRIGA-GESAI para cafeeiros cultivados em renque e espaçamento entre as linhas variando de 3,6 a 4 m .....	20
3 Composição granulométrica, classificação textural e massa específica do solo da área experimental .....	21
4 Valores de retenção de água do solo (% umidade em peso) para distintos níveis de tensão de água no solo, para a área experimental.....	22
5 Lâminas de irrigação e vazões a serem aplicadas por tratamento .....	23
6 Valores de porcentagem de área molhada e largura da faixa molhada para os respectivos tratamentos .....	23
7 Valores de altura de planta, diâmetro de caule e diâmetro de copa nos anos-safra 2002/2003 e 2003/2004.....	34
8 Teste F para os parâmetros de crescimento vegetativo entre os contrastes estabelecidos .....	35

	<b>Página</b>
9	Produtividade em sacas por hectare para os anos-safra 2002/2003 e 2003/2004 e média das duas safras ..... 38
10	10 Valores de F para as comparações de produtividade para os anos-safra 2002/2003 e 2003/2004 e média das duas safras ..... 39
11	Lâminas de irrigação aplicadas e déficits hídricos sofridos por tratamento, nas respectivas fases reprodutivas do cafeeiro, no ano-safra 2002/2003 ..... 40
12	Lâminas de irrigação aplicadas e déficits hídricos sofridos por tratamento, nas respectivas fases reprodutivas do cafeeiro, no ano-safra 2003/2004 ..... 41
13	Rendimento (em litros) de café da roça necessário para produzir uma saca beneficiada ..... 44
14	Resultado da análise foliar para os diferentes tratamentos, realizada em julho de 2004 ..... 45
15	Valores de produtividade em sacas por hectare para os dois anos safra estudados e produtividade média obtida para os respectivos tratamentos ..... 47
16	Distribuição de raízes em miligramas por decímetro cúbico, para raízes finas, médias e grossas respectivamente, para os tratamentos P1, P2 e P3 conforme a posição e profundidade. 52
17	Comprimento de raízes em centímetros por decímetro cúbico, para raízes finas, médias e grossas para os tratamentos P1, P2 e P3 conforme a posição e profundidade ..... 53

## LISTA DE FIGURAS

		<b>Página</b>
1	Curvas de variação porcentual da produtividade, em função da PAM para regiões de baixa e alta precipitação .....	7
2	Representação esquemática de um sistema radicular padrão do cafeeiro .....	9
3	Distribuição do sistema radicular típico do cafeeiro no Brasil .	15
4	Chapas cravadas delimitando o tamanho do bloco de solo ....	25
5	Blocos após retirados, prontos para lavagem e separação das raízes.....	25
6	Lavagem das raízes com o uso de jato de água.....	26
7	Raízes após a primeira lavagem, impregnadas com partículas de argila .....	26
8	Raízes após a segunda lavagem, livres das partículas de argila.....	26
9	Raízes após a classificação em raízes grossas, médias e finas.....	27
10	Relação entre os valores de umidades do solo (% em peso) estimados pelo IRRIGA-GESAI e medidos em campo pelo método-padrão de estufa, para a profundidade de 0-60 cm, para T5.....	30

	<b>Página</b>
11	Curva de evolução da umidade do solo para T1 ..... 31
12	Curva de evolução da umidade do solo para T2..... 31
13	Curva de evolução da umidade do solo para T3..... 32
14	Curva de evolução da umidade do solo para T4..... 32
15	Curva de evolução da umidade do solo para T5, T6 e T7 ..... 33
16	Temperatura média mensal ocorrida nos anos 2002, 2003, 2004, temperatura média mínima e máxima ideal para desenvolvimento do cafeeiro..... 36
17	Curva de evolução da umidade do solo para T4 utilizando kl Keller-Bliesner para determinação da ETc..... 43
18	Curvas de regressão polinomial obtidas para a produtividade média das duas safras e produtividade média simulada em função das lâminas de irrigação aplicadas ..... 47
19	Precipitação média mensal da série histórica, ETc, e precipitações mensais ocorridas nos anos-safra 2002/2003 e 2003/2004 ..... 49
20	Curva de variação da umidade do solo para P1 ..... 50
21	Curva de variação da umidade do solo para P2 e P3 ..... 50
22	Distribuição do sistema radicular do cafeeiro para o P1 ..... 54
23	Distribuição do sistema radicular do cafeeiro para o P2 ..... 54
24	Distribuição do sistema radicular do cafeeiro para o P3 ..... 55

## RESUMO

SOARES, Adilson Rodrigues, D.S., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2005. **Efeito da lâmina de irrigação e da porcentagem de área molhada no desenvolvimento e produção do cafeeiro em Patrocínio, MG.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Alemar Braga Rena, Antônio Alves Soares e Mauricio Bernardes Coelho.

A expansão da cafeicultura em áreas consideradas marginais tem tornado obrigatório o uso da irrigação. A cada ano esta expansão é maior, com abertura de novas áreas no oeste baiano, Mogiana Paulista, nas regiões norte, leste e no Triângulo de Minas Gerais, sendo este último onde se encontram as maiores áreas de cafeeiros irrigados, o que torna imprescindível o desenvolvimento de pesquisas que venham a criar novas tecnologias com intuito de aumentar a produtividade e reduzir os custos de maneira ambientalmente correta. Informações sobre o efeito da irrigação na produtividade na fisiologia da parte aérea e do sistema radicular do cafeeiro é de suma importância para a cafeicultura irrigada. Com o objetivo geral de estudar os efeitos da irrigação localizada sobre a produção e o desenvolvimento fisiológico do cafeeiro, nas condições edafoclimáticas do município de Patrocínio Minas Gerais, realizou-se o presente estudo, que foi conduzido na Fazenda Experimental da EPAMIG, em um cafeeiro da variedade Rubi com cinco anos de idade, com espaçamento 3,5 m entre as linhas e

0,65 m entre as plantas. Avaliou-se a influência da irrigação localizada e da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre: o desenvolvimento vegetativo da parte aérea do cafeeiro, a produtividade e a estrutura e a distribuição do sistema radicular do cafeeiro irrigado com variação da porcentagem de área molhada (PAM). A altura de planta e o diâmetro de copa foram afetados positivamente pela variação da lâmina de irrigação a partir de 75% da ETc, sendo superior aos demais a 5% de significância. Para o parâmetro diâmetro de caule não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos aplicados nos dois anos estudados. As maiores produtividades foram alcançadas com aplicação das maiores lâminas, não havendo diferença estatística entre os tratamentos a partir da lâmina de 75% da ETc. Para o ano estudado, a variação da PAM não afetou a produtividade, não havendo neste período boa distribuição das chuvas. O aumento da PAM promoveu uma distribuição do sistema radicular.

## ABSTRACT

SOARES, Adilson Rodrigues, D.S., Universidade Federal de Vicosa, June 2005. **Effect of applying different irrigation blades and percentage of wetted area on coffee physiology and productivity in Patrocínio-MG.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee Members: Alemar Braga Rena, Antonio Alvares Soares and Mauricio Bernardes Coelho.

Coffee culture expansion in areas considered marginal has made the use of irrigation mandatory. New areas are opening in western Bahia, Mogiana Paulista, and in the northern, eastern and Triângulo-Minas Gerais regions, Triângulo being the area where the largest irrigated coffee areas are found. Thus, it is indispensable to develop research to create new technology to increase productivity and reduce costs in a sustainable way. Information on the effect of irrigation on the productivity and physiology of the aerial part and root system of the coffee plant is vital for irrigated coffee culture. This work was carried out on Epamig Experimental farm in Patrocínio-MG, in a 5-year –old Ruby variety coffee plantation, spaced 3.5 between the lines and 0.65 between the plants to study the effects of localized irrigation on the production and physiological development of coffee plants, under the edaphoclimatic conditions of Triângulo-Minas Gerais. The effect of localized irrigation and application of different irrigation blades on the vegetative development of the aerial part, productivity and root system structure and distribution of coffee plants irrigated

with wetted area percentage (WAP). Plant height and canopy diameter were affected by irrigation blade variation from 75% of the recommended blade, being superior to the others at 5% significance. No differences were found for the parameter stem diameter among the treatments applied over the two years studied. The highest productivities were obtained by applying the highest blades, with no difference being found among the treatments from 75% of the blade recommended. WAP variation did not affect productivity for the year studied, which lacked good rainfall distribution. WAP increase did not affect root system distribution.

## 1. INTRODUÇÃO

Os primeiros trabalhos experimentais com cafeicultura irrigada foram realizados no Instituto Agronômico de Campinas a partir de 1946, mas somente após 1984, com a expansão da cafeicultura em áreas consideradas marginais à cultura devido aos déficits hídricos prolongados, os estudos da irrigação do cafeeiro tomaram vultos, tendo como principais obstáculos a falta de sistemas de irrigação disponíveis no mercado adaptados à cultura e à inexistência de programas de manejo da irrigação (MANTOVANI, 2002).

A agricultura irrigada moderna dispõe de tecnologia apropriada para tornar aptas para a cafeicultura regiões com períodos extensos de deficiências hídricas, como o Triângulo Mineiro, o oeste da Bahia e o cerrado de Goiás. Até mesmo em regiões como Alto Mogiana Paulista, Sul e Zona da Mata de Minas, onde não se utilizava a irrigação, hoje ela já é prática comum para os cafeicultores, devido à variabilidade climática nessas regiões, o que pode aumentar o risco de perdas na safra (FERNANDES et al., 2000).

É importante considerar que a necessidade hídrica do cafeeiro depende de vários aspectos, destacando-se a fase da cultura, o espaçamento, o índice de área foliar, os aspectos nutricionais e fitossanitários, entre outros. Pequenas reduções na disponibilidade de água podem afetar o crescimento, ainda que não se observem murcha nas folhas ou quaisquer outros sinais visíveis de déficit hídrico.

A redução no crescimento significa menor produção de nós disponíveis para a formação de flores, acarretando, conseqüentemente, queda na produção de frutos. Deste modo, a compreensão das relações hídricas no cafeeiro e de suas implicações ecofisiológicas pode oferecer subsídios ao técnico e ao cafeicultor, para que possam avaliar melhor a importância da água para o crescimento vegetativo e reprodutivo dessa cultura.

Os estudos que tratam deste assunto são escassos e recentes, como os trabalhos conduzidos por FERNANDES et al. (1998), KARASAWA. (2001) e MARTINS et al. (2002). Estes estudos tiveram como objetivo avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento vegetativo e a produtividade de cafeeiros, mostrando que variações de lâminas afetam diretamente a produtividade por meio da redução de parâmetros de desenvolvimento vegetativo da parte aérea do cafeeiro.

É consenso que as raízes são fundamentais para o desenvolvimento das plantas superiores, atuando como elementos de suporte, de absorção de água e nutrientes e, ainda, como produção de compostos importantes para sua fisiologia e para as demais partes das plantas. O estudo do sistema radicular, sob condições naturais, é muito difícil e laborioso. Por esta razão, sabe-se muito pouco sobre a morfologia, a distribuição e a fisiologia deste órgão (RENA et al., 2000).

No caso do cafeeiro, a situação não é diferente, pois apesar de vários autores se dedicarem a este estudo, existem até hoje divergências sobre a distribuição no perfil do solo, a fisiologia e as dimensões do sistema radicular do cafeeiro.

O conhecimento do sistema radicular do cafeeiro é de extrema importância para o manejo da lavoura, pois associado a fatores edafoclimáticos, um sistema radicular bem desenvolvido promoverá melhor absorção de nutrientes e melhor aproveitamento de fungicidas e inseticidas quando estes são aplicados via solo.

As características do sistema radicular estão diretamente relacionadas com as características das espécies e dos cultivares. Estas são também afetadas por variações para um mesmo cultivar, como a idade da planta, a carga pendente, as características químicas e físicas do solo, a poda, o adensamento, as infestações de pragas e doenças e o teor de água do solo.

A irrigação do cafeeiro, de modo geral, é feita por sistema de irrigação localizada (gotejamento e pivô com emissores de aplicação localizada), que aplica água no solo próximo à zona radicular, ou sistemas de irrigação com aplicação de água em área total (aspersão e pivô convencional). Acredita-se que a irrigação localizada pode promover uma concentração do sistema radicular no bulbo molhado, que é o volume de solo que armazena a água aplicada, já que fato semelhante acontece quando a adubação é feita sempre do mesmo lado das plantas, o que foi observado e caracterizado por RENA et al. (2000), porém não há evidências científicas se isto realmente ocorre.

Em solos do Triângulo de Minas, região na qual se encontram as maiores áreas de café irrigado, são raras as informações sobre os efeitos das variações de lâminas de irrigação e da porcentagem de área molhada (PAM), para a cultura do cafeeiro.

Considerando o exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral estudar os efeitos da irrigação sobre a produção e o desenvolvimento fisiológico do cafeeiro, nas condições edafoclimáticas de Patrocínio-MG, e como objetivos específicos:

- avaliar a influência da irrigação localizada e da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento vegetativo da parte aérea do cafeeiro e sua produtividade; e

- avaliar a estrutura e a distribuição do sistema radicular do cafeeiro irrigado com variação da porcentagem de área molhada (PAM).

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Efeitos da irrigação no desenvolvimento vegetativo da parte aérea do cafeeiro**

Não é novidade que a produção do cafeeiro ocorre nos ramos desenvolvidos no ano anterior e, neste caso, existe uma relação direta entre o desenvolvimento, a produtividade e o crescimento vegetativo, medido em números de entrenós emitidos. MALAVOLTA (1986) chama a atenção para a importante relação entre o número de folhas e o número de gemas reprodutivas, pois uma desfolha acentuada pode afetar a produtividade do ano seguinte.

Estudos têm mostrado que variações de lâminas de irrigação afetam diretamente a produtividade por meio da redução de parâmetros de desenvolvimento vegetativo como o diâmetro de caule, o diâmetro de copa, o número de ramos plagiotrópicos emitidos e a altura de planta. KARASAWA (2001) relata que quanto maior a lâmina de irrigação aplicada, resguardando certo limite, maiores a altura das plantas e o diâmetro de caule, para a variedade Topázio, no município de Lavras-MG.

FERNANDES et al. (1998), KARASAWA (2001) e MARTINS et al. (2002) relataram a importância da irrigação no desenvolvimento vegetativo do cafeeiro, evidenciando também a influência de tal desenvolvimento na sua produtividade e, conseqüentemente, na lucratividade do produtor.

## **2.2. Efeitos da irrigação na produtividade do cafeeiro**

A irrigação do cafeeiro pode ter o objetivo de eliminar o déficit hídrico durante todo ciclo da cultura ou em fases específicas, sendo este segundo objetivo mais comum em áreas com déficit hídrico moderado, que ocorre em fases fenológicas importantes, proporcionando perdas na produção e na qualidade final do produto.

A água é de vital importância para todo o ciclo do cafeeiro, porém na frutificação existem três estádios onde o déficit hídrico pode afetar com maior intensidade a produtividade; sendo eles, o período pré-florada, o da expansão do fruto e o do enchimento dos grãos. No período pré-florada, que normalmente ocorre entre os meses de maio a setembro, o déficit hídrico severo pode provocar a má-formação dos botões florais, bem como a queda destes, afetando assim a produtividade.

Na fase de expansão do fruto, que ocorre entre meados de outubro e dezembro, o déficit hídrico pode provocar a queda de frutos e afetar o crescimento do pergaminho que limitará o tamanho do grão.

No estágio de enchimento do grão, que ocorre entre os meses de janeiro e março, o déficit hídrico acentuado poderá causar má-formação dos grãos, apresentando grãos pequenos e, ou, frutos com lóculos vazios, os denominados grãos chochos.

O tamanho final da cereja depende acentuadamente da lâmina d'água aplicada e das precipitações ocorridas entre a 10<sup>a</sup> a e 17<sup>a</sup> semana após o florescimento, período que corresponde à fase de expansão rápida do fruto. A expansão celular, que delimita o tamanho da semente e que caracteriza essa fase, é sensível ao déficit hídrico (RENA e MAESTRI, 1987).

Em regiões com déficit hídrico anual superior a 150 mm (áreas marginais) e nas regiões em que o déficit hídrico não é fator limitante, mas que estão sujeitas à ocorrência de veranicos ou secas prolongadas nos períodos críticos, a irrigação é essencial para se obter elevada produtividade em cafeeiros (FARIA & REZENDE, 1997).

### 2.3. Porcentagem de área molhada (PAM)

Os projetos de irrigação localizada são normalmente dimensionados para aplicar água no solo com alta frequência e baixa intensidade, molhando apenas parte da superfície do solo, o que proporciona a diminuição da perda de água por evaporação, efeito causado pela redução superfície de solo molhada.

Black<sup>1</sup> et al. (1974), citados por LÓPEZ et al. (1992), estudaram a resposta da transpiração de macieiras a um volume restrito de solo molhado e seus efeitos na atividade fotossintética desta cultura e encontraram que a queda da atividade fotossintética foi muito pequena à medida que se reduziu o volume radicular molhado (Tabela 1); portanto, os autores concluíram que não há necessidade de se molhar todo o volume de solo ocupado pelas raízes.

Tabela 1 – Relação existente entre o volume radicular molhado e as porcentagens de transpiração em macieiras jovens

Volume radicular molhado (%)	Transpiração (%)
100	100
75	94
50	88
25	74

Fonte: LÓPEZ et al. (1992), adaptado de Black et al. (1974).

KELLER e KARMELI (1975) foram os primeiros a propor o conceito de porcentagem de área molhada (PAM), que consiste na relação existente entre a área da superfície molhada no solo pelo emissor e a área total explorada pela cultura. Como a área molhada máxima não ocorre na superfície do solo, mas, sim, a alguns centímetros de profundidade, e como a frente de molhamento no ponto de emissão do gotejador tende a formar um bulbo, alguns autores (MERRIAM e KELLER, 1978; KELLER e BLIESNER, 1990) propuseram medir as dimensões deste bulbo a uma profundidade que varia de 15 a 30 cm.

De acordo com KELLER e KARMELI (1975), não existe um valor mínimo estabelecido para a PAM. LÓPEZ et al. (1992) recomendam que, para culturas

<sup>1</sup> BLACK. J. D. F.; WEST, D. W. *Water uptake by an apple tree with various proportions of the root system supply with water*. California: Drip. Irrigation Proceedings, 1974. p. 432-433.

com maior espaçamento, a porcentagem de área molhada deve ter um valor mínimo de 20% em regiões úmidas, onde a irrigação é realizada em períodos secos, e entre 33 e 50% em regiões de baixa precipitação. Já KELLER e BLIESNER (1990) sugerem que, para culturas com maiores espaçamentos, a PAM deve estar entre 33 e 67%.

KELLER e KARMELI (1975) apresentam um gráfico (Figura 1) que mostra a relação entre a variação percentual da produtividade em função da PAM para regiões de baixa e alta precipitação. Observa-se que em regiões de alta precipitação a produtividade máxima (100%) é atingida com PAM 22%, e em regiões de baixa precipitação a produtividade máxima é atingida com valor de PAM 33%. Para este último caso, o aumento da PAM de 25 para 33% proporciona um ganho na produtividade de 20%.

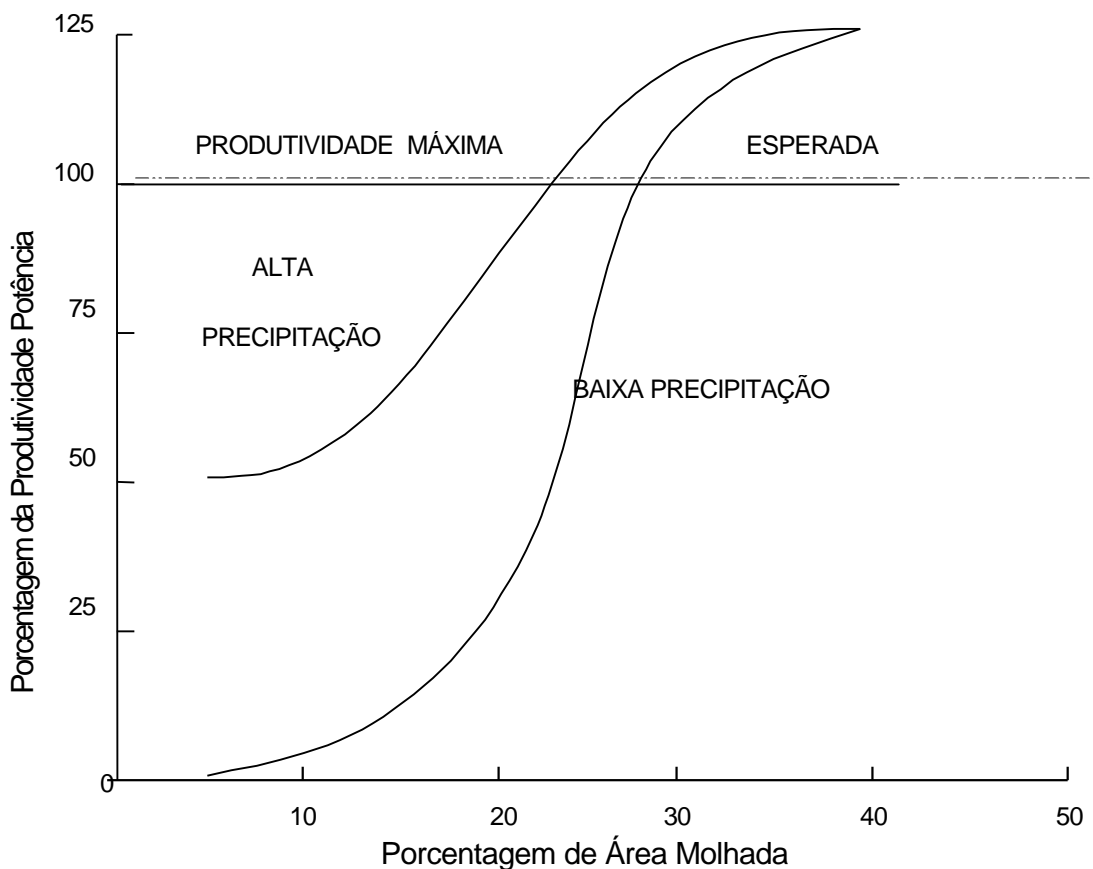


Figura 1 – Curvas de variação percentual da produtividade, em função da PAM para regiões de baixa e alta precipitação.

Segundo BERNARDO et al. (2005), a porcentagem de área molhada depende do espaçamento e da vazão dos gotejadores, do tempo de aplicação de água e do tipo de solo. Na determinação da PAM, dois casos devem ser considerados: quando existe a formação de uma faixa contínua, o que acontece mais freqüentemente em culturas com espaçamento pequeno entre as plantas, como é o caso do cafeeiro, e quando não se forma uma faixa contínua e sim áreas molhadas distintas por árvore, freqüentemente encontrado em irrigações onde o cultivo é mais espaçado, mais comum para algumas frutíferas.

## **2.4. Estrutura do sistema radicular**

As características do sistema radicular variam muito de acordo com a espécie e os cultivares. Além do mais, a idade da planta, a carga de frutos, a densidade de plantio, o clima, as pragas e as doenças, a poda, os métodos de cultivos, o tipo e a fertilidade do solo, bem como o teor e a localização da água do solo, podem alterar o plano geral do desenvolvimento radicular.

O estudo das raízes de determinada planta deve primeiramente focar a morfologia do sistema radicular como um todo, analisando as variações que este sofre em razão dos fatores ambientais. Em segundo lugar, deve contemplar a avaliação da área de absorção do sistema radicular, sua distribuição dentro do sistema radicular e ao longo do perfil do solo, informando sobre a densidade de raízes absorventes (NUTMAN, 1934; HUXLEY 1976). Por fim, deve-se determinar a área efetiva de absorção (HUXLEY et al., 1974).

Na Figura 2 apresenta-se a estrutura radicular proposta por NUTMAN (1933) e em seguida a classificação proposta por este autor, com algumas alterações propostas por RENA et al. (2000).

### **2.4.1. Classificação das raízes**

Raízes grossas ou permanentes são aquelas com diâmetros superiores a 3 mm, com função de suporte e fixação das plantas, armazenamento de substâncias orgânicas como amido, suporte das raízes absorventes e transporte de substâncias, sendo classificadas como:

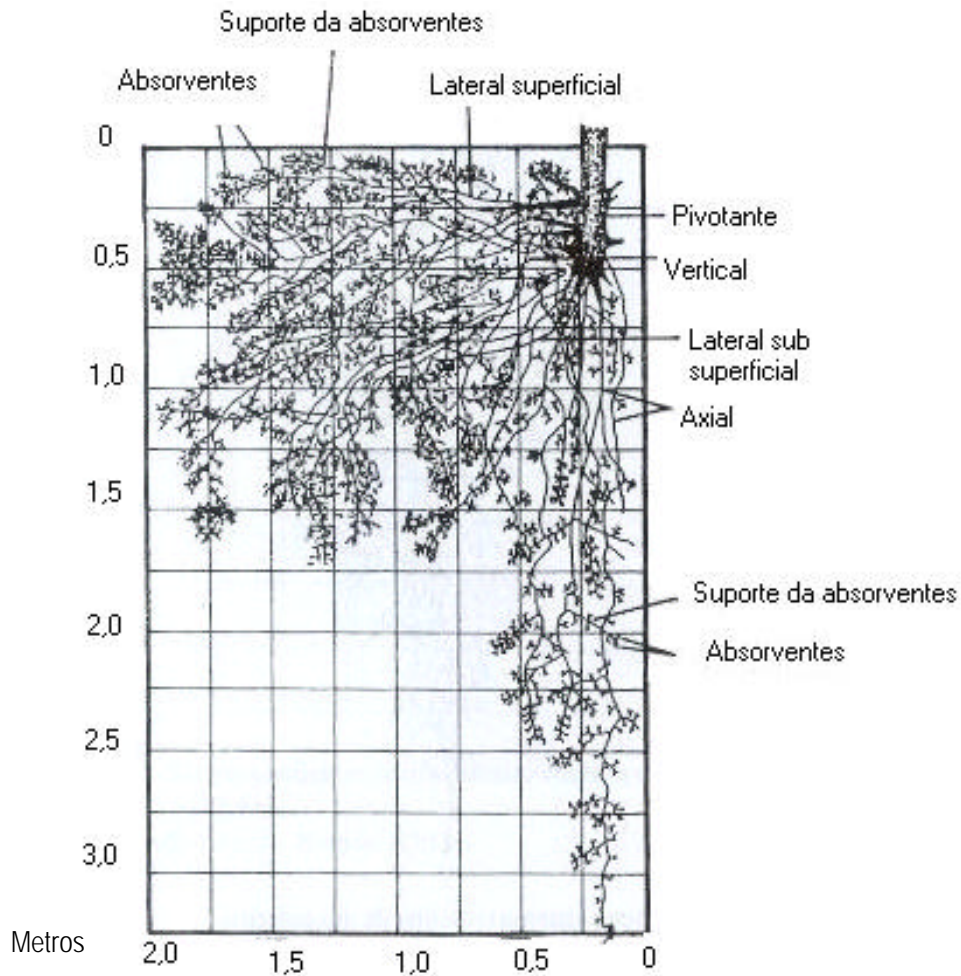


Figura 2 – Representação esquemática de um sistema radicular padrão do cafeeiro.

a) As pivotantes são raízes curtas e grossas, freqüentemente múltiplas, terminando abruptamente e raramente atingindo mais de 45 cm de profundidade. Por esta razão não se pode afirmar que o cafeeiro possui uma raiz pivotante típica (exceto em algumas circunstâncias), mas sim pseudopivotante, o que segundo FRANCO et al. (1946), HAARER (1961) e FOURNIER (1988), ocorre principalmente aos sistemas de formação de mudas e de plantio normalmente utilizados, os quais danificam irreversivelmente a raiz primária.

b) Raízes axiais apresentam crescimento de padrão vertical descendente, logo abaixo do tronco, em número de 4 a 8, e geralmente se ramificam da pivotante, podendo alcançar profundidades de até 3 m, com ramificações em todas as direções e profundidades.

c) Raízes verticais são raízes ou porções radiculares que, após certo crescimento em um plano horizontal e lateral, mudam a direção de desenvolvimento para o sentido vertical descendente.

d) Raízes laterais são aquelas que crescem de forma mais ou menos paralela à superfície do solo, sendo classificadas em dois grupos; as primeiras desenvolvem-se próximas à superfície do solo, chegando a 2 m de distância do tronco. Em geral ramificam-se horizontalmente, podendo, em alguns casos, ter crescimento descendente. Esse fenômeno geralmente ocorre na projeção da copa; e as segundas são raízes mais profundas que as anteriores, ramificam-se livre e uniformemente no solo, podendo, em alguns casos, ter crescimento vertical.

Raízes finas ou absorventes apresentam diâmetro inferior a 3 mm, estando mais associadas aos processos de absorção, biossínteses diversas e transporte de substâncias.

a) Raízes suportes das raízes absorventes são raízes secundárias associadas muito mais à forma da arquitetura radicular absorvente do que ao processo de absorção. Formam-se sobre as raízes permanentes primárias, sendo pouco espessas e cutinizadas e, em geral, não apresentam pêlos absorventes.

b) Raízes absorventes ou alimentadoras são raízes curtas, de diâmetro menor que 1 mm, esbranquiçadas, túrgidas, com pêlos absorventes bem desenvolvidos, sendo associadas exclusivamente à absorção. Normalmente se originam das raízes-suporte, podendo, às vezes, formar-se nas porções mais jovens das permanentes primárias. Somente as raízes absorventes não são consideradas parte permanente do sistema radicular.

## **2.5. Distribuição e a morfologia do sistema radicular**

### **2.5.1. Fatores que afetam a distribuição e a morfologia do sistema radicular**

É difícil descrever um sistema radicular ideal para o cafeeiro, tendo em vista as variações que ele pode apresentar. Segundo RENA e DAMATTA (2002), o desenvolvimento radicular é complexo e influenciado, em diferentes graus, por vários fatores. Vários pesquisadores são enfáticos em afirmar que a

conformação do sistema radicular depende, em primeiro lugar, da carga genética da planta e, depois, das propriedades e características do solo, como a fertilidade, o teor de água, o arejamento, a densidade, a resistência mecânica etc.

Quando o cafeeiro é obtido a partir de sementes, sem transplante e cultivado em um ambiente edafoclimático ideal, seu sistema radicular adquire forma e distribuição ditadas por sua constituição genética, podendo apresentar raiz pivotante que ultrapasse a 1,0 m de profundidade. Entretanto, essas características morfológicas dificilmente se expressam com as técnicas atuais de formação de mudas e transplantes, em adição às condições ambientais continuamente variáveis do solo e do clima. Assim, as condições de solo, em primeiro lugar, e as de clima e de manejo, em segundo, passam a ser as que determinam o crescimento e a configuração do sistema radicular do cafeeiro (RENA e DAMATTA, 2002).

O crescimento e a atividade das raízes dependem significativamente da disponibilidade de água para manter um certo nível de turgescência em suas células. Desidratações mais severas e prolongadas, especialmente na superfície do solo, podem causar morte de raízes. Entretanto, as raízes mais profundas no solo, onde há maior disponibilidade de água, crescem normalmente, desempenhando papel fundamental para a sobrevivência e a produção das plantas. Daí a grande importância de se obter cafeeiros não irrigados com sistemas radiculares profundos.

Segundo RENA e DAMATTA (2002), parece consensual que um sistema radicular bem desenvolvido é fundamental para o sucesso de um cafezal, na medida em que as raízes atuam como elementos de suporte na matriz física do solo e como órgãos de absorção de água e de minerais, de produção de várias substâncias orgânicas complexas, vitais à planta, além de local de armazenamento de diversos nutrientes, em certos estádios fenológicos, como minerais, amido e aminoácidos.

Guiscafré-Arrilaga e Gomez<sup>2</sup> (1942), citados por RENA e DAMATTA (2002), conduziram três trabalhos sobre o sistema radicular do cafeeiro Arábica. O primeiro foi realizado em um solo “Coloso Clay”, de boa fertilidade, pH 4,6 e deficiente em aeração na estação das chuvas, pelo fato de o lençol freático estar elevado nesse período. Encontraram 94% das raízes nos primeiros 30 cm de profundidade e praticamente 100% do sistema radicular nos primeiros 60 cm do solo. A elevada concentração de raízes na superfície do solo foi atribuída à elevada quantidade de matéria orgânica, à maior umidade e ao melhor arejamento ali existente.

No segundo estudo realizado em um solo denominado “Catalina Clay”, mais pobre e ácido que o “Coloso Clay”, porém com melhor drenagem até aproximadamente 1,30 m de profundidade, observou-se que 95-98% das raízes também se concentravam nos primeiros 30 cm de profundidade.

O último trabalho foi feito no solo “Catalina Clay”, bem plano, com cafeeiros de 21 anos de idade, estabelecidos sob sombra. O solo era de baixa fertilidade, compacto, mas, neste caso, bem arejado e uniforme. Os resultados são também semelhantes aos anteriores, com 94% do sistema radicular concentrado nos primeiros 30 cm de profundidade.

SAÍZ DEL RIO et al. (1961) conduziram um trabalho em um solo franco-argilo-arenoso, em Turrialba (Costa Rica), à altitude de 600 m e precipitação anual de 2.600 mm, cultivado com cafeeiro Bourbon de sete anos de idade, sombreado. Rubídio radioativo (<sup>86</sup>RB) foi aplicado ao solo a 5, 25 e 45 cm de profundidade e às distâncias de 31, 93, 156 e 218 cm do tronco do cafeeiro. A atividade radicular foi determinada aos oito dias após a aplicação do <sup>86</sup>RB, pela estimativa da radioatividade nas folhas. Observaram-se mais de 95% das raízes absorventes ativas nos primeiros 25 cm de profundidade. Em relação à atividade lateral na profundidade de 5 cm foram observados aproximadamente 80% do total absorvido a 31 cm e mais de 95% a 93 cm do tronco. Os autores concluíram que a maioria das raízes absorventes ativas do cafeeiro estava próxima à superfície do solo e relativamente próxima ao tronco da planta.

---

<sup>2</sup> GUISCAFRE-ARRIGALA, J.; GÓMEZ, L. A. Studies of root system of *Coffea arabica* L.: III growth and distribution of roots of 21 years old trees in Catalina clay soil. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, Rio Piedras, v. 24, p. 109-117, 1940.

Um outro trabalho foi realizado na Tanzânia, conduzido por BULL (1963), com clones de café Arábica de 20 anos de idade, obtidos por estaquia, para evitar influências genéticas, e conduzidos com uma haste por planta. As plantas foram cultivadas em solo vulcânico, profundo e franco-argiloso e submetidas, durante os dez primeiros anos, a três níveis de irrigação (0, 50 e 100 mm de água a cada 14 dias) e três níveis de cobertura morta (0, 20 e 50 kg de restos de bananeira por planta), e à metade desses valores nos últimos dez anos. A profundidade de penetração das raízes pivotante e axial foi reduzida pela irrigação e aumentada pela cobertura morta. O desenvolvimento das raízes laterais primárias e secundárias foi aumentado pela cobertura morta, apesar de os sistemas radiculares maiores e mais bem-estruturados terem sido obtidos com a combinação de cobertura morta e irrigação. Essas características assemelham-se às lavouras adensadas e irrigadas nas quais a cobertura morta é abundante, portanto poderia-se ter uma situação semelhante à descrita aqui.

MATIELO e SOUZA DANTAS (1987) estudaram o sistema radicular do cultivar Catuaí, no espaçamento de 2 x 1 m, aos três anos de idade, com e sem irrigação, em Brejão, Pernambuco. As raízes finas, grossas e médias foram analisadas a 30, 60 e 90 cm de profundidade. Os autores concluíram que as plantas irrigadas apresentaram sistema mais volumoso; que as maiores diferenças foram observadas nas raízes grossas e médias; e que há tendência de se encontrar um sistema radicular mais profundo nas plantas não-irrigadas, com maior concentração das raízes entre 60 e 90 cm.

Cordeiro et al.<sup>3</sup>. (1988), citados por RENA e DAMATTA (2002), estudaram sistema radicular de um cafeeiro de 6 anos, implantado em solo fértil e com declividade mediana, em Ponte Nova, Zona da Mata de Minas Gerais. Concluíram que o sistema radicular acompanha a declividade do terreno, sendo bem mais volumoso do lado de cima, onde geralmente se aduba; que não foi observada presença de raiz pivotante; e que as raízes se estendem lateralmente ao máximo a 1 m a partir do tronco, e 1,2 m de profundidade, com 80% destas concentradas nos primeiros 50 cm de profundidade.

---

<sup>3</sup> Dados não-publicados por CORDEIRO et al. [s.d.].

NICK et al. (1994) conduziram um trabalho em Latossolo Vermelho-Amarelo, no município de Tomazina, Paraná, plantado com o cultivar Catuaí amarelo com 11 anos de idade, espaçado de 3,65 X 1,60 m, com duas plantas por cova e produtividade média de 36 scs ha<sup>-1</sup>. Foram feitas amostras sob a copa, na faixa de adubação (projeção da copa) e no centro da rua. Os resultados foram expressos em volume de raiz por volume de solo e comprimento de raiz por volume de solo. Os autores concluíram que mais de 90% do sistema radicular, expressos pelo seu comprimento, está nos primeiros 40 cm de profundidade e que há grande predominância de raízes finas sobre as demais, tanto com base em volume de raiz como, e principalmente, no comprimento.

Em um trabalho conduzido em Carmo do Paranaíba-MG, por MATIELLI et al. (1996), em lavoura de Catuaí de oito anos e espaçamento de 4,0 x 0,75, os autores concluíram que a maior quantidade de radículas encontravam-se entre 0 e 30 cm de profundidade, com maior concentração no centro da copa entre 0 e 60 cm do tronco, sendo este o melhor lugar para se aplicar as adubações.

MALAVOLTA (1986) representou com grande perspicácia e simplicidade o que seria a estrutura do sistema radicular típico do cafeeiro no Brasil (Figura 3), sendo esta uma síntese de tudo o que se tem discutido nas literaturas que tratam deste assunto.

## **2.6. Manejo da irrigação com o software IRRIGA-GESAI**

O IRRIGA-GESAI é um sistema de apoio à decisão na área da agricultura irrigada, composto de vários softwares voltados para o manejo da água (simula, manejo e decisão). Desenvolvido no âmbito do Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA-UFV), está inserido dentro de uma política de parceria e de solução do grave problema associado à falta de manejo da irrigação em condições de campo. Incorpora uma visão técnica, sem perder de vista a operacionalidade necessária no dia-a-dia (MANTOVANI, 2002).

No programa IRRIGA-GESAI determina-se a lâmina líquida de irrigação (útil às plantas) em função da evapotranspiração da cultura por meio de metodologia proposta por DOORENBOS e PRUITT (1977), modificada por MANTOVANI (2002). A lâmina bruta de irrigação (aplicada pelo equipamento) leva em consideração ainda às perdas por evaporação e arraste durante a aplicação da água (dependendo da forma de aplicação da água) e as perdas devido à falta de uniformidade de aplicação da água.

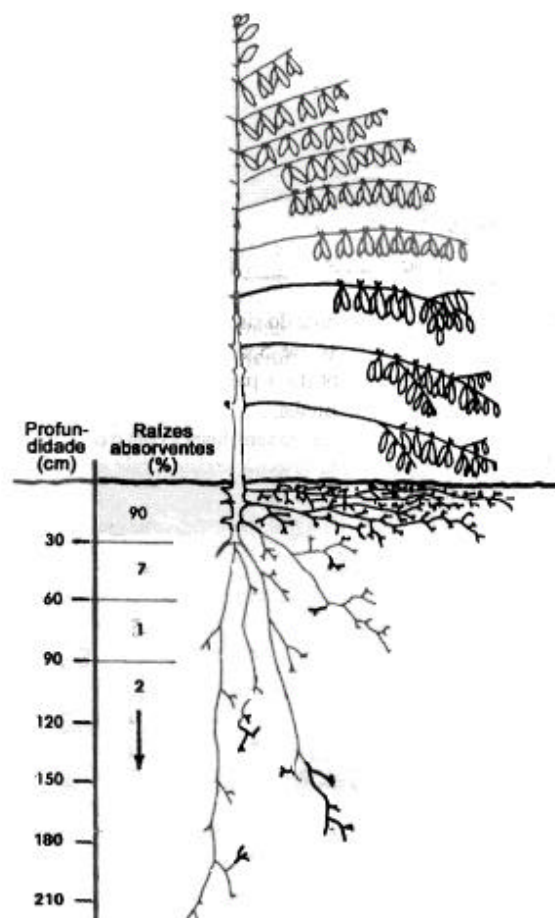


Figura 3 – Distribuição do sistema radicular típico do cafeeiro no Brasil.

No balanço hídrico realizado para identificar o déficit de água no solo, um dos fatores de maior importância é a evapotranspiração da cultura.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) é realizada com os dados climáticos coletados na área a ser manejada, sendo mais recomendada a equação-padrão de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). Os

valores de  $K_c$  (coeficiente de cultura), duração das fases e porcentagem de área sombreada ou molhada, são definidos de acordo com a cultura, a fase de desenvolvimento e o sistema de irrigação, e podem ser obtidos na literatura.

O coeficiente de estresse hídrico ( $k_s$ ) promove o ajuste da evapotranspiração potencial para a evapotranspiração da cultura em função do nível de umidade atual do solo ao longo do ciclo de desenvolvimento. O programa IRRIGA-GESAI trabalha com os modelos de BERNARDO et al. (2005) de determinação do  $K_s$ .

O método de irrigação localizada aplica água de forma pontual, não irrigando toda a área, o que, conseqüentemente promove a redução da evapotranspiração. Esta redução se dá em função da redução da área molhada e da área sombreada pela cultura. Alguns pesquisadores desenvolveram coeficientes de localização ( $k_l$ ) para ajustar a evapotranspiração gerada a partir da irrigação total em evapotranspiração promovida a partir de irrigação pontual. O Programa IRRIGA-GESAI permite trabalhar com qualquer método de determinação de  $k_l$ , destacando-se os modelos de KELLER (1978) e KELLER e BLISNER (1990), e outros a serem instalados.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Características da área experimental**

O trabalho foi realizado no município de Patrocínio-MG, que tem latitude 18° 56' S, longitude 46° 59' W e altitude média de 965 m, na Fazenda Experimental da EPAMIG. O café variedade Rubi foi plantado em 1999 com espaçamento de 3,6 m entre as linhas e 0,65 m entre as plantas. O experimento foi instalado em outubro de 2001, sendo parte de um amplo projeto intitulado Análise Técnica e Econômica da Cafeicultura Irrigada em Áreas de Triângulo de Minas Gerais, com financiamento do Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (PNP&D-Café)/EMBRAPA, desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Soluções Para Agricultura Irrigada (GESAI/DEA-UFV-FUNARBE).

Durante o decorrer do experimento foi feito o controle de ervas daninhas de modo que elas não interferissem nos resultados esperados. As adubações foram feitas via fertirrigação em todos os tratamentos, para que eles recebessem as mesmas doses de nutrientes, conforme recomendações propostas por ANTUNES et al. (2001). O controle fitossanitário foi feito preventivamente, evitando-se a infestação de pragas e doenças.

### 3.2. O manejo da irrigação

A irrigação foi conduzida com turno de rega variável, o que permitiu a adequação da irrigação às diferentes fases de desenvolvimento vegetativo da cultura, bem como à variação da demanda evapotranspiratória ao longo do ciclo anual da cultura.

O manejo da irrigação foi feito por meio do balanço de água no solo, seguindo o programa IRRIGA-GESAI.

#### 3.2.1. Evapotranspiração da cultura de referência (ET<sub>o</sub>)

Para determinação da ET<sub>o</sub> o programa utilizou o método-padrão equação de Penman-Monteith-(FAO) (ALLEN, 1998), equação 1. Observa-se que para o cálculo da ET<sub>o</sub> pelo método-padrão são necessários valores medidos de temperatura média do ar, velocidade do vento, umidade relativa média do ar e radiação solar.

$$ET_o = \frac{0,408D (R_n - G)g + \frac{900}{T - 273} U_2 (e_s - e_a)}{D + g (1 + 0,34 U_2)} \quad \text{Equação (1)}$$

em que

ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

R<sub>n</sub> = radiação líquida à superfície de cultura, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

G = fluxo calor, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

T = temperatura média diária a 2 m de altura, °C;

U<sub>2</sub> = velocidade de vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;

e<sub>s</sub> = pressão de vapor de saturação, kPa;

e<sub>a</sub> = pressão de vapor atual, kPa;

e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub> = déficit pressão vapor, kPa;

? = declividade da curva vapor pressão, kPa °C<sup>-1</sup>; e

? = constante psicométrica, kPa °C<sup>-1</sup>.

### 3.2.2. Evapotranspiração da cultura (ETc)

A estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) foi feita com o uso de dados meteorológicos e condições de cultivos. A precisão das estimativas de ETc depende das equações utilizadas, que devem representar as leis físicas que governam os processos e a precisão dos dados meteorológicos e dos dados de cultivos.

O cálculo da ETc para a irrigação localizada foi feito pela equação 2.

$$ETc = ETo \cdot kc \cdot ks \cdot kl \quad \text{Equação (2)}$$

em que

$ETc$  = evapotranspiração da cultura, em mm dia<sup>-1</sup>;

$ETo$  = evapotranspiração de referência, em mm dia<sup>-1</sup>;

$kc$  = coeficiente da cultura, de acordo com o estágio de desenvolvimento, adimensional;

$ks$  = coeficiente de estresse hídrico, em função da variação da umidade do solo (0 a 1), adimensional; e

$kl$  = coeficiente de localização, que depende da porcentagem de área molhada e sombreada.

### 3.2.3. O coeficiente de cultura (kc)

O coeficiente de cultura,  $kc$  (Tabela 2) varia com o estágio de crescimento de cada cultura. Os valores dos coeficientes de cultura durante o ciclo de crescimento são obtidos experimentalmente. Eles representam o efeito integrado da mudança na área foliar, da altura da planta, do grau de cobertura e resistência do dossel da planta e do albedo sobre a ETc em relação à cultura de referência.

Os valores citados são utilizados inicialmente, e medidas de campo relacionadas ao desempenho da cultura podem indicar a necessidade de ajustes nos mesmos.

Tabela 2 – Valores de kc, duração das fases e porcentagem de área sombreada utilizados pelo IRRIGA-GESAI para cafeeiros cultivados em renque e espaçamento entre as linhas variando de 3,6 a 4 m

Fase	kc	Duração (Dias)	Porcentagem de área sombreada
Ano 1A	0,45	185	10
Ano 1B	0,55	180	15
Ano 2A	0,65	185	20
Ano 2B	0,75	180	30
Ano 3A	0,80	185	40
Ano 3B	0,90	180	45
Adulto	1,00	Ilimitado	50

Fonte: MANTOVANI (2002).

### 3.2.4. O coeficiente kl

MANTOVANI (2002) sugere o uso do modelo de Fereres (equações 3, 4 e 5) para cafeeiros cultivados em espaçamentos que possibilitam a mecanização e área sombreada maior que a área molhada, o que tem proporcionado melhores correções da ETo.

$$\text{Se, } P \geq 65\% \rightarrow kl = 1 \quad \text{Equação (3)}$$

$$\text{Se, } 20\% < P < 65\% \rightarrow kl = 1,09P + 0,30 \quad \text{Equação (4)}$$

$$\text{Se, } P \leq 20\% \rightarrow kl = 1,94 P + 0,1 \quad \text{Equação (5)}$$

P = porcentagem de área sombreada.

### 3.2.5. O coeficiente ks

Segundo BERNARDO et al. (2005), o valor de ks obtido pelo modelo logarítmico determinado pela equação 6 é o que melhor se ajusta para a correção da ETo.

$$ks = \frac{\ln(LAA + 1)}{\ln(CTA + 1)} \quad \text{Equação (6)}$$

em que

$\ln$  = logaritmo neperiano;

LLA = lâmina atual de água do solo, em mm; e

CTA = capacidade total de água no solo, em mm.

Os dados meteorológicos necessários para o manejo da irrigação foram obtidos de uma estação meteorológica automática, modelo Micrometros, instalada próximo à área experimental, com sensores de temperatura, umidade relativa, velocidade de vento, radiação solar, horas de sol e precipitação. Os dados foram medidos a cada 12 minutos e registrados a cada hora, e, posteriormente, foram convertidos em médias diárias.

### 3.3. Características do solo

As análises texturais das amostras de solo da área experimental foram realizadas nos Laboratórios de Física e de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFV, e a curva de retenção de água no solo foi determinada no Laboratório de Água e Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Na Tabela 3, observa-se uma classificação textural argilosa, típica de cultivo do cafeeiro na região do Triângulo Mineiro. A massa específica do solo apresenta valores da ordem de  $1,06 \text{ g cm}^{-3}$ , também comum para esses solos.

Tabela 3 – Composição granulométrica, classificação textural e massa específica do solo da área experimental

Profundidade (cm)	Composição Granulométrica (%)				Massa específica ( $\text{g/cm}^3$ )	Classificação Textural
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila		
0-20	05	03	40	52	1,04	Argila-siltosa
20-40	07	03	38	52	1,08	Argila
40-60	06	03	36	55	1,06	Argila

Na Tabela 4 estão os valores de retenção de água do solo nos diversos níveis de tensão, os quais permitem o traçado das curvas de retenção de água no solo, para as três profundidades avaliadas. Os valores médios de CC e PM são, respectivamente, 33,8 e 22,1, correspondente às tensões de 10 e 1.500 kPa, respectivamente.

Tabela 4 – Valores de retenção de água do solo (% umidade em peso) para distintos níveis de tensão de água no solo, para a área experimental

Camadas (cm)	Tensão (kPa)					
	10	30	100	500	1000	1500
0-20	35,02	32,10	29,70	27,18	25,94	24,60
20-40	32,10	30,60	28,65	26,06	23,80	20,90
40-60	32,90	30,44	28,74	26,50	23,96	20,80

### 3.4. Caracterização dos tratamentos

#### 3.4.1. Experimento 1

##### 3.4.1.1. Avaliação do efeito da variação da lâmina de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade do cafeeiro

As parcelas foram compostas de dez plantas consecutivas, das quais foram avaliadas as seis plantas centrais. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro repetições. A disposição dos tratamentos e as lâminas aplicadas foram estabelecidas de forma a facilitar o manejo da irrigação durante todo período do experimento e em função da disponibilidade de modelos de gotejadores encontrados no mercado, sendo os tratamentos descritos na Tabela 5.

Os tratamentos T2, T3 e T4 foram irrigados com uma linha lateral de gotejadores com vazão nominal de 1,6, 2,3 e 3,5 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Nos tratamentos T5, T6, T7 foram utilizadas duas linhas laterais de gotejadores com vazões compatíveis com os tratamentos. O T5 foi irrigado por duas linhas laterais de vazão nominal de 2,3 L h<sup>-1</sup>, T6 por duas linhas laterais de vazão

Tabela 5 – Lâminas de irrigação e vazões a serem aplicadas por tratamento

Tratamento	Lâmina de irrigação em % ETc	Vazões em L h <sup>-1</sup>
T1	Testemunha	Não irrigado
T2	35%	1,6
T3	50%	2,3
T4	75%	3,5
T5	100%	4,6
T6	125%	5,8
T7	150%	7,0

nominal de 2,3 e 3,5 L h<sup>-1</sup> e T7 por duas linhas laterais de vazão nominal de 3,5 L h<sup>-1</sup>. O tratamento T5 corresponde à lâmina de 100% das necessidades da cultura, calculadas pelo IRRIGA-GESAI.

### 3.4.2. Experimento 2

#### 3.4.2.1. Avaliação da influência da PAM sobre o desenvolvimento e a estrutura do sistema radicular do cafeeiro

Para avaliar a influência da irrigação localizada sobre o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular, foram conduzidos três tratamentos, com três repetições, nos quais variou-se a PAM. Os tratamentos foram denominados P1 (não-irrigados), P2 (PAM 30%) e P3 (PAM 50%), conforme descrito na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de porcentagem de área molhada (PAM) e largura da faixa molhada para os respectivos tratamentos

Tratamento	PAM	Faixa molhada (m)
P1	Testemunha (não-irrigado)	0
P2	30%	1,20
P3	50%	1,80

Para obtenção desses valores trabalhou-se com gotejadores RAM 17, com vazão de  $2,3 \text{ Lh}^{-1}$ . Para P2, utilizaram-se duas linhas de gotejadores paralelas unidas por grampos, para que não se distanciassem uma da outra. Para P3 utilizaram-se duas linhas paralelas, porém espaçadas 1 m. As irrigações foram feitas de maneira que todos os tratamentos recebessem as mesmas lâminas de irrigação.

### **3.5. Avaliação do desenvolvimento vegetativo e da produtividade**

Um parâmetro importante relacionado à produção é o desenvolvimento vegetativo de ramos secundários e terciários, dos quais originarão gemas florais e, conseqüentemente, frutos para o próximo ano.

Para avaliação do crescimento vegetativo os parâmetros de crescimento analisados foram a altura de planta, o diâmetro de copa e o diâmetro de caule.

Para avaliação da produtividade, foram colhidos individualmente os frutos das seis plantas centrais, determinando-se o volume de frutos (litros) produzidos por planta. Posteriormente foi retirada uma subamostra de 10 L de café da roça por repetição, que foi seca e beneficiada. Em seguida determinou-se a produtividade em sacas  $\text{ha}^{-1}$ .

### **3.6. Avaliação do sistema radicular**

Existem diferentes métodos para analisar a distribuição do sistema radicular no perfil do solo. BOHM (1979) relacionou alguns: escavações, monólitos, perfurações com trado, trincheiras, parede de vidro, avaliação indireta, planta em vasos, elemento marcado, entre outros.

No presente trabalho escolheu-se a planta mais vigorosa de cada tratamento, em cada repetição. A amostragem das raízes foi feita com a retirada de blocos de solo de  $30 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ , sendo 30 cm de comprimento, valor este equivalente a aproximadamente metade do espaçamento entre as plantas. As amostras foram feitas até 1,2 m de profundidade e a 1,2 m de distância do caule. Para que todos os blocos tivessem o mesmo volume, foram cravadas chapas de ferro com 3 mm de espessura (Figura 4), as quais delimitavam o tamanho do bloco dentro das medidas citadas. Após retirados (Figura 5), os blocos foram embalados e identificados.



Figura 4 – Chapas cravadas delimitando o tamanho do bloco de solo.

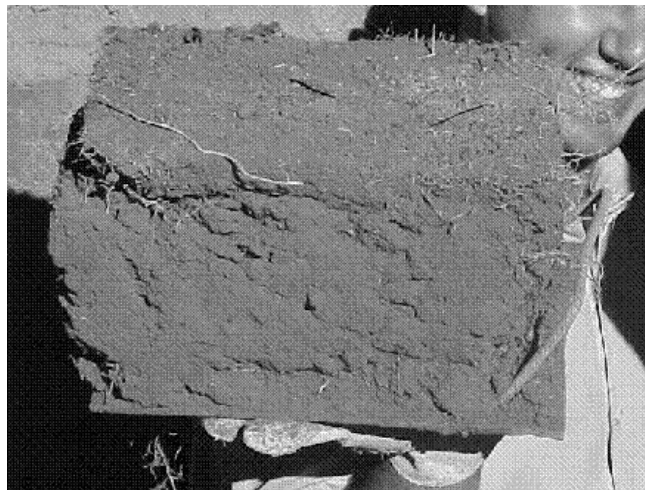


Figura 5 – Blocos após retirados, prontos para lavagem e separação das raízes.

Os blocos foram colocados sobre uma peneira com furos de 2 mm e, com o auxílio de um jato de água, fez-se a separação do solo e das raízes, (Figura 6), ficando apenas pequenos grânulos de argila presos às mesmas raízes (Figura 7). Para eliminação dessas partículas, as raízes foram colocadas em uma solução de 0,01 N de NaCl, por 5 minutos. Em seguida fez-se nova lavagem, obtendo-se no final, as raízes livres de solo (Figura 8).

Em seguida, foi feita a classificação das raízes em termos de diâmetro radicular, considerando raízes grossas aquelas com mais de 3 mm, raízes suportes das absorventes aquelas entre 1 e 3 mm e raízes absorventes aquelas com diâmetros menores que 1 mm, conforme descrito por RENA e



Figura 6 – Lavagem das raízes com o uso de jato de água.



Figura 7 – Raízes após a primeira lavagem, impregnadas com partículas de argila.



Figura 8 – Raízes após a segunda lavagem, livres das partículas de argila.

DAMATTA (2002) (Figura 9). Após separadas, as raízes foram levadas a uma estufa ventilada à temperatura de 65°, por um período de 72 h. Em seguida, fez-se a determinação da matéria seca, que foi convertida para valores em miligramas de matéria seca por decímetro cúbico de solo. Com o uso do software SURFE 32, fez-se o mapeamento da distribuição porcentual das raízes no perfil do solo.

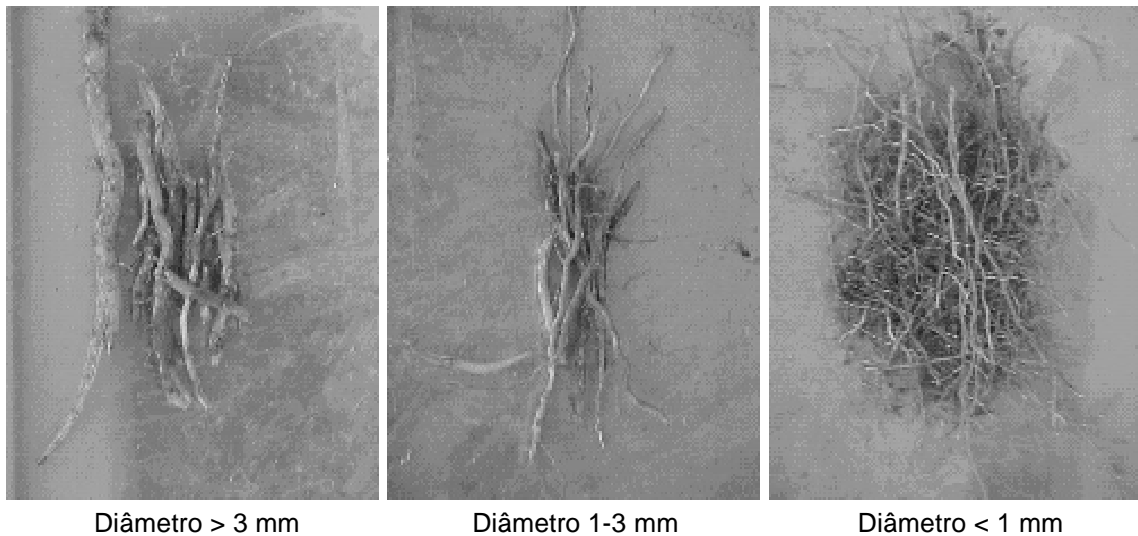


Figura 9 – Raízes após a classificação em raízes grossas, médias e finas.

Para determinação da relação comprimento peso foram feitas medições de segmentos de raízes e posteriores pesagens destes, chegando a valores médios de miligramas de matéria seca por centímetro linear para raízes finas, médias e grossas.

### 3.7. Análise estatística

A análise estatística para o estudo do crescimento vegetativo e da produtividade, para o experimento de lâminas foi feita com o uso da técnica de contraste entre as médias dos tratamentos propostos. Foram estabelecidos seis contrastes, relacionando os parâmetros de produtividade e desenvolvimento vegetativo, conforme descrito a seguir:

C1 = T1 vs (T2 + T3+ T4 + T5+ T6 + T7).  
C2 = T2 vs (T3+ T4 + T5 + T6 + T7).  
C3 = T3 vs (T4 + T5 + T6 + T7).  
C4 = T4 vs (T5 + T6+ T7).  
C5 = T5 vs (T6 + T7).  
C6 = T6 vs T7.

No estudo do efeito da PAM sobre a produtividade utilizou-se o teste de Tukey, a 5% de significância. Já para estudo da distribuição do sistema radicular utilizou-se o mesmo teste, sendo estudadas as diferenças entre os tratamentos para uma mesma distância do caule e mesma profundidade.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. O manejo da irrigação

As irrigações foram realizadas duas vezes por semana, nos períodos em que foram necessárias. No tratamento 5 (100% da ETc) a cultura recebeu um total de 453 e 327 mm, para os anos-safra 2002/2003 e 2003/2004, respectivamente, considerando que o ano-safra iniciou-se na fase pré-florada em abril de cada ano.

Periodicamente, eram feitas amostragens de solo em T5, para determinação da umidade pelo método-padrão de estufa, para aferição das necessidades de irrigação, calculadas pelo IRRIGA-GESAI. Na Figura 10 encontra-se a relação entre as umidades do solo simulada e a determinada. Observa-se que os valores não diferem muito dos valores medidos

Observa-se na Figura 10, que os valores estimados não diferem muito dos medidos, apresentando uma variação máxima de 2,0%. Estes resultados estão de acordo com ANTUNES (2001) e SOARES (2001), que trabalhando com o *software* SISDA 3, software precursor do IRRIGA-GESAI no manejo da irrigação da cultura do café em desenvolvimento, encontraram uma variação média da ordem de 1,5 e 2,5% respectivamente, na umidade do solo.

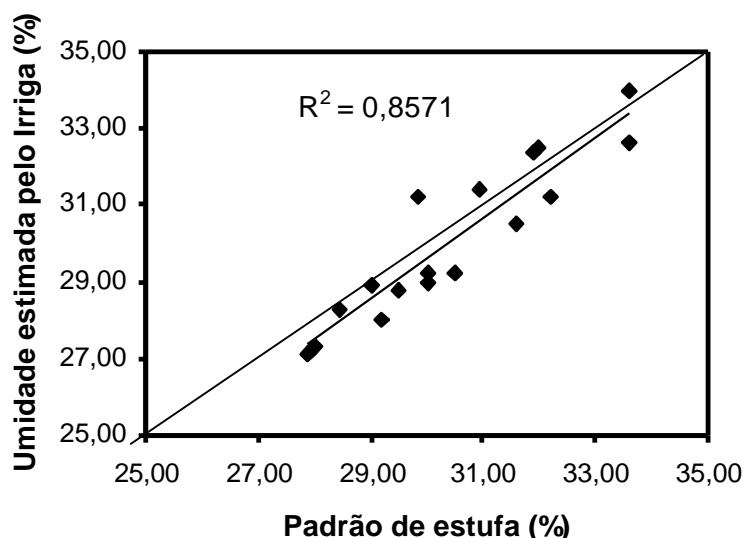


Figura 10 – Relação entre os valores de umidades do solo (% em peso) estimados pelo IRRIGA-GESAI e medidos em campo pelo método-padrão de estufa, para a profundidade de 0-60 cm, para T5.

Nas Figuras 11 a 15 são apresentadas as curvas de variação da umidade do solo no período de abril de 2002 a abril de 2004, período este que abrange a fase pré-florada do ano-safra 2002/2003 até a fase final do experimento, no ano-safra 2003/2004. Constatou-se um período de déficit programado em junho e julho de 2002 e julho e agosto de 2003, para todos tratamentos, o que se deve ao corte da irrigação, visando provocar um déficit hídrico na cultura para uniformizar a floração.

Após esses déficits, mesmo com a volta das irrigações, observou-se que a umidade do solo para os tratamentos T1, T2 e T3 estiveram sempre abaixo da umidade mínima recomendada, considerando o consumo de 40% da água disponível no solo, caracterizando assim um período longo de déficit para esses tratamentos.

Observa-se também que mesmo fora do período de déficit hídrico programado a umidade do solo nos tratamentos T1, T2 e T3 esteve, em grande parte do tempo, abaixo da umidade mínima recomendada, especialmente no tratamento T1, o que indica uma deficiência do manejo da irrigação que refletirá na produtividade e no desenvolvimento da cultura. Na realidade, este fato era esperado, uma vez que a evapotranspiração da cultura foi restringida nesses tratamentos.

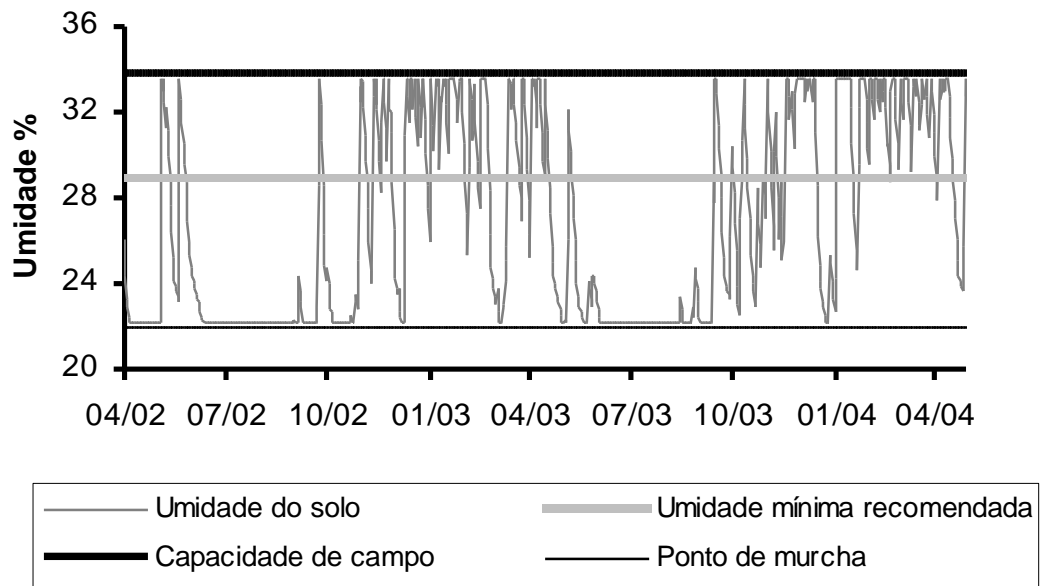


Figura 11 – Curva de evolução da umidade do solo para T1.

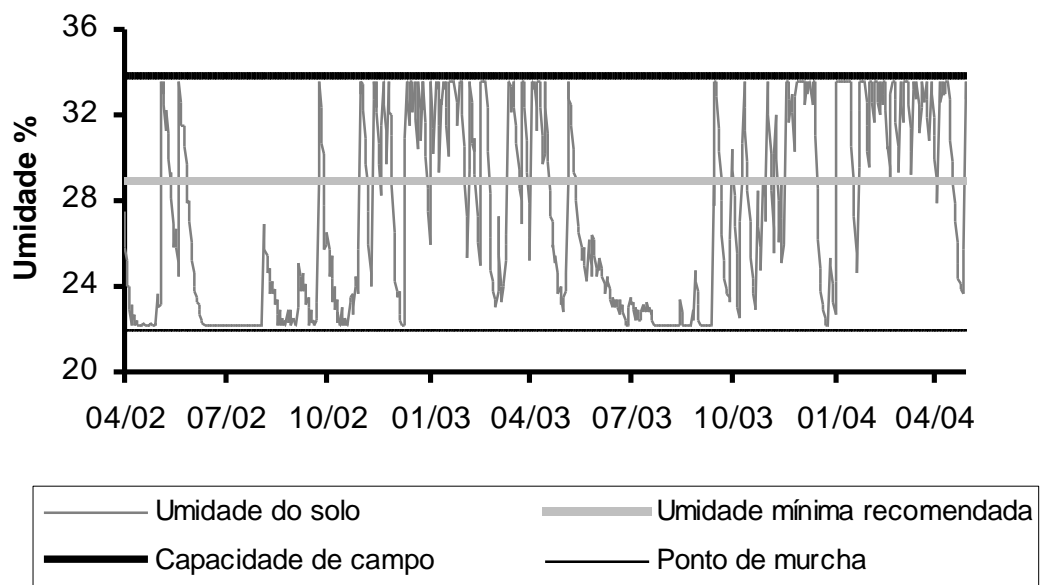


Figura 12 – Curva de evolução da umidade do solo para T2.

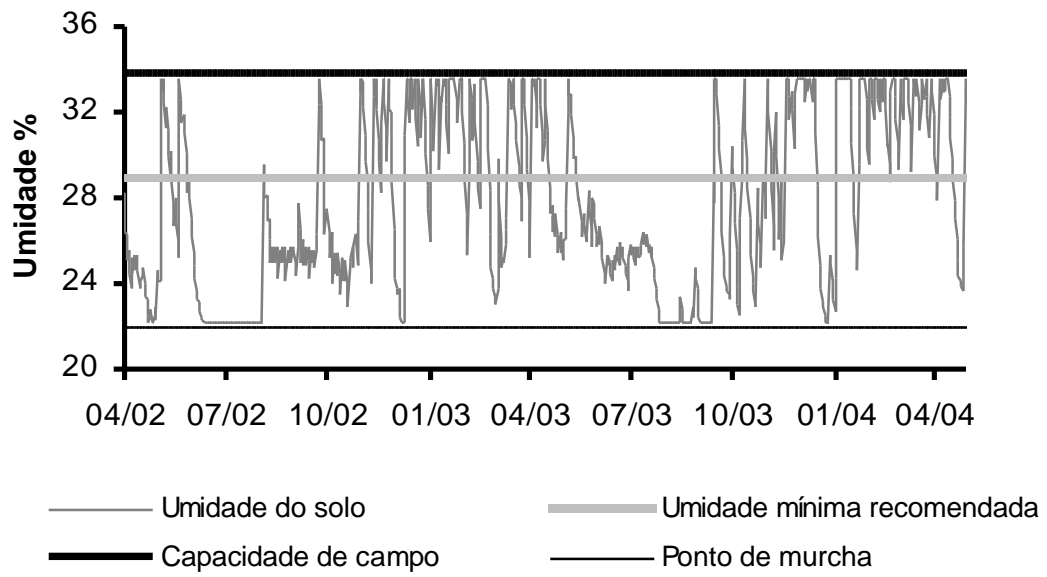


Figura 13 – Curva de evolução da umidade do solo para T3.

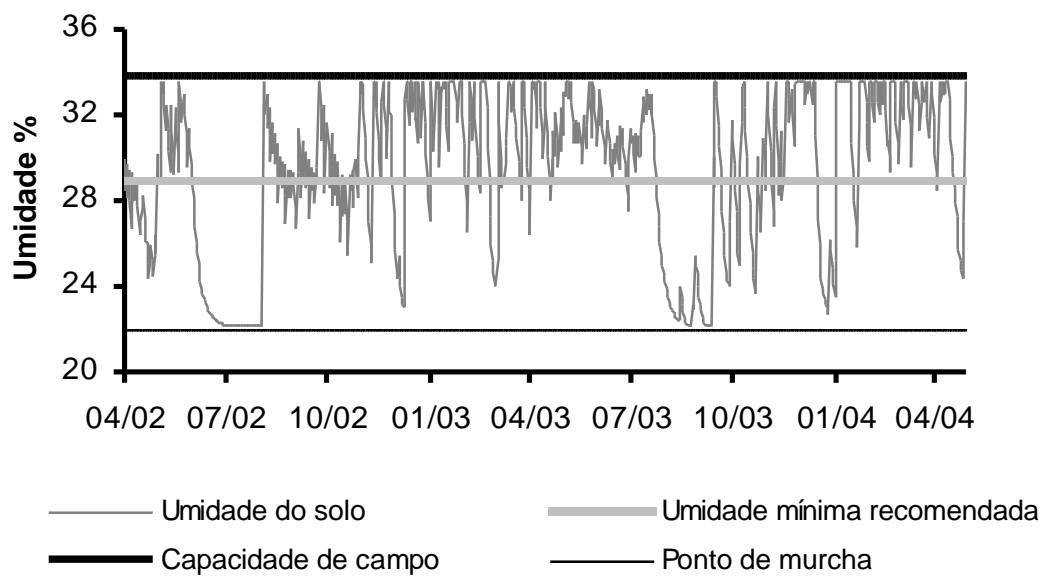


Figura 14 – Curva de evolução da umidade do solo para T4.

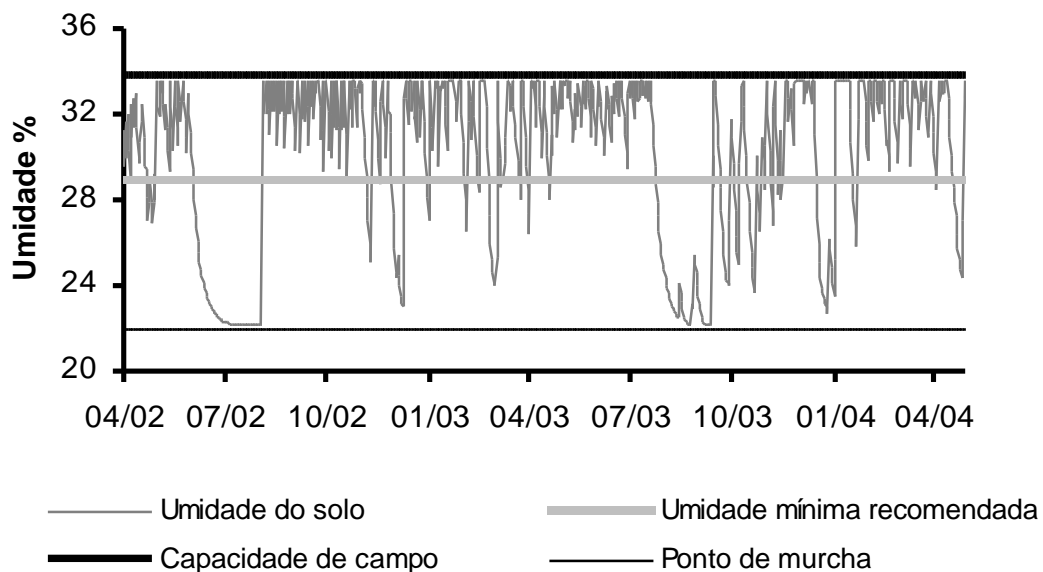


Figura 15 – Curva de evolução da umidade do solo para T5, T6 e T7.

Observa-se também (Figuras 11, 12, 13 e 14) que a umidade do solo na camada de 0 a 60 cm chegou a atingir 22,4 %, correspondente à tensão de ponto de murcha (1.500 kPa), considerada como ponto de murcha permanente, o que normalmente levaria à morte das plantas, o que não ocorreu. Entretanto, para o experimento o balanço de água no solo foi feito com a exploração das raízes a 60 cm de profundidade, mas na realidade foram encontradas raízes até 120 cm. Este fato será mais bem discutido no item 4.5.

Quanto ao tratamento T4, apesar de ter recebido 75% da lâmina considerada ideal, o valor da umidade do solo esteve próximo ao valor da umidade mínima recomenda. Nos tratamentos T5, T6 e T7, os valores de umidade solo, na maior parte do tempo, mantiveram-se entre a capacidade de campo e a umidade mínima recomendada, nos períodos fora do déficit hídricos programados (Figura 15). Observa-se, entretanto, que em pequenos períodos a umidade caiu abaixo da umidade mínima recomendada, o que na maior parte ocorreu no período chuvoso, pois, por haver previsão de chuva próxima, não se irrigava.

#### 4.2. Efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro

A implantação do experimento, em outubro de 2001, coincidiu com o início do período chuvoso, assim efetivamente o manejo da irrigação com a aplicação de lâminas variadas iniciou-se a partir de janeiro de 2002. Portanto, foram consideradas as avaliações de crescimento vegetativo dos anos-safra 2002/2003 e 2003/2004, tendo estas sido realizadas nos meses de maio de cada ano.

Na Tabela 7 e 8 estão apresentados os valores de altura de planta, diâmetro de caule e diâmetro de copa e os valores de F encontrados em função dos contrastes estabelecidos.

A altura de planta no tratamento T1, não-irrigado foi inferior à de todos os outros tratamentos, devendo ser ressaltado que T2 e T3 cresceram em média 11% a mais que T1 e que T4, T5, T6 e T7 tiveram crescimento médio 20% maior que T1, para os dois anos estudados. Os tratamentos T2 e T3 também foram inferiores quando comparados com T4, T5, T6 e T7, com crescimento médio 9% inferior, para os dois anos estudados. No entanto, constatou-se que não houve diferença (Tabela 7) entre a altura de planta para os tratamentos T4, T5, T6 e T7.

Tabela 7 – Valores de altura de planta, diâmetro de caule e diâmetro de copa nos anos-safra 2002/2003 e 2003/2004

Trat.	Altura (cm)		Diâmetro Caule (mm)		Diâmetro Copa (cm)	
	Ano					
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
T1	133,80	163,40	38,00	53,15	133,40	151,45
T2	149,00	178,00	38,48	55,85	136,05	154,65
T3	155,85	177,50	40,90	55,85	140,10	156,50
T4	165,15	190,45	39,91	56,30	148,70	163,35
T5	167,90	193,60	41,33	55,80	147,90	168,05
T6	164,45	189,45	40,05	57,15	145,00	165,00
T7	162,90	186,05	39,75	56,05	144,80	171,55

Resultados semelhantes foram encontrados por KARASAWA (2001), que relatou que quanto maior a lâmina de irrigação aplicada maior a altura das plantas, para a variedade Topázio, no município de Lavras-MG. Porém, os valores de crescimento encontrados são bem menores que os resultados obtidos por FERNANDES et al. (1998), que trabalhando com café Catuaí, em Uberaba-MG, irrigado por pivô central, encontraram valores de crescimento vegetativo da parte aérea de 50 a 60% maiores que os não-irrigados, porém os autores não quantificaram os déficits sofridos pelas plantas.

O parâmetro diâmetro de copa apresentou resultados semelhantes aos de altura de planta, com tratamento T1, não-irrigado, com valor inferior ao de todos os outros tratamentos, devendo-se ressaltar que T2 e T3 cresceram em média 4% a mais que T1 e que T4, T5, T6 e T7 tiveram crescimento médio 8% maior que T1, para os dois anos estudados. Os tratamentos T2 e T3 também foram inferiores quando comparados com T4, T5, T6 e T7, com um crescimento médio 4% inferior, para os dois anos estudados, não havendo diferença entre o diâmetro de copa para os tratamentos T4, T5, T6 e T7.

Tabela 8 – Teste F para os parâmetros de crescimento vegetativo entre os contrastes estabelecidos

Contrastes	Altura (cm)		Diâmetro Caule (mm)		Diâmetro Copa (cm)	
	Ano					
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
C 1 = T1 vs T2 a T7	5,56 **	6,27 **	1,75 ns	0,41 ns	17,40 **	8,90 **
C 2 = T2 vs T3 a T7	25,01 **	20,97 **	0,99 ns	0,01 ns	13,49 **	6,59 **
C 3 = T3 vs T4 a T7	9,03 **	35,21 **	0,06 ns	0,01 ns	6,40 **	6,64 **
C 4 = T4 vs T5 a T7	1,93 ns	2,69 ns	0,02 ns	0,00 ns	1,11 ns	1,33 ns
C 5 = T5 vs T6 a T7	1,97 ns	2,74 ns	0,09 ns	0,02 ns	1,14 ns	0,00 ns
C 6 = T6 vs T7	0,20 ns	1,96 ns	0,00 ns	0,03 ns	0,00 ns	1,62 ns

\*\* F, significativo, a 5% de probabilidade.

ns F, não-significativo, a 5% de probabilidade.

O desenvolvimento vegetativo do cafeeiro está intimamente relacionado à temperatura, ao déficit hídrico e à carga pendente, uma vez que o crescimento ocorre com maior intensidade na estação quente e chuvosa, com dias mais longos (setembro a março), coincidindo com a fase de expansão e

enchimento dos grãos. Na estação fria e seca, com dias mais curtos (abril a agosto) o crescimento é mais lento, embora no mês de agosto já se observa uma elevação da temperatura média (Figura 16), estando dentro da faixa ótima compreendida entre 18 e 21° C, considerada por RENA et al. (1986) como faixa ótima para desenvolvimento do cafeeiro.



Figura 16 – Temperatura média mensal nos anos 2002, 2003, 2004, temperatura média mínima e máxima ideal para desenvolvimento do cafeeiro.

O aumento da temperatura no mês de agosto e a volta da irrigação (nos dois anos) (maiores lâminas) fizeram com que nos tratamentos T4, T5, T6 e T7 as plantas iniciassem imediatamente a emissão de novos ramos, o que só veio a acontecer para os tratamentos T1, T2 e T3 no mês de outubro, com o início das chuvas, devendo-se ressaltar que as chuvas ocorridas de outubro a março de 2004 atenderam às necessidades hídricas para todos os tratamentos.

No parâmetro de diâmetro de caule, não foi observada diferença entre (Tabela 8) os contrastes aplicados, nos dois anos estudados. Estes resultados são contrários aos encontrados por KARASAWA (2001), que observou que quanto maior a lâmina maior diâmetro de caule, para a variedade Topázio com dois anos de idade, no município de Lavras-MG. Nesta mesma localidade, OLIVEIRA e SILVA (2002) verificaram que para a variedade Acaíá MG-1474 a variação na aplicação de lâminas de irrigação, correspondentes a percentuais

da evaporação do tanque Classe “A”, afetou significativamente o desenvolvimento vegetativo do cafeeiro, quanto ao parâmetro diâmetro de caule. Observações semelhantes foram descritas por TEODORO et al. (2002) em Uberlândia, com a variedade Rubi. ALVES (1999), avaliando o desenvolvimento vegetativo da variedade Acaia Cerrado, sob diferentes lâminas de irrigação, constatou que o aumento das lâminas aplicadas promoveu melhor crescimento de caule.

Porém, em todos os experimentos citados, os cafeeiros avaliados variaram entre um e três anos de idade, sendo considerados plantas em desenvolvimento, ao contrário das plantas estudadas neste projeto, que foram plantas com cinco anos, portanto já adultas.

Resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho são citados por BARROS e MAESTRI (1974). Os autores observaram que cafeeiros irrigados e não-irrigados tiveram o mesmo comportamento quanto ao crescimento de caule, tendo as maiores taxas de crescimento ocorrido nos meses de janeiro e fevereiro, nos quais as temperaturas médias são maiores; de julho a setembro não foi observado nenhum crescimento.

#### **4.3. Efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade do cafeeiro**

O parâmetro de produção mais importante utilizado na comparação do desempenho de diferentes tratamentos é a produtividade, expressa em sacas (60 kg) de café beneficiadas por hectare, não só em relação à irrigação, como também em experimentos relacionados ao manejo de doenças, de pragas, de ervas daninhas, de variedades e de espaçamentos utilizados na cultura do café.

As produtividades médias para os dois anos estudados foram de 20,32, 28,50, 29,43, 46,00, 52,35, 50,00 e 52,12 scs ha<sup>-1</sup> (Tabela 9), para os tratamentos T1, T2, T3, T4, T5, T6 e T7, respectivamente. Os respectivos percentuais das produtividades em relação à produtividade de T1 foram de 40, 45, 126, 158, 146 e 156 % (Tabela 10).

Tabela 9 – Produtividade em sacas por hectare para os anos-safra 2002/2003 e 2003/2004 e média das duas safras

Tratamentos	2002/2003 (scs ha <sup>-1</sup> )	2003/2004 (scs ha <sup>-1</sup> )	Média (scs ha <sup>-1</sup> )	% T1
T1	20,70	19,94	20,32	
T2	24,48	32,51	28,50	40
T3	26,00	32,87	29,43	45
T4	46,91	45,03	46,00	126
T5	51,33	53,37	52,35	158
T6	46,05	53,90	50,00	146
T7	48,54	54,80	52,12	156

Observa-se que as produtividades dos tratamentos T5, T6 e T7 foram praticamente iguais, o que já era esperado, uma vez que o comportamento da umidade do solo teve comportamento similar nestes tratamentos (Figura 15). O tratamento T5, correspondente ao manejo de irrigação recomendado conforme as exigências da cultura, proporcionou aumento da produtividade de 158,5 em relação ao tratamento T1, não-irrigado.

Os tratamentos T2 e T3 apresentaram produtividades praticamente iguais, o que também está relacionado à semelhança no comportamento do teor de água do solo (Figuras 11 e 12).

Resultados semelhantes foram encontrados por SILVA et al. (2003) na região de Lavras-MG, onde o cafeeiro (*Coffea arabica*), cultivar Acaiá MG-1474, recebeu lâminas de irrigação correspondentes a 100, 80, 60, 40 e 0%, da evaporação do tanque Classe A (TCA), sendo a produtividade para a lâmina de 100%, após três anos de produção, superior à de todos os outros tratamentos.

Na Tabela 10 estão os valores de F nos contrastes estabelecidos, nos quais foram comparadas as produtividades, bem como a média destas, para os dois anos-safra estudados. Observa-se que para C1, C2 e C3, em que foram comparados o T1, T2 e T3, respectivamente, com os demais, foi observada diferença estatística a 5%. Já para C4, C5 e C6 não houve diferença estatística.

No ano-safra 2002/2003, observa-se que os valores de umidade do solo estiveram abaixo dos valores da umidade mínima recomendada por um longo período em T1, T2 e T3, desde a volta das irrigações em agosto, após a aplicação do déficit programado, até a ocorrência de uma precipitação de

Tabela – 10 Valores de F para as comparações de produtividade para os anos-safra 2002/2003 e 2003/2004 e média das duas safras

Contrastes	2002/2003	2003/2004	Média
C 1 = T1 vs T2 a T7	12,28**	16,95 **	57,05 **
C 2 = T2 vs T3 a T7	11,9 **	9,42 **	28,592 **
C 3 = T3 vs T4 a T7	12,8 **	9,22 **	19,54 **
C 4 = T4 vs T5 a T7	3,04 ns	1,51 ns	2,25 ns
C 5 = T5 vs T6 a T7	2,47 ns	0,02 ns	0,15 ns
C 6 = T6 vs T7	1,04 ns	0,01 ns	0,03 ns

\*\* F, significativo, a 5% de probabilidade.

ns F, não-significativo, a 5% de probabilidade.

40 mm no dia 30/9, o que veio induzir a florada. A partir desta data, por mais um período de 30 dias, estes tratamentos sofreram novamente déficit hídrico, até o início do período chuvoso, o que veio a ocorrer na última semana de novembro.

Nos mesmos períodos, os valores de umidade do solo no tratamento T4 mantiveram-se próximos aos valores de umidade mínima recomendada, porém sempre abaixo da capacidade de campo. Já os tratamentos T5, T6 e T7 tiveram a umidade do solo em teores sempre próximo aos da capacidade de campo, justificando assim as maiores produtividades obtidas.

No ano-safra 2003/2004, devido a um atraso na colheita, o déficit programado ocorreu no mês de agosto, como no ano anterior. O teor de água do solo esteve abaixo dos valores da umidade mínima recomendada por um longo período em T1, T2 e T3, desde a volta das irrigações em agosto, até a ocorrência de uma precipitação a partir do início setembro. Nesse período os valores de umidade do solo em T4 mantiveram-se acima da umidade mínima recomendada, porém sempre abaixo da capacidade de campo e T5, T6 e T7 tiveram valores de umidade do solo sempre próximos aos da capacidade de campo.

Nas Tabelas 11 e 12 estão as lâminas de irrigação aplicadas e o déficit hídrico sofrido por tratamento, nas fases reprodutivas do cafeeiro nos dois anos estudados, considerando que a fase pré-florada vai de abril a setembro, a fase de expansão de outubro a dezembro e a fase de enchimento de grão de janeiro a março.

Tabela 11 – Lâminas de irrigação aplicadas e déficits hídricos sofridos por tratamento, nas respectivas fases reprodutivas do cafeeiro, no ano-safra 2002/2003

Fase	Mês	Ano	Tratamentos													
			T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
			IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit
Pré-florada	04	2002	0	35,3	23,7	32,8	39,5	29,0	59,2	16,9	78,9	12,3	98,7	12,3	118,4	12,3
	05	2002	0	20,7	14,3	17,7	23,9	13,5	35,9	3,1	47,8	1,3	59,8	1,3	71,7	1,3
	06	2002	0	18,0	0,0	18,1	0,0	14,5	0,0	5,3	0,0	4,8	0,0	4,8	0,0	4,8
	07	2002	0	39,2	0,0	46,9	0,0	41,9	0,0	21,7	0,0	20,8	0,0	20,8	0,0	20,8
	08	2002	0	68,1	33,3	67,5	55,6	63,3	83,3	28,7	111,1	20,0	138,9	20,0	166,7	20,0
	09	2002	0	60,4	23,9	54,1	39,8	39,7	59,6	13,2	79,5	5,0	99,4	5,0	119,3	5,0
Irrigação total na fase			0,0	241,8	95,2	237,7	158,7	202,0	238,0	88,9	317,4	64,3	396,7	64,3	476,4	64,3
Expansão do fruto	10	2002	0	76,00	22,8	57,5	38,0	44,7	57,0	6,6	76,0	0,8	95,0	0,8	114,0	0,8
	11	2002	0	12,07	0,0	10,3	0,0	7,7	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,2	0,0	1,2
	12	2002	0	2,6	0,0	3,9	0,0	3,9	0,0	2,6	0,0	2,6	0,0	2,6	0,0	2,6
Irrigação total na fase			0,0	90,6	22,8	71,6	38,0	56,3	57,0	10,4	76,0	4,6	95,0	4,6	114,0	4,6
Enchimento de grão	01	2003	0	0,4	0,0	0,7	0,0	0,7	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4	0,0	0,4
	02	2003	0	1,7	8,7	2,4	14,5	2,1	21,7	1,3	29,0	1,3	36,2	1,3	43,5	1,3
	03	2003	0	3,8	9,2	4,8	15,3	4,2	23,0	2,0	30,7	1,7	38,3	1,7	46,0	1,7
Irrigação total na fase			0	5,6	17	7,8	29,8	7,0	44,7	3,7	59,6	3,5	74,6	3,5	74,6	3,5
Total			0	358,0	135	316,6	226,5	316,6	339,7	103,3	453	72,3	566,3	72,3	679,5	72,5

Tabela 12 – Lâminas de irrigação aplicadas e déficits hídricos sofridos por tratamento, nas respectivas fases reprodutivas do cafeeiro, no ano-safra 2003/2004

Fase	Mês	Ano	Tratamentos													
			T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
			IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit	IRN	Déficit
Pré-florada	04	2003	0	2,3	14,8	2,7	24,7	2,4	37,1	12,7	49,4	1,15	61,8	1,15	118,4	1,15
	05	2003	0	7,7	17,6	5,2	29,3	2,9	44,0	10,3	58,6	0,31	73,3	0,31	71,7	0,31
	06	2003	0	15,5	18,3	10,8	30,5	6,67	45,7	9,5	61,0	0,52	76,2	0,52	0,0	0,52
	07	2003	0	36,7	9,6	22,2	16,0	13,88	24,0	10,3	32,0	0,39	40,0	0,39	0,0	0,39
	08	2003	0	55,8	0,0	40,9	0,0	26,75	0,0	13,9	0,0	1,65	0,0	1,65	166,7	1,65
	09	2003	0	39,5	33,9	35,5	56,5	26,14	84,8	17,5	113,0	6,53	141,3	6,53	119,3	6,53
Irrigação total na fase			0,0	156,6	94,2	117,2	157,0	78,7	235,5	74,1	314,5	10,5	392,5	10,5	392,5	10,5
Expansão do fruto	10	2003	0	17,75	4,1	14,5	6,8	14,84	10,2	10,2	13,6	6,61	17,0	6,61	114,0	6,61
	11	2003	0	3,34	0,0	20,8	0,0	4,63	0,0	3,5	0,0	2,1	0,0	2,1	0,0	2,1
	12	2003	0	4,67	0,0	6,9	0,0	6,92	0,0	5,8	0,0	6,92	0,0	6,92	0,0	6,92
Irrigação total na fase			0,0	25,7	4,1	31,7	6,8	26,4	10,2	19,5	13,6	15,5	17,0	15,5	17	15,5
Enchimento de grão	01	2004	0	14,2	0,0	14,2	0,0	14,2	0,0	14,2	0,0	14,2	0,0	14,2	0,0	14,2
	02	2004	0	10,4	0,0	10,4	0,0	10,4	0,0	10,4	0,0	10,4	0,0	10,4	0,0	10,4
	03	2004	0	10,7	0,0	10,7	0,0	10,7	0,0	10,7	0,0	10,7	0,0	10,7	0,0	10,7
Irrigação total na fase			0	35,3	00,0	35,3	00	35,3	0,0	35,3	0,0	35,3	0,0	35,3	0,0	35,3
Total			0	217,3	98,8	184,5	163,8	140,5	245,7	128,8	327,6	61,3	409,5	61,3	409,5	61,3

Observa-se no ano-safra 2002/2003 a queda de produção ocorrida nos tratamentos T1, T2 e T3, nos quais a demanda hídrica não foi atendida, se deve aos déficits ocorridos em dois períodos distintos. No primeiro déficit, ocorrido no período pré e pós-florada (abril a setembro), foram observados murchamento e queda dos botões florais nos estádios 4 e 5 de desenvolvimento (CRISOSTO et al., 1992), como também queda de frutos na fase chumbinho após o vigamento das flores.

O segundo déficit ocorreu no início da fase de expansão do pergaminho, nos meses de outubro e novembro, período em que o déficit pode causar tanto a queda de frutos como também afetar o seu crescimento, delimitando o tamanho do grão, fator que afeta tanto a produtividade e as características físicas do produto final.

Já no ano-safra 2003/2004 a queda de produção pode ser atribuída exclusivamente à fase pré-florada, visto que a partir do mês de setembro as chuvas supriram as necessidades da cultura, mantendo a umidade do solo próximo à umidade mínima recomendada (Figuras 11 a 13).

Nos dois anos, não foram observados déficits elevados no período de janeiro a março, na fase de enchimento de grão que é altamente afetada pelo déficit hídrico.

Esperava-se que as lâminas acima de 100% afetassem a produtividade negativamente, porém por ser o solo em questão profundo, não tendo nenhum impedimento físico, portanto apresentando boa drenagem, a água aplicada em excesso percolou, não afetando o sistema radicular.

A alta produtividade do tratamento T4, que recebeu 75% da lâmina de irrigação recomendada, pode ser explicada pelo fato de no presente trabalho o valor de  $k_l$  utilizado (equação 4), conforme método proposto por FERERES (1981), ter sido de 0,84. Entretanto, MUDRIK (2005) relatou que a utilização da equação para cálculo do  $k_l$  proposto por KELLER-BLIESNER (1990) (equação 7), promoveu redução de 15,8% em relação a proposta por FERERES (1981) na estimativa da irrigação total necessária (ITN). O autor relatou ainda esta equação foi o que melhor se ajustou aos dados de campo para o manejo da irrigação feito por tensiômetros. No presente trabalho o valor de  $k_l$  calculado utilizando o método de Keller e Bliesner seria de 0,71, assim a lâmina equivalente a 75% na realidade seria para 92% da lâmina recomenda, fazendo

com que a produtividade do tratamento T4 não apresentasse diferença estatística dos tratamentos T5, T6 e T7, porém estudos mais aprofundados devem ser feitos para identificar qual método de cálculo de KI melhor se ajusta para a cultura do cafeeiro.

$$KI = 0,1 \sqrt{P} \quad \text{Equação (7)}$$

em que

KI = coeficiente de localização; e

P = porcentagem de área molhada ou sombreada.

Na Figura 17 encontra-se a curva de evolução da umidade do solo para o T4, para o manejo da irrigação utilizando o método de Keller-Bliesner para determinação da Etc. observa-se que a umidade do solo está sempre próxima a capacidade de campo ao longo de experimento.

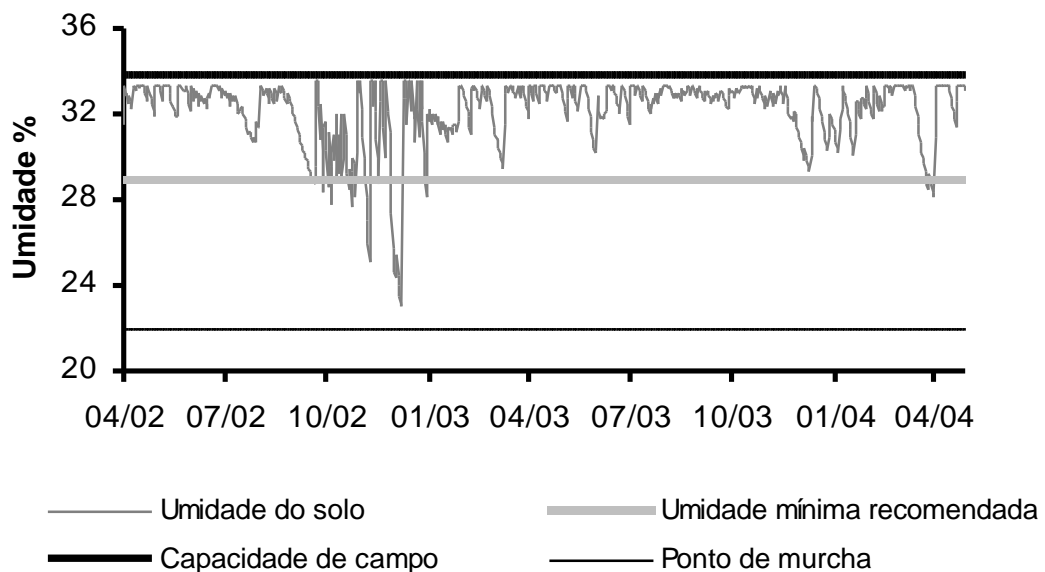


Figura 17 – Curva de evolução da umidade do solo para T4 (75%) utilizando-se KI Keller-Bliesner para determinação da ETC.

Na Tabela 13 estão os valores em litros de café da roça necessários para produzir uma saca beneficiada, que variaram de 530 a 584 para o ano-

safras 2002/2003 e de 600 a 640 para o ano-safra 2003/2004. Estes valores são muito superiores aos encontrados por SCALCO et al. (2003), que trabalhando com a mesma variedade (Rubi MG 1192) em Lavras-MG, sob diferentes critérios de irrigação em função da tensão de água no solo, encontraram rendimentos variando de 490 a 520 L, não havendo diferença entre os tratamentos.

Tratamentos	2002/2003	2003/2004
T1	585	641
T2	559	628
T3	561	621
T4	555	610
T5	539	619
T6	564	607
T7	529	597

Dentre os fatores que podem explicar esse baixo rendimento, destacam-se o déficit hídrico, a nutrição, o clima com temperaturas fora da faixa ideal para a cultura e os fatores fisiológicos relativos às características da variedade.

Na Figura 19 estão a precipitação média mensal da série histórica e as precipitações mensais ocorridas nos anos-safra 2002/2003 e 2003/2004, não tendo sido observados déficits nas fases de expansão do fruto que ocorre entre os meses de outubro e dezembro. Nesta fase o déficit hídrico pode influenciar o rendimento, afetando o crescimento do pergaminho, o que limitará o tamanho do grão, portanto não se pode explicar o baixo rendimento pelo déficit hídrico, uma vez que todos os tratamentos apresentaram baixo rendimento.

Outro fator que poderia ter afetado diretamente o rendimento seria os fatores nutricionais, que em condições de deficiência acarretaria a má-formação dos grãos, bem como o enchimento destes, levando à obtenção de grãos pequenos, lóculos vazios e, ou, grãos chochos. Na Tabela 14 estão os resultados da análise foliar feita em julho de 2004. Esses resultados mostram que para todos os tratamentos os níveis de nutrientes apresentados estão na faixa do ótimo, exceto o potássio, que está na faixa média (MARTINEZ et al., 1999), portanto provavelmente não se pode atribuir o baixo rendimento ao fator nutricional.

Tabela 14 – Resultado da análise foliar para os diferentes tratamentos, realizada em julho de 2004

Tratamento	Nutrientes										
	dag/kg			dag/kg			mg/kg				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fé	Mn	Cu	B
1	3,49	0,126	1,203	1,112	0,312	0,148	9,0	572	260	21,8	62,2
2	3,33	0,133	1,203	1,107	0,312	0,142	9,4	484	226	21,9	65,8
3	3,54	0,122	1,323	1,000	0,257	0,148	9,4	502	228	21,9	71,5
4	3,44	0,122	1,082	1,457	0,364	0,131	9,7	629	244	22,6	86,9
5	3,35	0,126	1,353	1,000	0,243	0,136	8,2	494	194	19,4	69,5
6	3,18	0,133	1,172	1,195	0,295	0,130	9,6	538	287	22,5	82,1
7	3,38	0,130	1,300	1,166	0,284	0,142	10,4	539	279	21,2	79,9
Faixa ótima	3,0-3,5	0,12-0,16	1,8-2,2	1,0-1,3	0,31-0,45	0,15-0,2	10-20	100	50	10-50	40-80
Faixa média	2,5-2,9	0,05-0,11	1,2-1,7	0,5-0,9	0,2-0,3	0,05-0,14	7-9	-	-	4-9	20-39
Faixa baixa	< 2,5	< 0,05	< 1,2	< 0,5	< 0,2	< 0,05	< 7	-	-	< 4	< 20

Assim, o baixo rendimento obtido provavelmente se deve a fatores climáticos ou fisiológicos, ou ainda a uma possível interação entre estes, o que deve ser mais bem estudado posteriormente.

Por se tratar de cafeeiro irrigado, esperava-se maior produtividade dos tratamentos que receberam maiores lâminas, pois em nível de campo (dados não-experimentais) têm se sido obtidas produtividades médias na faixa de 60 a 70 scs ha<sup>-1</sup>. As produtividades observadas no presente trabalho podem ser atribuídas a eventos ocorridos com a cultura antes da implantação do experimento, visto que os tratamentos foram aplicados quando as plantas tinham três anos pós-plantio. O histórico da cultura diz que o plantio foi feito com mudas passadas, que tiveram problemas de desfolha no pós-plantio, e ainda que houve mal manejo quanto à nutrição, pois no segundo ano a adubação potássica foi inferior à necessária.

Na Figura 18 são estão as curvas de regressão polinomial obtidas para a produtividade média real e a produtividade simulada, considerando o rendimento de 500 L de café da roça por saca beneficiada, em função das lâminas de irrigação aplicadas, que apresentaram produtividade máxima real de 55 scs ha<sup>-1</sup> para a lâmina de 180% da Etc. A produtividade máxima simulada 59 scs ha<sup>-1</sup> foi atingida quando a lâmina foi de 150 %, porém esta produtividade não difere estatisticamente da obtida pela aplicação da lâmina de 100%.

Vale ressaltar que o aumento da lâmina de irrigação em nível comercial acarretaria maiores demandas de água e energia, bem como maiores custos quanto ao projeto de irrigação, no que diz respeito a gotejadores de maior vazão, maior potência da moto-bomba e diâmetro das tubulações desde a sucção até o recalque.

#### **4.4. Efeito da PAM sobre a produtividade do cafeeiro**

Na Tabela 15 estão as produtividades e suas médias para os dois anos-safra estudados. Observa-se os que tratamentos com 30% (P2) e 50% (P3) de área molhada tiveram praticamente a mesma produtividade (51,0 sacas ha<sup>-1</sup>), 150% superior ao tratamento P1 não-irrigado, em média P2 e P3 produziram 30,0 sacas ha<sup>-1</sup> a mais que P1.

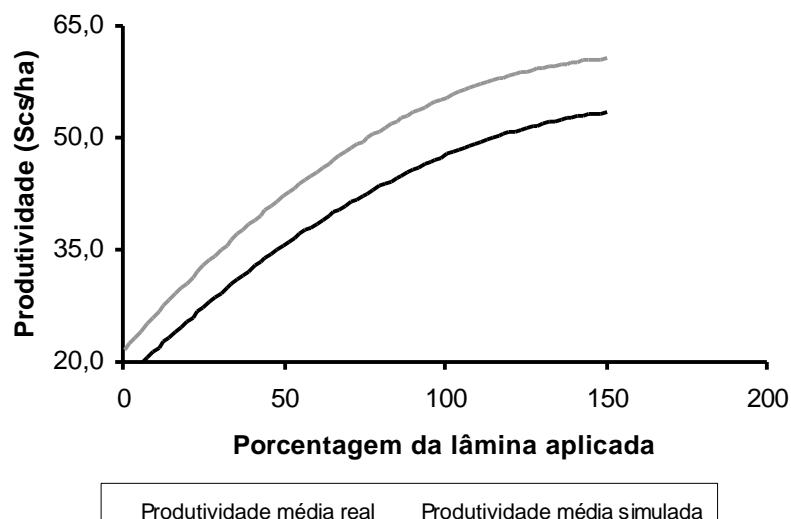


Figura 18 – Curvas de regressão polinomial obtidas para a produtividade média das duas safras e produtividade média simulada em função das lâminas de irrigação aplicadas.

Tabela 15 – Valores de produtividade em sacas por hectare para os dois anos safra estudados e produtividade média obtida para os respectivos tratamentos

Tratamento	2002/2003 (Scs ha <sup>-1</sup> )	2003/2004 (Scs ha <sup>-1</sup> )	Média (Scs ha <sup>-1</sup> )
P1 (NI)	20,7 a	19,94 a	20,32 a
P2 (30%)	50,2 b	53,37 b	51,19 b
P3 (50%)	48,2 b	52,75 b	50,46 b

Os valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A maior produtividade obtida pelos tratamentos irrigados em relação ao não-irrigado se deve exclusivamente ao fator água. Vários autores, como FERNANDES et al. (2000), FARIA (2001), ANTUNES (2001), SOARES (2001) e SILVA (2002), relatam que a irrigação tem promovido ganhos médios de 20 a 30 sacas ha<sup>-1</sup>. MATIELO et al. (2002) analisando as produtividades para cafeeiros cultivados em condições de sequeiro e irrigados, encontraram produtividades médias de 35 e 55 sacas ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para cafeeiros adultos.

Não foi observada diferença entre as produtividades quando se variou a PAM. Vale ressaltar que a lâmina de irrigação aplicada foi a mesma para os

dois tratamentos. O IRRIGA-GESAI utiliza o coeficiente  $kl$  para correção da  $ET_c$ , em função da porcentagem da área sombreada (PAS) ou porcentagem da área molhada (PAM), sendo utilizada aquela de maior magnitude. No presente trabalho, a cultura encontrava-se na fase adulta, tendo PAS de 50%, logo o programa utilizou o valor da PAS no cálculo de  $kl$ . Portanto, os dois tratamentos receberam as mesmas lâminas de irrigação, sendo 453 mm no ano-safra 2002/2003, compreendendo o período de 1<sup>o</sup> de agosto 2002 a 31 de julho de 2003, e 327 mm no ano-safra 2003/2004, compreendendo o período de 1<sup>o</sup> de agosto de 2002 a 31 de maio de 2004, data na qual o experimento foi encerrado.

Os resultados confirmam as afirmações feitas por MERRIAN e KELLER (1990). Os autores recomendam valores de 33 a 67%, para plantios espaçados, em solos de textura média à argilosa e em regiões com consideráveis precipitações, fatores que condizem com as características da área experimental. Esses autores afirmam ainda que, nestas condições, valores de PAM na faixa de 33% promovem um bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

#### **4.5. Efeito da PAM sobre o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular do cafeeiro**

Não há muitos trabalhos sobre o sistema radicular do cafeeiro em condições irrigadas, e nos existentes não há uma descrição da metodologia, não ficando claro o método utilizado para o manejo da irrigação, a PAM e as lâminas irrigação aplicadas, e ainda se é irrigação suplementar ou total, bem como a metodologia para amostragem do sistema radicular.

No presente trabalho, as irrigações foram suplementares, concentradas entre abril e outubro e, eventualmente em veranicos ocorridos durante o período chuvoso, que para a região de Patrocínio foi de outubro a março. Na Figura 19 são apresentadas as precipitações mensais ocorridas nos dois anos-safra estudados e as precipitações médias da série histórica. Observa-se que o período de maior concentração das chuvas foi de novembro a abril. Nestes as precipitações mensais foram sempre superiores à  $ET_c$  acumulada ao longo do mês.

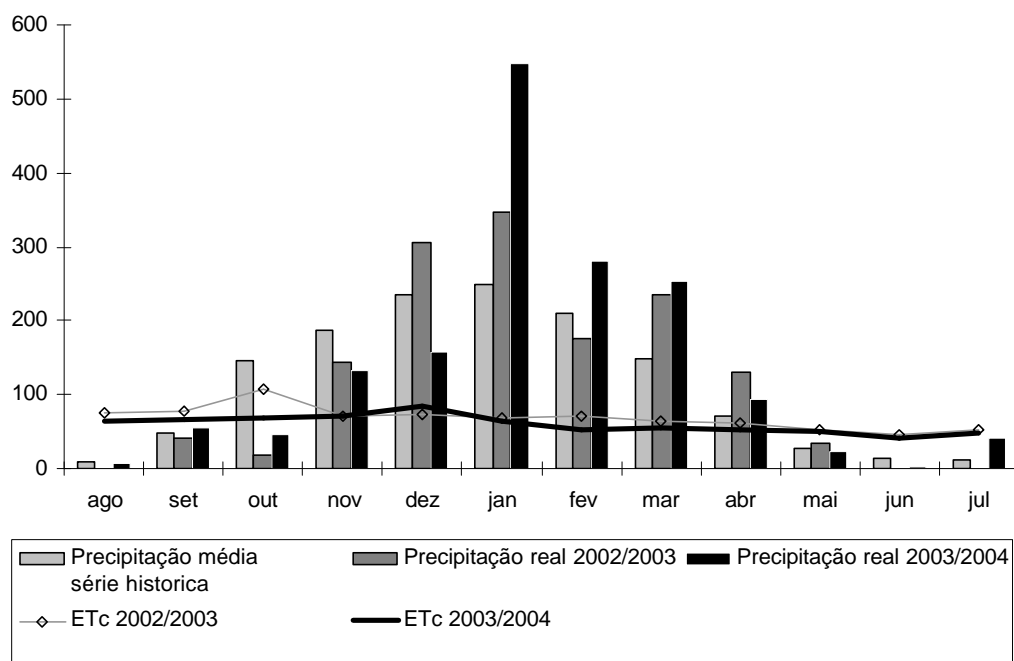


Figura 19 – Precipitação média mensal da série histórica, ETc, e precipitações mensais ocorridas nos anos-safra 2002/2003 e 2003/2004.

A freqüência das irrigações era duas vezes por semana, tendo os dois tratamentos recebidos as mesmas lâminas de irrigação. Nas Figuras 20 e 21 estão as curvas que mostram a variação da umidade do solo no período de estudo para o tratamento não-irrigado e irrigado, respectivamente.

Observa-se que o tratamento não-irrigado sofreu déficits hídricos acentuados nos períodos de abril a outubro de 2002 e de maio a outubro de 2003, período que corresponde às fases de pré-floração, floração e chumbinho, fases nas quais o cafeeiro é extremamente sensível a déficits hídricos, o que afetou diretamente a produtividade. Além disso, ocorreram déficits em períodos curtos (veranicos), durante a estação chuvosa (outubro a abril) nos dois anos estudados. Por outro, lado nos tratamentos P2 e P3 ocorreram praticamente os déficits hídricos programados para induzir a floração (Figura 21).

As amostragens para o estudo da distribuição das raízes abrangeram um quarto do sistema radicular das plantas amostradas, tendo o total de raízes amostradas sido de 312,00, 382,00 e 367,00 g de matéria seca, para P1, P2 e P3, respectivamente. Enquanto que na relação comprimento/peso foram constatados 1,95, 19,00 e 100,00 mg de matéria seca por centímetro de raízes finas médias e grossas, respectivamente.

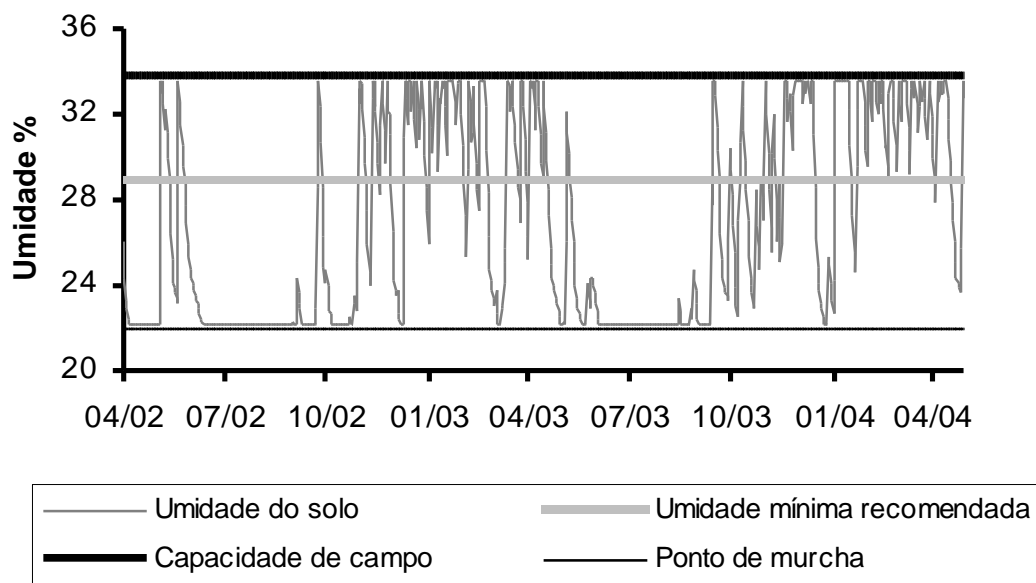


Figura 20 – Curva de variação da umidade do solo para P1.

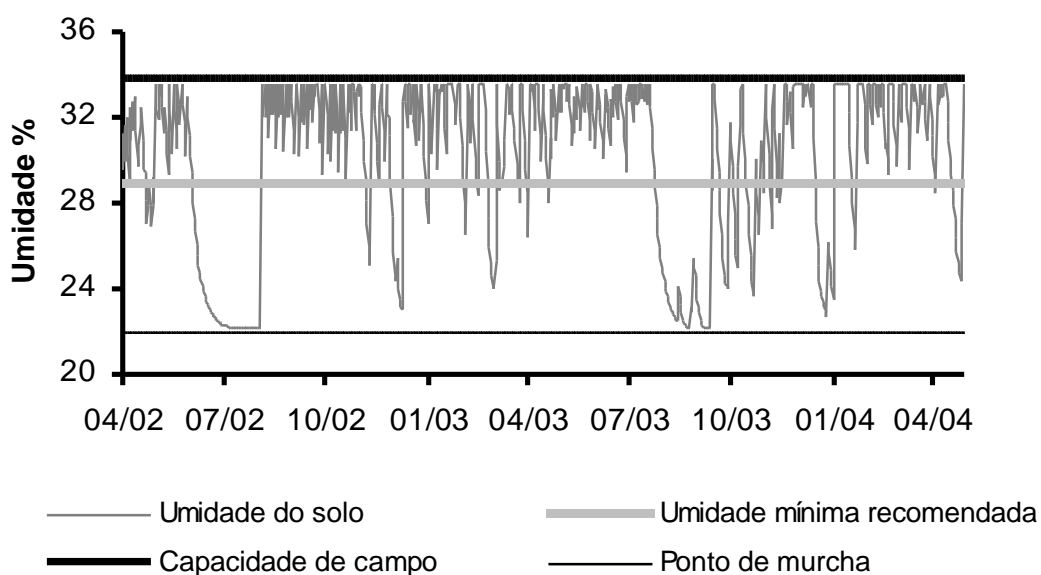


Figura 21 – Curva de variação da umidade do solo para P2 e P3.

Tomando o sistema radicular como sendo distribuído simetricamente no perfil do solo, o comprimento total foi de 3.804, 4.162 e 4.245 m para raízes

absorventes e 138, 167 e 145 m para raízes médias e 26, 35 e 36 m de raízes grossas, para P1, P2 e P3, respectivamente.

Nas Tabelas 16 e 17 estão os valores de distribuição das raízes finas, médias e grossas, expressos em miligramas de raízes e densidade de raiz por decímetro cúbico de solo, para as diversas profundidades e distâncias do caule.

Em relação às raízes finas na camada superficial (0-20 cm), os tratamentos irrigados não apresentaram diferença entre si, devendo-se destacar que estes apresentaram maior quantidade de raízes que P1, nos primeiros 40 cm de profundidade e a 80 cm do caule; a partir de 60 cm de profundidade e até 40 cm de distância do caule P1 apresentou maior quantidade de raízes que os outros tratamentos. Para a profundidade de 60 cm e distância a partir do caule maior que 40 cm, não foram observadas diferenças entre os tratamentos para as demais frações de solo estudadas.

Para as raízes médias não foram observadas diferenças entre os tratamentos em todas as frações de solo estudadas, tendo sido constatado que a quantidade de raízes diminuiu gradativamente com a profundidade e distância do caule, não sendo encontradas abaixo de 100 cm de profundidade.

Os resultados encontrados para raízes médias e finas se assemelham aos encontrados por NICK et al. (1994), que relataram que a quantidade de raízes finas e médias tem comportamentos semelhantes; diminui muito à medida que se afasta do caule, com maiores concentrações sob a saia das plantas.

As raízes grossas apresentaram diferenças estatísticas apenas na profundidade e distância do caule de 0 a 20 cm, sendo encontradas até 80 cm do caule, distância equivalente ao diâmetro de copa das plantas estudadas e a 60 cm no sentido vertical.

Nas Figuras 22, 23 e 24 estão os perfis de distribuição do sistema radicular para P1, P2 e P3, respectivamente. Observa-se que no tratamento não-irrigado (P1) o sistema radicular concentrou-se próximo ao caule, com 70 e 95% das raízes até 60 e 90 cm de profundidade, respectivamente, e à distância da planta de 40 e 80 cm, esta última equivalente à projeção da copa da planta.

Tabela 16 – Distribuição de raízes em miligramas de raízes expresso em matéria seca por decímetro cúbico de solo, para raízes finas, médias e grossas, para os tratamentos P1, P2 e P3 conforme a distância do caule e profundidade

Raízes Finas

Dist. Prof.	0-20			20-40			40-60			60-80			80-100			100-120		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
0-20	1750a	2397b	2167b	1061a	1489a	1531a	894a	1014a	1556b	325a	953b	1250b	286a	497b	586b	281a	253a	181a
20-40	850a	1242b	1583b	619a	675a	881a	356a	511a	567b	261a	456a	492a	236a	183a	122a	394a	108a	147a
40-60	556a	1194b	711a	1044a	622b	608a	369a	408a	678a	742a	400a	456a	200a	350a	228a	258a	158a	108a
60-80	944a	575b	675b	1022a	592b	319a	433a	192a	281a	206a	297a	308a	111a	231a	217a	122a	92a	128a
80-100	922a	461b	264b	478a	536a	439a	247a	97a	100a	119a	167a	189a	39a	58a	47a	14a	103a	94a
100-120	106a	278a	103a	78a	58a	78a	64a	119a	106a	42a	25a	31aa	11a	17a	17a	11a	0a	0a

Raízes Médias

Dist. Prof.	0-20			20-40			40-60			60-80			80-100			100-120		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
0-20	653a	647a	586a	322a	228a	247a	136a	364a	231a	92a	239a	228a	111a	244a	197a	31a	178a	164a
20-40	469a	480a	472a	375a	142a	194a	261a	289a	417a	300a	281a	278a	172a	253a	236a	81a	133a	72a
40-60	256a	719a	397a	303a	567a	339a	208a	203a	450a	278a	192a	222a	267a	94a	50a	161a	67a	58a
60-80	247a	358a	356a	311a	172a	169a	225a	61a	136a	33a	92a	94a	36a	47a	47a	92a	22a	22a
80-100	142a	197a	111a	75a	36a	94a	44a	0a	0a	58a	133a	133a	0a	19a	19a	0a	0a	0a
100-120	0a	0a	0a	0a	0a	19a	11a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a

Raízes Grossas

Dist. Prof.	0-20			20-40			40-60			60-80			80-100			100-120		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
0-20	1131a	4875b	3842b	606a	660a	586a	111a	144a	214a	50a	317a	492a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
20-40	1170a	750a	731a	522a	344a	683a	272a	164a	175a	0a	0a	14a	0a	0a	83a	0a	0a	0a
40-60	0a	406a	286a	519a	117a	0a	158a	0a	56a	30a	0a	8a	02a	0a	28a	0a	0a	0a
60-80	0a	81a	81a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
80-100	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a
100-120	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a	0a

Os valores seguidos pela mesma letra dentro de cada faixa horizontal não diferem para uma mesma posição entre si, a 5% de significância.

Tabela 17 – Comprimento de raízes em centímetros por decímetro cúbico, para raízes finas, médias e grossas para os tratamentos P1, P2 e P3 conforme distancia do caule e profundidade

Raízes Finas																			
Prof.	Dist.	0-20			20-40			40-60			60-80			80-100			100-120		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
0-20		897	1229	1111	544	661	785	459	520	798	167	489	641	147	255	301	144	130	93
20-40		436	637	812	318	346	452	182	416	291	134	234	252	121	94	63	202	56	75
40-60		285	613	365	536	319	312	189	209	348	380	205	234	103	179	117	132	81	56
60-80		484	295	346	524	303	164	222	98	144	105	152	158	57	118	111	63	47	66
80-100		473	236	135	245	275	225	127	50	51	61	85	97	20	30	24	7	53	48
100-120		54	142	53	40	30	40	33	61	54	21	13	16	6	9	9	6	0	0

Rízes Médis																			
Prof.	Dist.	0-20			20-40			40-60			60-80			80-100			100-120		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
0-20		33	32	29	16	11	12	7	18	12	5	12	11	6	12	10	2	9	8
20-40		23	49	24	19	7	10	13	14	21	15	14	14	9	13	12	4	7	4
40-60		13	36	20	15	28	17	10	10	23	14	10	11	13	5	3	8	3	3
60-80		12	18	18	16	9	8	11	3	7	2	5	5	2	2	2	5	1	1
80-100		7	10	6	4	2	5	2	0	0	3	7	7	0	1	1	0	0	0
100-120		0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Rízes Grosss																			
Prof.	Dist.	0-20			20-40			40-60			60-80			80-100			100-120		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
0-20		11	49	38	6	1	4	1	1	2	1	3	5	0	0	0	0	0	0
20-40		12	8	7	5	3	7	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40-60		0	4	3	5	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60-80		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80-100		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
100-120		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

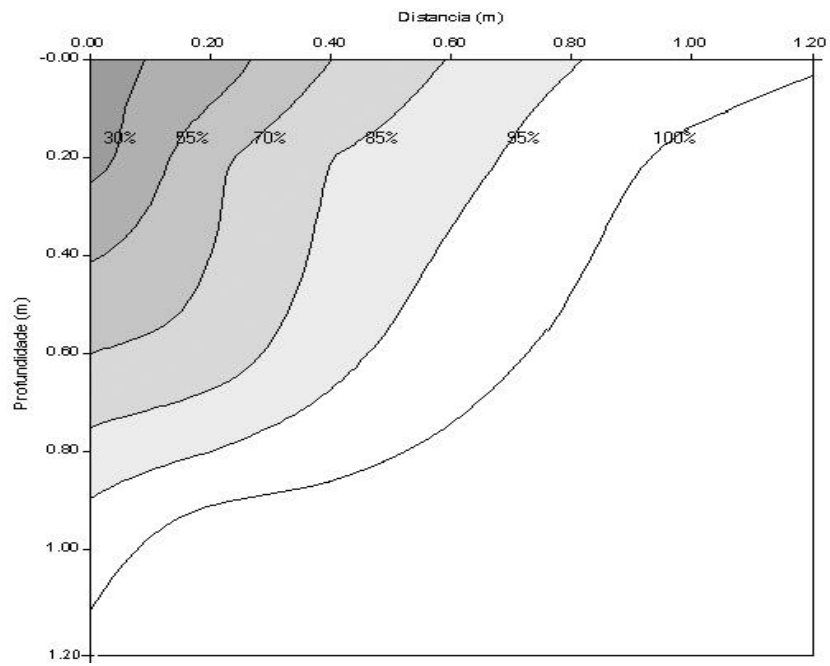


Figura 22 – Distribuição do sistema radicular do cafeeiro para o P1.

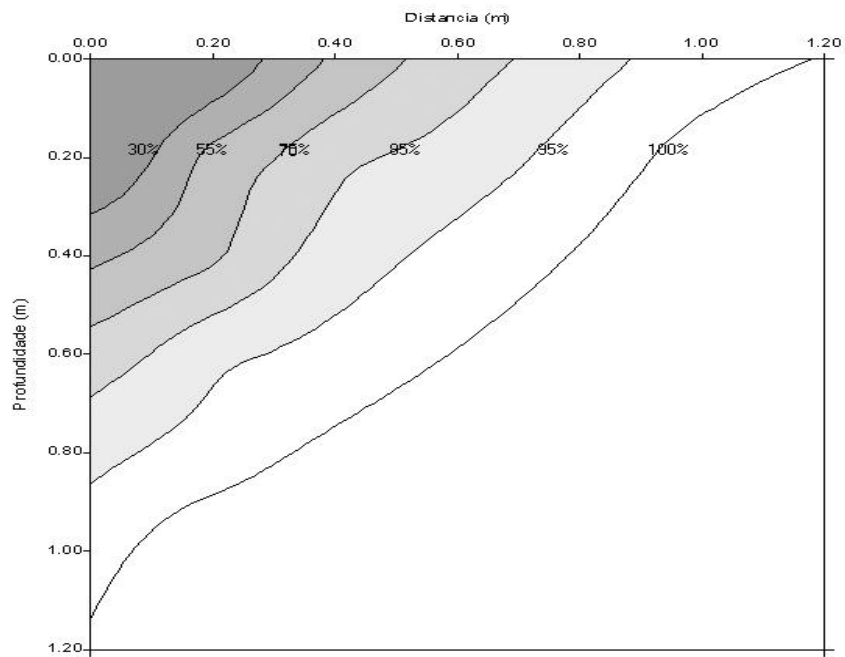


Figura 23 – Distribuição do sistema radicular do cafeeiro para o P2.

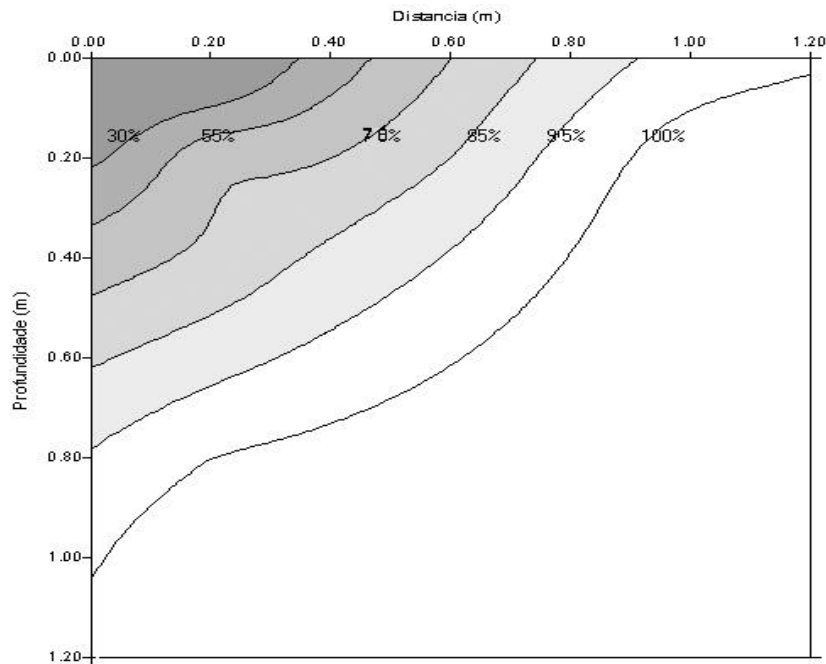


Figura 24 – Distribuição do sistema radicular do cafeeiro para o P3.

Os resultados encontrados para P1 não se assemelham às observações de NUTMAN (1933), que encontrou maior concentração de raízes entre 50 e 80 cm do caule e entre 30 e 60 cm de profundidade, em plantas com três anos de idade, porém estes resultados foram observados em variedade Típica, em solos vulcânicos e extremamente férteis.

No tratamento irrigado (P2) com PAM de 30%, o sistema radicular apresentou perfil um pouco diferente de P1. Observa-se que 70% das raízes foram encontradas até 50 cm do caule e 95% até 90 cm, devendo-se ressaltar que 10% das raízes foram observadas fora da projeção da copa. Quanto à profundidade, 70% das raízes foram observadas até 50 cm de profundidade e 95 % até aproximadamente 85 cm.

No tratamento irrigado (P3), com PAM de 50% o sistema radicular apresentou perfil bem semelhante a P2, com 70% das raízes encontradas até 60 cm do caule e 95% até 90 cm; e 10% das raízes foram observadas fora da projeção da copa. Quanto à profundidade, 70% das raízes foram observadas até 50 cm de profundidade e 95% até 80 cm.

Nos tratamentos irrigados, o sistema radicular teve melhor distribuição no sentido lateral. No tratamento P2 a faixa molhada foi de 1,2 m e a

profundidade efetiva do sistema radicular foi de 60 cm, na qual foi feito o balanço hídrico e teve uma concentração de 90% das raízes na porção do solo equivalente à faixa molhada.

No tratamento P3, no qual a faixa molhada foi de 1,8 m e a profundidade efetiva foi 60 cm, igual a P2, 80% das raízes foram encontradas na porção do solo equivalente às faixas molhadas, mostrando que a irrigação promoveu melhores condições de desenvolvimento do sistema radicular no sentido horizontal.

O aumento da PAM não afetou a produtividade e nem a distribuição do sistema radicular, a partir de então recomenda-se para a região e o solo em questão trabalhar com PAM de 30%, devendo-se ressaltar que o aumento da PAM está associado a implantação de duas linhas de gotejadores por linha de plantas, o que promove um maior custo de implantação do sistema de irrigação, podendo até torná-lo inviável.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

O trabalho foi realizado na município de Patrocínio-MG, localizado na latitude 18° 56' S, longitude 46° 59' W e altitude média de 965 m, na Fazenda Experimental da EPAMIG. Em solos do Triângulo de Minas, região na qual se encontram grandes áreas de café irrigado, não existem trabalhos que avaliam os efeitos das variações de lâminas de irrigação para a cultura do cafeeiro. Assim neste trabalho teve-se como objetivo geral estudar os efeitos da irrigação sobre a produção e o desenvolvimento fisiológico do cafeeiro, nas condições edafoclimáticas do Triângulo de Minas Gerais, e como objetivos específicos: avaliar o desenvolvimento vegetativo e a produtividade do cafeeiro para diferentes lâminas de irrigação no Triângulo de Minas Gerais;

O presente trabalho é constituído por dois experimentos, no primeiro estudou-se o efeito da variação da lamina de irrigação sobre a produtividade e ao desenvolvimento do cafeeiro. No segundo experimento estudou-se o efeito da porcentagem de área molhada (PAM) e seus efeitos sobre a produtividade e a distribuição do sistema radicular do cafeeiro.

Os resultados de dois anos de acompanhamento experimental levaram às seguintes conclusões:

- a altura de planta e o diâmetro de copa foram afetados pela variação das lâminas aplicadas, com os as lâminas a partir de 75% da ETc apresentando crescimento superior ao das demais;

- para o parâmetro de diâmetro de caule, não foi observada diferença entre os tratamentos aplicados, para os dois anos estudados;

- as maiores produtividades foram alcançadas com aplicação das maiores lâminas, não havendo diferença estatística entre os tratamentos a partir da lâmina de 75% da ETC;

- a variação da PAM não afetou a produtividade para o ano estudado, sendo recomendado 30% de PAM; e

- o aumento da PAM proporcionou melhor distribuição do sistema radicular, quanto a distancia do caule.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. In: FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO – Food and Agriculture Organization of United Nations. Rome, 1998. 308 p.

ALVES, M. E. B. *Resposta do cafeeiro (Coffea arábica L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação*. 1999. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

ANTUNES, R. C. B. *Determinação da evapotranspiração e influência da irrigação e da fertirrigação em componentes vegetativos, reprodutivos e nutricionais do café Arábica*. 2001. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

ANTUNES, R. C. B.; RENA, A. B.; MANTOVANI, E. C. *Fertirrigação na cultura do cafeeiro*. Revista Engenharia na Agricultura, Boletim Técnico nº 5. Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. UFV-DEA. Viçosa-MG. Março, 2001.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M. Ritmo de crescimento do tronco do café. *Turrialba*, v. 24, p. 127-31, 19974b.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de Irrigação*. 7 ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. v. 1. 611 p.

BOHM, W. *Methods of studying root systems*. New York: Springer Verlag, 1979. 190 p.

- BULL. R. A. Studies on the effect of mulch and the irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L.- I: changes in the root system induced by mulching and the irrigation. *Turrialba*, San José, v. 13, n. 2, p. 96-115, 1963.
- CRISOSTO, C. H.; GRANTZ, D. A.; MEINZER, F. C. Effects of water deficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). *Tree Physiology*, v. 10, p. 127-139, 1992.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).
- FARIA, M. A. de; REZENDE, F.A. *Irrigação na cafeicultura*. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 75 p.
- FERNANDES, A. L. T.; SANTINATO, R.; SANTO, J. E.; AMARAL, R. Comportamento vegetativo-reprodutivo do cafeeiro catuaí cultivado no Oeste Baiano sob irrigação por pivô central. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1, 1998, Araguari. *Palestras e Resumos...* Uberlândia: UFU/DEAGO, 1998. p.40-4.
- FERNANDES, A. L. T.; DRUMOND. L. C. D. Irrigação de café através do sistema de aspersão em malha. *Revista ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília, n. 48, p. 58-60, setembro 2000.
- FERERES, E. Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado. Ponencia en IV Seminario Latinoamericano de Microirrigación. Barquisimeto, Venezuela, 1981. 23 p.
- FERERES, E. Irrigation scheduling: the state of the art. In: Hellenic Hidrotechnical Congress on water resources and regional development, 4th. Athens: 1990. *Proceedings...* Athens, 1990. p.755-768.
- FOUNIER, A. Fundamentos ecomorfisiológicos de importância em la nutrición mineral do cafeeiro. In: CURSO REGIONAL SOBRE NUTRICION MINERAL DEL CAFÉ, 1988, San José, Costa Rica. *Anais...* San José: IICa, 1988. p. 1-23.
- FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. O. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 6, s. n. p. 443-478, 1946.
- HARER. A. E. *Modern coffee production*. London: Leonard Hill, 1962. 495 p.
- HUXLEY, P. A.; PATEL, R. Z.; KABAARA, A. M.; METCHELL, H. W. Tracer studies with <sup>32</sup>P on the distribution of functional roots of Arabica coffee in Kenya. *Annals of Applied Biology*, Cambridge, v 27, p. 159-180, 1976.
- HUXLEY, P. A.; TURK, A. Preliminary investigations with Arabica coffee in a root observation laboratory in Kenya. *Kenia Coffee*, Nairobi, v. 41, p. 349-360, 1976.

KARASAWA, S. *Crescimento e produtividade do cafeeiro (Coffea arabica L. cv. topázio MG-1190) sob diferentes manejos de irrigação localizada*. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. *Sprinkler and trickle irrigation*. New York: Avibook, 1990. 649 p.

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

LÓPEZ, R. J., ABREU J. M. H., REGALADO, A. P., HERNÁNDEZ, J. F. G. *Riego localizado*. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405p.

MALAVOLTA, E. *Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro*. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.) *Cultura do cafeeiro - Fatores que afetam a produtividade*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, SP, 1986. p. 165-264.

MANTOVANI, E. C. *Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: Estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos*. 1993. 184 f. Tese (Doutorado) – Universidad de Córdoba, Córdoba, 1993.

MANTOVANI, E. C. *Manejo da irrigação na cafeicultura*. In: MANTOVANI, E. C. *Curso de cafeicultura irrigada* (Apostila). Uberaba-MG: Universidade de Uberaba – UNIUBE. 2002. p. 84.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. *Diagnose foliar*. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.) *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5ª Aproximação. Comissão de fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa-MG, 1999. p. 143-167.

MARTINS, C. P.; VILELA, L. A. A.; GOMES, N. M. *Influência de diferentes lâminas de irrigação aplicadas nos parâmetros de crescimento do cafeeiro*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002. Araguari-MG. *Anais...* Araguari-MG, 2002. v. 5, p. 111-115.

MATIELLI, A.; SAN JUAN, R. C. C.; SANTINATO, R.; PEREIRA, E. M. *Mapeamento do sistema radicular do cafeeiro*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 22. 1996, Águas de Lindóia. *Anais...* Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1996. p. 131-132

MATIELLO, J. B.; SOUZA DANTAS, F. A. *Desenvolvimento do cafeeiro e do seu sistema radicular, com e sem irrigação, em Brejão-PE*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 14. 1987, Campinas. *Anais...* Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1987. p. 131-132

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MUDRIK, A. S. *Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas de uma propriedade do Triângulo Mineiro*. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal de Viçosa, Lavras, 2005.

NUTMAN, F. J. The root system of *Coffea arabica* L. I: Root system in typical soils conditions British East África. *Empire Journal of Experimental Agriculture*, Oxford, v. 2, p. 271-284, 1933a.

NUTMAN, F. J. The root system of *Coffea arabica* L. III: The spatial distribution of the absorbing area of the root. *Empire Journal of Experimental Agriculture*, Oxford, v. 2, p.293-302, 1934.

NICK, J. A.; YORINORO, G. T.; VARGAS MOTTA, A. C.; SCOPEL, I.; CUNHA FERNANDES, J. S. Efeito de 11 anos de cultivo sobre parâmetros químicos do solo e crescimento de raiz, no município de Tomazina-PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 20. 1994, Guarapari. *Anais...* Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFÉ, 1994. p. 131-132

OLIVEIRA E SILVA, M. L. Crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari-MG. *Anais...* Araguari-MG, 2002. v. 5, p. 20-24.

RENA, A. B.; DAMATTA, F. M. O sistema radicular do cafeeiro: morfologia e ecofisiologia. In: ZAMBOLIM, L. *O estado da arte de tecnologias na produção de café*. UFV. 2002. p. 11-92

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: *Ecofisiologia da Produção Agrícola*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba-SP. 1987. p. 119-147.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. In: SATURNINO, H. M. (Ed) *Cafeicultura irrigada*. Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem (ITEM). n. 48. 2000. p. 34-41.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.) *Cultura do cafeeiro - Fatores que afetam a produtividade*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, SP, 1986. p. 13-106.

SAÍZ DEL RIO, J. F.; FERNÁNDEZ, C. E.; BELLAVITA, O. Distribution of absorbing of coffee roots determined by radioactive traces. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, Beltsville, v. 77, p. 240-244, 1961.

SCALCO, M. S.; PAIVA, L. C.; COLOMBO, A.; RIBEIRO, A. A. S.; CARVALHO, H. M.; FARIA. M. A. Avaliação de primeira produção e do crescimento do

cafeeiro sob diferentes critérios de irrigação e densidade de plantio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 6., 2003, Araguari-MG. *Anais...* 2003. v. 6, p. 15-19.

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

SILVA, A. L. da; FARIA, M. A. de; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, n. 1, p. 37-44, 2003.

TEODORO, R. E. F.; MELO, B.; CARVALHO, H. P.; FERNANDES, D. L.; ALMEIDA, F. G.; LIMA, L. M. L. Influência de lâminas de irrigação no desenvolvimento inicial do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari-MG. *Anais...* 2002. v. 5, p. 42-45.

VILLALOBOS, F. J.; FERERES, E. Evaporation measurements beneath corn, cotton, and sunflower canopies. *Agronomy Journal*, v. 82, n. 1, p. 1153-1159, 1990.