

MARCELO ROSSI VICENTE

MANEJO E ANÁLISE TÉCNICA DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DO
CAFEEIRO NA REGIÃO OESTE DA BAHIA

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

V632m
2005
Vicente, Marcelo Rossi, 1978-
Manejo e análise técnica dos sistemas de irrigação
do cafeeiro na região oeste da Bahia / Marcelo Rossi
Vicente. – Viçosa : UFV, 2005.
xi, 70f. : il. ; 29cm.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 65-70.

1. Irrigação. 2. Irrigação por gotejamento.
3. Irrigação por aspersores. 4. Água - Distribuição.
5. IRRIGA (Programa de computador). I. Universidade
Federal de Viçosa. II.Título.

CDD 22.ed. 631.587

MARCELO ROSSI VICENTE

MANEJO E ANÁLISE TÉCNICA DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DO
CAFEEIRO NA REGIÃO OESTE DA BAHIA

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

Aprovada: 08 de julho de 2005.

Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Conselheiro)

Prof. André Luís Teixeira Fernandes
(Conselheiro)

Prof. Márcio Mota Ramos

Dr. Maurício Bernardes Coelho

Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

Aos meus pais Manuel e Dilene,
Dedico.

À Aline e à Alice,
Ofereço.

AGRADECIMENTO

A Deus, por tudo e principalmente pelo auxílio nos momentos de hesitação.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais), pela oportunidade de realizar este treinamento.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa para realização do curso.

Ao Consórcio Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CNP&D), pelo financiamento deste trabalho; e ao Programa Nacional de Desenvolvimento e Pesquisa do Café (PNP&D), pela concessão da bolsa durante o primeiro período do mestrado.

A meus pais, minha irmã e minha esposa, pelo amor e incentivo; em especial à minha princesinha Alice, por, mesmo não sabendo, ter contribuído, de forma significativa, para o comprimento desta etapa.

Ao Professor Everardo Chartuni Mantovani, pela orientação, amizade e confiança durante todo o período de trabalho e de curso.

Aos Professores conselheiros Gilberto Chohaku Sedyama e André Luís Teixeira Fernandes, pela amizade, colaboração e assistência durante os trabalhos.

A todos os professores e funcionários do DEA, pelos ensinamentos e pela oportunidade de convívio diário.

A toda a equipe de pesquisa da Fundação BA, na pessoa do Sr. Mário Meireles e do Dr. Roberto Santinato, pela colaboração; em especial aos técnicos Edmilson, Weslei e Marcos, pelo suporte e pela amizade sincera.

A todos os proprietários, gerentes, técnicos e funcionários, por terem disponibilizado suas áreas, tempo e sistemas de irrigação para a realização deste trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Lagoa do Oeste Hugo, Ana, Capelão, Zelão, Binha e todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas e ex-colegas do Programa de Pós-Graduação Adilson, Magrão, Ferreira, Fúlvio, Fernando, Rafael, Delfran, José Alberto, Élio e Fabiano e a todos os outros que deram a sua contribuição a esta pesquisa, pelo companheirismo.

A todos os meus amigos e companheiros do Gesai, pela paciência, pelo incentivo e pela colaboração.

A todos os meus familiares, pelo incentivo durante a realização do curso.

A todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARCELO ROSSI VICENTE, filho de Manuel Vicente Vicente e Dilene Rossi Vicente, nasceu em Colatina, ES, em 19 de março de 1978.

Em 1996, iniciou o Curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, graduando-se em agosto de 2001.

De março de 2002 até maio de 2004, foi bolsista do Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (PNP&D/Embrapa-Café).

Em agosto de 2003, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, da UFV, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2005.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Cafeicultura	3
2.2. Cafeicultura irrigada	4
2.3. Cafeicultura irrigada do oeste da Bahia	7
2.4. Irrigação por pivô central.....	7
2.5. Irrigação por gotejamento	10
2.6. Uniformidade de aplicação de água.....	12
2.7. Manejo da irrigação.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1. Localização e caracterização dos sistemas avaliados.....	20
3.2. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por gotejamento	21
3.3. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por pivô central convencional.....	23
3.4. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por pivô central equipados com emissores lepa e “alternativos” .	24

	Página
3.5. Número de emissores a serem avaliados nos pivôs de aplicação localizada.....	26
3.6. Avaliação do manejo da irrigação utilizando o programa Irriga-Gesai.....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação localizada por gotejamento	37
4.2. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por pivô central	43
4.3. Uniformidade de aplicação de água média dos sistemas avaliados.....	49
4.4. Determinação do número de emissores a serem avaliados nos pivôs de aplicação localizada.....	50
4.5. Manejo da irrigação.....	52
5. RESUMO E CONCLUSÕES	62
6. SUGESTÕES.....	64
REFERÊNCIAS.....	65

RESUMO

VICENTE, Marcelo Rossi, M. S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2005. **Manejo e análise técnica dos sistemas de irrigação do cafeeiro na região oeste da Bahia.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Gilberto Chohaku Sedyama e André Luís Teixeira Fernandes.

O presente trabalho foi dividido em dois estudos. O primeiro teve como objetivo a avaliação da uniformidade de aplicação de 27 sistemas de irrigação, sendo sete por gotejamento e 20 por pivô central, localizados em 12 propriedades de cafeicultores distribuídas em três municípios da região oeste da Bahia. Dos 20 sistemas de irrigação por pivô central avaliados, 11 foram pivôs equipados com emissores do tipo “Low Energy Precision Application” (LEPA), cinco com emissores alternativos e quatro eram pivôs centrais convencionais. Determinaram-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) de cada sistema. Dos pivôs centrais avaliados, apenas dois (10%) apresentaram valores de CUC abaixo de 80%, considerados inadequados. Dos sete sistemas de irrigação localizada por gotejamento avaliados, apenas um exibiu valor de CUD considerado inaceitável. O valor médio de CUD encontrado, durante as avaliações, no sistema de irrigação por pivô central equipado com emissores LEPA foi superior ao valor apresentado pelo sistema de gotejamento. Os pivôs centrais de aplicação localizada (LEPA e alternativos) apresentaram valores de

uniformidade superiores aos dos pivôs centrais convencionais. Verificou-se que é necessária a avaliação (coleta de vazão) de pelo menos 25% dos emissores para caracterização adequada da uniformidade de aplicação de água. O segundo estudo foi conduzido no período de setembro a novembro de 2003, na Fazenda Lagoa do Oeste, município de Barreiras, BA, com o objetivo de comparar o manejo da irrigação baseado nas informações meteorológicas, utilizando-se o programa computacional Irriga-Gesai, com um método de estimativa da umidade do solo em condições de pivô central e gotejamento. O programa Irriga-Gesai apresentou-se como uma boa alternativa ao manejo diário das irrigações, gerando resultados satisfatórios das estimativas das umidades do solo, nas condições de clima e solo da região.

ABSTRACT

VICENTE, Marcelo Rossi, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July, 2005.
Water management and technical analysis of irrigation systems used in the irrigated coffee crop of west of Bahia. Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee Members: Gilberto Chohaku Sedyama and André Luís Teixeira Fernandes

The present work was divided in two studies. The first one had as objective the evaluation of the uniformity of application of twenty and seven systems of irrigation, being seven for drip and twenty for center pivot irrigation, located in twelve farms distributed in three cities of the region West of the Bahia. Of the twenty systems of irrigation for center pivot evaluated, eleven had been pivots equipped with emitters of the type "Low Energy Precision Application" (LEPA), five with alternative emitter and four were center pivots conventional. Determined the coefficient of uniformity of Christiansen (CUC) and the coefficient of uniformity of distribution (CUD) of each system. Of the evaluated center pivot, only two (10%), had presented values of CUC below of 80%, considered inadequate. Of the seven systems of drip irrigation, only one presented considered value of CUD unacceptable. The average value of CUD found, during the evaluations, in the system of irrigation for equipped central pivot with emitters LEPA was superior to the value presented for the drip system. The center pivots offices of located application (alternative and LEPA)

had presented superior values of uniformity to the center pivots conventional. It was verified that the evaluation (outflow collection) of at least 25% of the emitters for adequate characterization of the uniformity of water application is necessary. The second study it was lead, in the period of September the November of 2003, in the Farm Lagoa do Oeste, city of Barreiras, BA, with the objective to compare the water management of irrigation based on the meteorological information, using the software Irriga-Gesai, with a method of estimate the soil humidity in conditions of center pivot and drip. The software Irriga-Gesai was presented as a good alternative to the daily water management of irrigation, generating resulted satisfactory of the estimates the soil humidity, in the conditions of climate and ground of the region.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do cafeeiro sempre foi de grande importância no cenário socioeconômico nacional, como gerador de empregos e riquezas. Com o advento da irrigação, esse cultivo passou a ser realizado também em regiões que apresentam déficits hídricos em períodos específicos ao longo do ano. Nessas áreas, têm-se implantado parques cafeeiros altamente tecnificados, obtendo altas produtividades com qualidade, comprometidos com a preservação ambiental. Destaca-se, entre as novas regiões produtoras, a região oeste da Bahia com a maior média de produtividade do mundo, aproximadamente 60 sacas por hectare (AIBA, 2005).

Os primeiros trabalhos consistentes de pesquisa em cafeicultura irrigada foram apresentados há quase 60 anos (MANTOVANI, 2002). Santinato e Fernandes (2002) citaram que, apesar de os primeiros trabalhos experimentais terem sido realizados no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) a partir de 1946, foi a partir de 1984 que a irrigação do cafeeiro se tornou uma prática de cultivo, em consequência da implantação de lavouras nas áreas com déficits hídricos.

A crescente preocupação mundial com os recursos hídricos leva à adoção de estratégias de manejo que possibilitem economia de água sem prejuízos da produtividade. Uma boa estratégia de manejo deve levar em consideração diversos fatores, além das inter-relações clima-solo-água-planta, por exemplo o sistema de irrigação. Dessa forma, os conhecimentos sobre as

características do funcionamento e das potencialidades de um sistema de irrigação são de forte influência no processo de tomada de decisão no manejo da irrigação.

Os sistemas de irrigação por pivô central, autopropelido, aspersão convencional e semifixa (malha); a irrigação localizada por gotejamento; e os sistemas alternativos são os mais utilizados na cafeicultura irrigada. Cada um desses sistemas tem suas vantagens e limitações, suas peculiaridades de funcionamento e manejo do equipamento.

Antes de implementar qualquer estratégia de manejo, é fundamental que se proceda a uma avaliação de desempenho do sistema de irrigação. A partir dos resultados obtidos, é possível adequar o equipamento aos requerimentos de água dos cultivos utilizados, bem como a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação.

Um dos principais parâmetros de avaliação do desempenho de sistemas de irrigação é a uniformidade de distribuição de água. No entanto, mesmo sistemas com potencial para aplicar água com alta uniformidade de distribuição podem apresentar, na prática, baixa uniformidade. Entre as possíveis causas para os problemas na uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação estão o dimensionamento incorreto, a falta de manutenção do equipamento e o entupimento de emissores.

Considerando-se o exposto, o trabalho teve como objetivos:

Avaliar, de acordo com os parâmetros da engenharia, a uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação utilizados na região oeste da Bahia.

Comparar o manejo da irrigação baseado nas informações meteorológicas com um método de estimativa da umidade do solo em condições de pivô central e gotejamento, na região oeste da Bahia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cafeicultura

A cafeicultura brasileira iniciou-se no Estado do Pará, no ano de 1727. Depois, o café passou a ser cultivado no Estado do Maranhão e estados vizinhos, chegando à Bahia em 1770. Em 1774, a cafeicultura alcançou o Estado do Rio de Janeiro e, posteriormente, os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná (MATIELLO, 1991).

No Brasil, as duas espécies cultivadas comercialmente são o *Coffea arabica* L. (café arábica) e o *Coffea Canephora* Pierre (café canéfora). O café arábica é cultivado principalmente nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Já o café canéfora é cultivado principalmente no norte do Espírito Santo, sul da Bahia e nos Estados de Rondônia, Pará e Mato Grosso.

Com exportação média de 22 milhões de sacas anuais, o Brasil é o principal exportador e responde por mais de um terço de toda a produção mundial. O setor é responsável pela geração de 7 milhões de empregos diretos e indiretos no País e por uma riqueza anual de 10 bilhões de reais (cerca de 3 bilhões de dólares) (EMBRAPA, 2004). O Brasil possui, hoje, uma área, em produção, de 2.212.870 mil hectares, com aproximadamente 5,9 bilhões de plantas, metade no Estado de Minas Gerais (CONAB, 2005).

No Brasil, em 2004, ocorreu uma produção de café beneficiado de 39.272 mil sacas. Desse total, 31.715 mil sacas são de café arábica e cerca de 7.557 mil sacas são de café canéfora. Minas Gerais continua sendo o estado maior produtor de café arábica, com aproximadamente 60% da produção nacional (18.747 mil sacas), sendo o Estado do Espírito Santo o maior produtor de café canéfora, também com aproximadamente 60% da produção (4.500 mil sacas) (CONAB, 2005).

2.2. Cafeicultura irrigada

A utilização da irrigação na cafeicultura redesenhou a distribuição geográfica do cultivo do café no Brasil, incorporando áreas antes não recomendadas para o plantio e transformando-as em novos pólos de desenvolvimento da cultura e das regiões. Estimativas indicam que existem em torno de 200 mil hectares de cafeicultura irrigada, o que representa cerca de 10% da cafeicultura brasileira. As lavouras cafeeiras irrigadas estão concentradas, principalmente, nos Estados do Espírito Santo (60 a 65%), Minas Gerais (20 a 25%), Bahia (10 a 15%) e, em menores áreas, em Goiás, Mato Grosso, Rondônia e São Paulo (EMBRAPA, 1999; EMBRAPA, 2004).

Matiello et al. (2002) citaram que as regiões prioritárias para a utilização da irrigação na cafeicultura brasileira são:

- a) Alto Paranaíba, Triângulo Mineiro e Noroeste de Minas.
- b) Região cafeeira no Nordeste do País.
- c) Zona de café canéfora – na maior parte do Estado do Espírito Santo, extremo sul da Bahia e até em certas áreas de Rondônia e Mato Grosso.
- d) Áreas de café arábica da Zona da Mata de Minas Gerais, do Jequitinhonha, do Espírito Santo e do Rio de Janeiro situados nos limites mais baixos de altitude, nas faces continentais das serras (sombras de chuva).
- e) Áreas de altitude mais baixa no oeste e sul de Minas, na Mogiana e Araraquarense em São Paulo e também nos bolsões de seca.

Apesar da maior concentração de áreas irrigadas em regiões onde existem restrições hídricas importantes em períodos extensos do ano, é grande também a implantação de projetos de irrigação em áreas tradicionais de cafeicultura de sequeiro, onde os avanços da irrigação têm permitido

vantagens competitivas, traduzidas em maior produtividade da lavoura e melhor qualidade do produto final.

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 de demanda hídrica média ou baixa. Assim, em regiões com déficit hídrico em fases fenológicas importantes, que implicam perdas de produção e qualidade final do produto, a irrigação suplementar tem-se mostrado vantajosa.

Segundo Matiello (1991), a exigência de água é bastante variável, dependendo da fase do ciclo da cultura. Por exemplo, nos períodos de vegetação e frutificação, que normalmente vão de outubro a maio, o cafeeiro necessita de umidade, mais facilmente, disponível no solo, ao contrário da fase de colheita e repouso, quando a necessidade é pequena e o solo pode permanecer mais seco. Essa deficiência hídrica, nesse período, pode estimular uma floração mais uniforme do cafeeiro, entretanto esse déficit hídrico pode proporcionar prejuízos na produtividade, necessitando, assim, de maiores pesquisas, evidenciando as vantagens e desvantagens da adoção do déficit hídrico para a uniformização da floração do cafeeiro irrigado.

Resultados obtidos por Camargo et al. (1984 e 1986)¹, citados por Faria e Rezende (1997), indicam que, se ocorrer déficit hídrico na fase de expansão e floração (chumbinho), acarretará atraso no crescimento dos frutos, resultando em peneira baixa e reduzindo a produtividade. Se o déficit hídrico ocorrer na fase de granação (janeiro a março), afetará a granação dos frutos, induzindo a um maior porcentual de grãos chochos. Na fase de maturação e abotoamento (abril a junho), o déficit não afeta a maturação dos frutos já formados e nem a produtividade do ano, no entanto prejudica a abotoação e frutificação do ano seguinte. O déficit hídrico pode ser benéfico na fase de dormência (julho a setembro), uma vez que pode condicionar a um florescimento abundante após as chuvas ou irrigação, no final da fase, promovendo frutificação e maturação

¹ CAMARGO, A.P. de; DANTAS, F.A.S.; MATIELLO, J.B.; RIBEIRO, R.N. de C. Efeitos da época e quantidade de rega em café arábica nas condições climáticas de inverno úmido e verão seco, de Garanhuns (PE) - Parte III. In. 13º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. **Anais...** São Lourenço, MG, 1986. p. 47-50.

CAMARGO, A.P. de; GROHMANN, F.; DESSIMONI, E.; TEIXEIRA, A. .A. Efeito na produção do café de épocas de rega e supressão da chuva, por meio da cobertura transparente (Barçaça) In: 11º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. **Anais...** Londrina, PR, 1984. p. 62-64.

uniformes na safra seguinte. O início e duração de cada fase podem sofrer alteração em função das características de cada região.

O tamanho final do grão cereja depende acentuadamente da chuva que ocorre de 10 a 17 semanas 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; MAESTRI, 1987).

Os sistemas de produção de café mais tecnificados e com maior produtividade têm maior capacidade de resistir a eventuais crises de preço, quando comparados com aqueles padrões mais tradicionais com baixa utilização de insumos (BESSA JUNIOR; MARTIN, 1992). A irrigação é uma das técnicas empregadas para obter esse incremento de produtividade, já que vários autores verificaram incremento na produção do cafeeiro com a irrigação.

Soares (2001), trabalhando em Viçosa, MG, com cafeeiros da variedade catuaí de 8 anos de idade, no espaçamento de 3,0 x 1,0 m, com diferentes níveis de aplicação de água e fertilizantes, obteve um acréscimo de 65% na produtividade média, das safras 2000 e 2001, quando comparados com os tratamentos irrigados com o não-irrigado.

Fernandes et al. (2000), objetivando estudar o desenvolvimento vegetativo e produtivo de uma lavoura de café, nos anos de 1995 a 1997, nas condições de irrigação em Planaltina de Goiás, GO, observaram que sob irrigação total a cultura apresentou maior produtividade, com acréscimo de até 100%, em comparação com o tratamento sem irrigação.

Matiello et al. (2004), objetivando avaliar, nas condições de Varginha, MG, a resposta do cafeeiro à irrigação suplementar por aspersão convencional, durante o período de maio a setembro, observaram acréscimos na ordem de 28 a 54% na produtividade de quatro safras.

Silva et al. (2002) apresentaram resultados de três safras, numa pesquisa em que um dos objetivos foi avaliar os efeitos de diferentes lâminas de irrigação na produtividade do cafeeiro na região sul de Minas. A irrigação proporcionou aumentos significativos sobre a produtividade de até 74,6%.

2.3. Cafeicultura irrigada do oeste da Bahia

Dentre as diversas regiões produtoras, citadas anteriormente, a região oeste da Bahia, que é a região de interesse deste trabalho, destaca-se pela implantação de um parque cafeeiro, totalmente irrigado (aproximadamente 14.000 ha), moderno e de alta produtividade. Com uma existência atual de 58 cafeicultores, a região é caracterizada por áreas produtivas de grande porte (aproximadamente 240 ha), quando comparada com a média nacional (AIBA, 2005).

A cafeicultura iniciou-se na região no ano de 1987, com a implantação de apenas 20 ha, mas foi a partir de 1994-1995 que a cafeicultura expandiu rapidamente na região, com um incremento de área de aproximadamente 1.100 ha ano⁻¹ (AIBA, 2005).

A região oeste da Bahia, por se tratar de uma nova fronteira cafeeira, ainda carece de maiores pesquisas, principalmente no que tange à irrigação. Os resultados das primeiras pesquisas, sobre manejo da cultura em condições irrigadas, na região, foram publicados no XXV Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras no ano de 1999 (AIBA, 2004), o que comprova a necessidade de maiores estudos.

Destacava-se na região o uso da irrigação por gotejamento e por pivôs centrais de aplicação localizada. Aproximadamente 700 ha são irrigados por gotejamento e o restante (aproximadamente 13.300 ha), por pivô central (AIBA, 2005). Entretanto, não existe levantamento da área irrigada por pivô central de aplicação localizada.

2.4. Irrigação por pivô central

O sistema de irrigação por pivô central é um método de irrigação por aspersão. Ele opera sob pressão e lança o jato d'água no ar, o qual é fracionado em gotas, caindo sob o terreno em forma de chuva (BERNARDO et al., 2005).

É um sistema autopropelido de movimentação circular e consiste numa linha de emissores (aspersores, difusores etc.), montados sobre tubulações de distribuição (normalmente aço zincado) suspensas sobre as torres, onde estão

instalados os mecanismos de locomoção. No centro do pivô está instalada a torre central, onde o pivô é ancorado e onde é realizada a tomada de água pelo pivô.

O sistema de irrigação por pivô central foi desenvolvido no Colorado, EUA, em 1952. Entretanto, foi a partir de 1961 que o uso do pivô central começou a aumentar. Na década de 1990, seu uso já estava difundido na maioria dos países, existindo mais de quatro milhões de hectares irrigados por esse sistema (BERNARDO et al., 2005). Estimativas indicam que no Brasil a área irrigada por pivô central corresponde a aproximadamente 23% (cerca de 713.649 ha) da área total irrigada (CHRISTOFIDIS, 2002).

Segundo Keller e Bliesner (1990), o pivô central está entre os equipamentos de irrigação mais utilizados na agricultura. Cerca da metade das áreas irrigadas por aspersão nos Estados Unidos é irrigada por esse sistema.

No Brasil, o sistema de irrigação por pivô central tem permitido a expansão da cafeicultura irrigada em grandes áreas (MANTOVANI et al., 2003). Segundo esses autores, em áreas uniformes e planas o plantio circular tem sido uma opção que permite a utilização de pivôs que aplicam a água localizada sobre a fileira de plantas, contribuindo para a maior eficiência na utilização da água e da quimigação. Os pivôs convencionais geralmente são equipados com aspersores ou difusores, que proporcionam o molhamento de toda a área circular abrangida.

No plantio circular, utiliza-se, principalmente, o pivô central equipado com emissores Low Energy Precision Application (LEPA), também denominado apenas como LEPA. Foi desenvolvido por Lyle e Bordovsky (1981), para a melhora da eficiência de aplicação de água na irrigação, através da redução das perdas provocadas pela evaporação e pelo arraste por ventos nos sistemas de irrigação por aspersão. Segundo Yazar et al. (2002), o primeiro propósito do LEPA é a aplicação eficiente de água nas culturas, com um uso eficiente de energia.

Os pivôs centrais equipados com emissores do tipo LEPA realizam a aplicação de água com elevada eficiência, trabalhando com uma pressão de serviço baixa (NEW; FIPPS, 1990), conseqüentemente promovendo maior economia de água e energia, em comparação com pivôs centrais equipados com aspersores e difusores.

Avaliações de campo apontaram que 95 a 98% da água de irrigação bombeada atinge a cultura, em pivôs centrais equipados com emissores LEPA (NEW e FIPPS, 1990).

Vários autores afirmaram que a eficiência de aplicação de água em sistemas de pivô central, equipado com emissores LEPA, geralmente excede os 95% nos Estados Unidos (FIPPS; NEW, 1990; LYLE; BORDOVSKY, 1983; SCHNEIDER; HOWELL, 1995).

Na Figura 1, observam-se dois pivôs equipados com emissores LEPA. Na Figura 1a, pode-se notar a existência de apenas um emissor por fileira de plantas; já na Figura 1b verificam-se dois emissores por fileira de plantas. O número de emissores por fileira de plantas varia conforme a vazão necessária.

O pivô equipado com emissores LEPA possui o custo de aquisição mais elevado em relação ao pivô convencional, exigindo cuidados com a erosão provocada pelo escoamento superficial, principalmente nos primeiros meses de cultivo.



Figura 1 – Pivôs centrais equipados com emissores LEPA.

O emissor LEPA, disponível no mercado brasileiro, fabricado pela empresa norte-americana SENNINGER, possui quatro opções de molhamento: “Buble”, “Aerated Buble”, “Chemigate” e “Spray”. Entretanto, Santinato e Fernandes (2002) afirmaram que, para a irrigação do cafeeiro, apenas duas

opções de molhamento são mais utilizadas, o “Buble” e “Spray”. Parte do acréscimo no custo de aquisição do pivô LEPA vem desses emissores, com quatro opções de molhamento.

Santinato e Fernandes (2002) relataram que ocorreram adaptações caseiras nos difusores convencionais, transformando pivôs convencionais em pivôs que aplicam a água de forma localizada, porém com “performances” hidráulicas bem inferiores às dos emissores LEPA, que foram construídos especialmente para esse fim. Esses pivôs receberam diversas denominações, como “Lepa caipira”, “gambi-Lepa” e “pet-Lepa”. Entretanto, neste trabalho todos os pivôs centrais com emissores adaptados serão denominados como pivôs centrais equipados com emissores alternativos ou somente pivôs centrais alternativos.

Na Figura 2, observam-se quatro tipos de pivô central alternativos. Na Figura 2a, nota-se o uso de uma bacia ou balde cobrindo um difusor, transformando-o em um emissor de aplicação localizada. Na Figura 2b, verifica-se o uso de dois difusores horizontalmente com uma cobertura plástica artesanal na parte superior.

Na Figura 2c, observa-se um emissor fabricado com um tubo de PVC perfurado, recoberto por uma garrafa plástica “pet”. Já na Figura 2d a vazão do emissor é controlada por um bocal de um difusor, e em seguida a água é injetada dentro de um tubo de PVC perfurado, em forma de ferradura.

2.5. Irrigação por gotejamento

Na irrigação por gotejamento, a água é aplicada diretamente sobre o solo, umedecendo um volume restrito do sistema radicular da cultura. As irrigações são realizadas em pequenas intensidades, entretanto com um turno de rega bem reduzido, de modo que a umidade do solo, na zona radicular, fique sempre próxima à capacidade de campo. Como a água é aplicada apenas em uma porção da superfície do solo, ocorre a redução na evaporação da água da superfície.

Na irrigação por gotejamento, a água é aplicada por meio de emissores especiais, denominados gotejadores, conectados a tubos flexíveis de polietileno, operando a uma pressão que varia de 50 a 250 kPa (BERNARDO et al., 2005), com taxa de aplicação de água que não ultrapasse 16 L h⁻¹ por gotejador, ou por metro linear de linha de gotejadores (LÓPEZ et al., 1992).

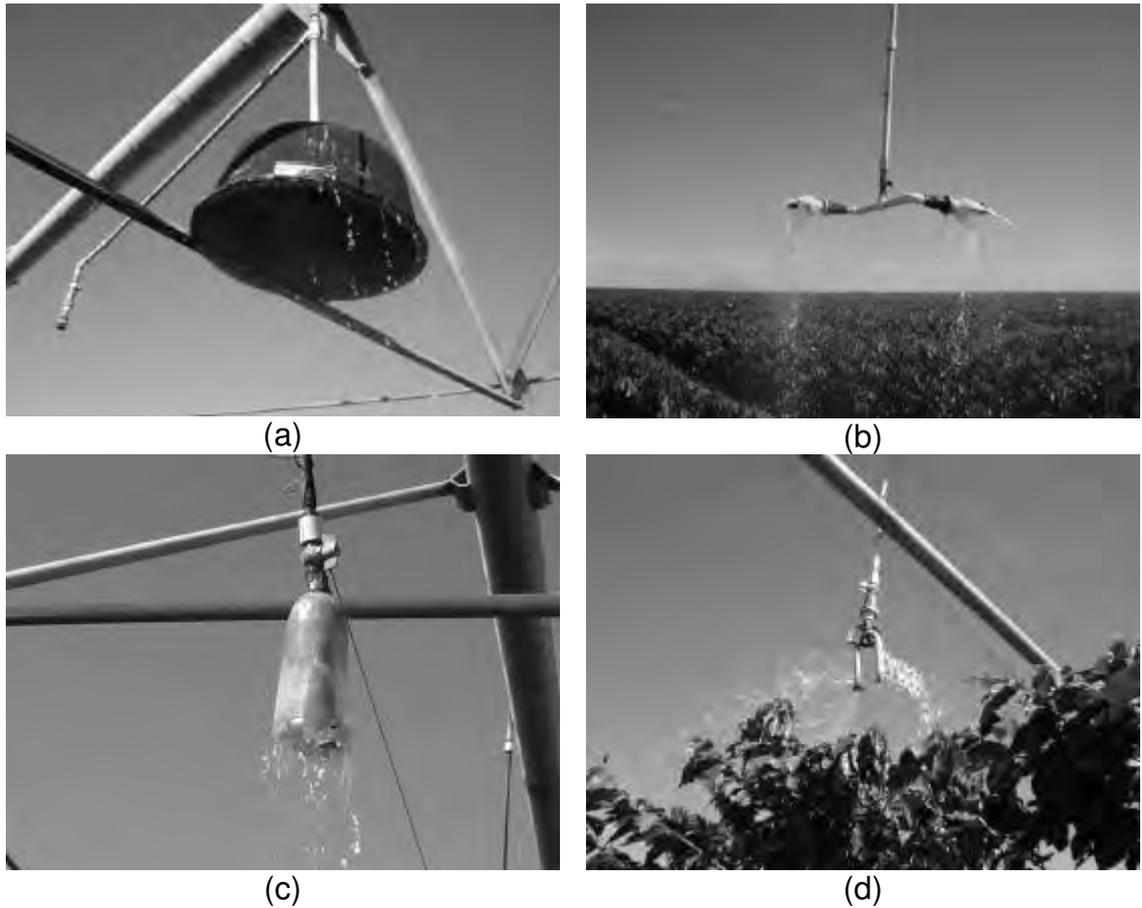


Figura 2 – Pivôs centrais equipados com emissores alternativos.

A irrigação por gotejamento tem se destacado, dentre os demais sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura, devido à sua alta uniformidade de aplicação de água, podendo alcançar alta eficiência de aplicação, o que proporciona, de um ano para o outro, alta produtividade e baixa possibilidade de contaminação do aquífero, quando se aplicam produtos químicos via água de irrigação (CAMP, 1997).

Segundo Mantovani et al. (2003), a irrigação por gotejamento apresenta estreita relação de aplicabilidade com a cultura do café, motivo pelo qual tem ampla expansão. Segundo esses mesmos autores, trata-se do sistema que melhor se ajusta à irrigação do cafeeiro, em que normalmente é utilizado, distribuindo-se a tubulação de polietileno ao lado da linha de plantio sobre a superfície do solo.

Embora o sistema de irrigação por gotejamento apresente como uma das principais vantagens a excelente uniformidade de aplicação de água, o entupimento dos emissores é o maior problema enfrentado por esse sistema, o que provoca variação de vazão dentro do sistema, pois, mesmo uma pequena porcentagem de emissores entupidos, pode resultar em grande redução na uniformidade de aplicação de água e, como consequência, em danos às plantas (NAKAYAMA; BUCKS, 1981).

2.6. Uniformidade de aplicação de água

A avaliação da irrigação é uma análise feita em um sistema baseado em medidas tomadas no campo, sob as condições e práticas normalmente utilizadas. É necessária uma série de determinações que, em sistemas pressurizados, inclui umidade do solo antes da irrigação, medidas de vazões, uniformidade de aplicação e tempo de irrigação, entre outras (MERRIAN; KELLER, 1978).

A determinação da uniformidade de aplicação de água é um dos principais parâmetros para se avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão (BERNARDO et al., 2005). Soares et al. (1993) afirmaram que a produtividade das culturas e os gastos com energia são influenciados, diretamente, pela uniformidade de aplicação de água.

A uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação pressurizados pode ser expressa por meio dos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) e de Uniformidade de Distribuição (CUD), entre outros.

Christiansen (1942) propôs uma forma de avaliação da uniformidade de distribuição da água em um sistema de aspersão, empregando uma equação que avalia a uniformidade de aplicação (equação 1), com base na média dos desvios absolutos em relação à média dos valores obtidos de precipitação.

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - \bar{L}|}{n\bar{L}} \right] \quad \text{eq.1}$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

L_i = lâmina coletada nos pluviômetros de ordem i , em mm;

\bar{L} = lâmina média coletada, em mm; e

n = número de observações.

Na equação proposta por Christiansen está intrínseco que cada coletor representa áreas de mesmo tamanho, já que foi desenvolvido para sistemas de aspersão convencional. Entretanto, isso não ocorre em sistema do tipo pivô central, em que os coletores são eqüidistantemente espaçados ao longo de um ou mais raios do pivô, onde cada coletor representa uma área maior, partindo-se do ponto central do pivô para a extremidade. Dessa forma, Heermann e Hein (1968) redefiniram o coeficiente de uniformidade de Christiansen para sistemas do tipo pivô central, ponderando as lâminas coletadas em relação à área representada pelo coletor, segundo a equação 2. Esse coeficiente é recomendado pela norma ASAE S436.1 (2000), para avaliação da uniformidade de distribuição da água aplicada pelos sistemas de irrigação por pivô central, nos EUA.

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| L_i - \frac{\sum_{i=1}^n L_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n L_i S_i} \right] \quad \text{eq.2}$$

em que:

S_i = distância do centro do pivô ao ponto i , m.

Segundo Bernardo et al. (2005), para o sistema pivô central é recomendado um CUC superior ou igual a 90% nas culturas com alto valor comercial, ou sistema radicular raso; um CUC entre 85 e 90% nas culturas com

sistema radicular médio; e um CUC de 80 a 85% naquelas com sistema radicular profundo.

Na irrigação por gotejamento, não se tem precipitação de água, mas sim pontos de emissão desta. A melhor forma de expressar o CUC é através da substituição dos valores de lâmina para vazão dos gotejadores (PIZARRO CABELLO, 1990), conforme a equação 3.

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n_e \bar{q}} \right] \quad \text{eq.3}$$

em que:

q_i = vazão de cada emissor, $L h^{-1}$;

\bar{q} = vazão média dos emissores, $L h^{-1}$; e

n_e = número de emissores avaliados.

Outro coeficiente utilizado para medir a uniformidade de distribuição de água de irrigação é o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), expresso pela equação 4.

$$CUD = 100 \frac{L_{25\%}}{L} \quad \text{eq.4}$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %; e

$L_{25\%}$ = lâmina média de 1/4 do total de pluviômetros com as menores lâminas, mm.

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1985), o CUD é uma medida de distribuição da água que relaciona a lâmina aplicada na quarta parte da área total que recebe menos água, com a lâmina média aplicada na área total.

Do mesmo modo que o CUC, o coeficiente de uniformidade de distribuição também foi ajustado (HEERMANN; HEIN, 1968) para os sistemas de irrigação do tipo pivô central, sendo expresso pela equação 5:

$$\text{CUD} = 100 \left[\frac{\sum_{i=p}^q LiSi}{\sum_{i=p}^q Si} \right] \left[\frac{\sum_{i=1}^n LiSi}{\sum_{i=1}^n Si} \right] \quad \text{eq.5}$$

em que:

p = primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas; e

q = elemento da série de lâminas crescente correspondente à soma de ¼ da área total.

Na determinação do CUD para sistemas de irrigação por gotejamento, também se faz necessária a substituição dos valores de lâmina para vazão dos gotejadores. Keller e Karmeli (1975) sugeriram o uso da equação 6.

$$\text{CUD} = 100 \frac{q_{25\%}}{q} \quad \text{eq.6}$$

em que:

$q_{25\%}$ = vazão média de ¼ do total de gotejadores com as menores vazões, L h⁻¹.

Merriam e Keller (1978) propuseram uma classificação dos sistemas de irrigação localizada em função dos valores encontrados de CUD. Valores de CUD menores que 70% são considerados inaceitáveis; entre 70 e 80%, aceitáveis; de 80 a 90%, bons; e acima de 90%, excelentes para esses sistemas.

A uniformidade de distribuição tem impacto na eficiência da irrigação, a qual se caracteriza pela quantidade de água necessária ao desenvolvimento e rendimento de determinada cultura. Bernardo et al. (2005) afirmaram que a uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação.

2.7. Manejo da irrigação

Na região oeste da Bahia têm sido implantados sistemas de irrigação que utilizam as mais modernas tecnologias, visando à produtividade, operacionalidade e economia de água. Apesar do uso de sistemas com grande potencial de utilização eficiente da água (gotejamento e pivô central equipado com emissores LEPA), a falta de adoção de planos técnicos de manejo da irrigação, em nível de campo, pode comprometer todo o esforço de obtenção de altas produtividades com economia de água e energia.

Segundo Bernardo et al. (2005), qualquer planejamento e operação do sistema de irrigação que vise à máxima produção e à boa qualidade do produto, usando de maneira eficiente a água, requer conhecimento das inter-relações entre solo-água-planta-atmosfera e manejo da irrigação.

O manejo da irrigação é uma atividade complexa, já que, além dos aspectos relacionados diretamente com o clima, o solo e a planta, ele pode variar em função do sistema de irrigação e da mão-de-obra. Dessa forma, os conhecimentos das características, do funcionamento e das potencialidades de um sistema de irrigação têm forte influência sobre o processo de tomada de decisão no manejo da irrigação, da mesma forma que a disponibilidade e a qualificação da mão-de-obra são fatores importantes a serem considerados. Assim, o manejo da irrigação não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola. Deve ter, por um lado, o compromisso com a produtividade da cultura explorada e, por outro, o uso eficiente da água, promovendo a conservação do meio ambiente.

Existem diversos equipamentos, metodologias e modelos agrometeorológicos utilizados no manejo da irrigação, destacando-se aqueles que apresentam maior simplicidade e funcionalidade. Os métodos são

baseados praticamente em dois aspectos, determinação da umidade do solo e estimativa da evapotranspiração das culturas.

O tensiômetro tem sido muito utilizado para o manejo da irrigação. Ele mede a tensão de água no solo, sendo, portanto, um método indireto de determinação da porcentagem de umidade do solo. Entretanto, tem capacidade de leituras de até 75 kPa, o que limita seu uso a apenas, aproximadamente, 70 e 40% da água disponível em solos arenosos e argilosos, respectivamente (BERNARDO et al., 2005).

Como o tensiômetro fornece leituras da tensão ou do potencial matricial do solo, devem-se transformar essas medidas em umidade; logo, é necessário conhecer a relação entre a tensão ou potencial matricial e o teor de água de um solo, descrita pela curva de retenção de água no solo.

Existem diversos modelos matemáticos que podem ser ajustados aos dados de umidade e potencial para descrever a curva de retenção. Um dos mais utilizados é o modelo de van Genuchten (VAN GENUCHTEN, 1980), descrito na equação 7, que relaciona a umidade volumétrica (θ) ao valor absoluto do potencial matricial ($|\Psi|$).

$$\theta = \theta r + \frac{\theta s - \theta r}{[1 + (\alpha \cdot \Psi)^n]^m} \quad \text{eq. 7}$$

em que:

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

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

Ψ = tensão ou potencial matricial, cmca; e

α , m e n = parâmetros de ajuste da equação.

Outro equipamento muito utilizado no manejo da irrigação é o tanque classe "A". Entretanto, Allen et al. (1989), trabalhando com a evaporação medida no tanque classe "A", obtiveram resultados insatisfatórios, comparativamente aos dados obtidos de lisímetro de precisão e outros métodos, em várias localidades do mundo. Os pesquisadores classificaram esse método como inadequado, ao compará-lo com os principais existentes.

Da mesma forma, Simão et al. (2003), comparando a ETo obtida pelo tanque classe “A” com a calculada pela equação de Penman-Monteith nas condições da região norte de Minas Gerais, concluíram que o tanque não deve ser utilizado para controle de irrigações com turno de rega diário, devido ao grande erro-padrão de estimativa encontrado nessa situação (2,54 mm d⁻¹). Marouelli et al. (1996) afirmaram que, para se obter maior precisão, o tanque classe “A” tem que ser empregado em períodos de pelo menos cinco dias. Devido aos problemas levantados, torna-se difícil a adoção desse equipamento em culturas e regiões onde o processo de tomada de decisão sobre o manejo da irrigação é diário.

Existem outros equipamentos para determinação da umidade do solo, destacando-se as sondas “Time Domain Reflectometry” (TDR) e a Sonda de Nêutrons. A técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) vem despertando bastante interesse, pois apresenta características desejáveis. É uma técnica não destrutiva, não utiliza radiação ionizante, possui alta exatidão nas medições, é portátil e as medições podem ser feitas de forma automática, em condições de laboratório ou de campo, em qualquer direção no perfil do solo e no tempo real (GOMIDE, 1998). Entretanto, apresenta, além do custo elevado, a necessidade de calibração, e o seu desempenho no campo também carece ser mais bem estudado (CHICOTA, 2003). A sonda de nêutrons também é um instrumento utilizado para a determinação da umidade do solo. Segundo Torres e Gonzales (1993)², citados por Andrade et al. (2001), ela apresenta basicamente as mesmas vantagens das sondas TDR, porém também necessita de calibração e é de custo elevado, ficando, portanto, mais restrita a instituições de pesquisa.

Existem poucos trabalhos evidenciando as qualidades e benefícios alcançados com o manejo adequado da irrigação na cafeicultura irrigada, bem como estratégias de manejo e validação destas.

Scalco et al. (2004), trabalhando em Lavras, MG, com cinco critérios para o estabelecimento do início das irrigações, sendo quatro critérios baseados na tensão de água no solo (20, 60, 100 e 140 kPa) e um

² TORRES, P.S.; GONZALES, R. Determination of the humidity in representative soils of the western savannas using neutrons probes. In: Congreso Venezolano Sobre la Ciencia del Suelo, 1993, Caracas, Venezuela. *Programa y resúmenes de trabajos*. 1993. p. 75-76.

fundamentado no balanço hídrico, utilizando o Sistema de Suporte à Decisão Agrícola (Sisda), em uma lavoura cafeeira de primeira produção, observaram as maiores produtividades nos tratamentos em que as irrigações eram recomendadas pelo Sisda e com tensão de água no solo correspondente a 20 kPa.

Outros trabalhos, realizados em diversas culturas, comprovam a eficiência do modelo computacional Sisda no manejo da irrigação. Stone et al. (2001), avaliando o modelo computacional Sisda para o manejo da irrigação na cultura do feijoeiro, encontraram correlação significativa e alta concordância entre os valores de umidade estimados obtidos com esse programa e os valores medidos no campo.

Soares et al. (2003), utilizando o programa Sisda, na região de Araçuaí, MG, para o manejo da irrigação na cultura do abacaxi e da banana, encontraram resultados indicando que o programa pode ser usado com segurança nas culturas da região.

Analisando, comparativamente, métodos tradicionais de manejo de irrigação e o Sisda para a região do norte de Minas, Boaretti (2001) concluiu que a utilização do programa Sisda poderia proporcionar redução nos custos médios e nos custos totais e aumento na lucratividade. Foi gerada uma economia de 9,8 a 49,4% para o fator água e 7,5 a 38,5% para o fator energia elétrica, contribuindo, portanto, para a racionalização dos recursos produtivos dos sistemas de irrigação, além de contribuir para a eficiência econômica do processo produtivo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização dos sistemas avaliados

Este trabalho foi realizado em três etapas: no mês de maio de 2003, em junho de 2004 e de outubro a novembro de 2004, em que foram avaliados 27 sistemas de irrigação, sendo sete por gotejamento e 20 por pivô central, instalados em 12 propriedades de cafeicultores, distribuídas em três municípios, na região oeste da Bahia. Dos 20 sistemas de irrigação por pivô central avaliados, 11 foram pivôs equipados com emissores LEPA, cinco com emissores alternativos e quatro pivôs centrais convencionais.

A escolha das propriedades e equipamentos a serem avaliados foi feita baseando-se em informações obtidas nas entidades que atuam na região: Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) e Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento do Oeste Baiano (FUNDAÇÃO BA), sempre seguindo critérios de representatividade quanto à área, à produção e aos sistemas de irrigação utilizados.

Na Tabela 1 são apresentados a área, o fabricante e a idade de cada sistema de irrigação por gotejamento avaliado. As avaliações foram feitas em propriedades localizadas no município de Barreiras. Observa-se, nessa tabela, que as idades dos sistemas variaram de 2,5 até 6 anos. Com exceção dos sistemas 6 e 7, todos os sistemas eram do tipo autocompensante.

Tabela 1 – Identificação, área irrigada, fabricante e idade dos sistemas de irrigação por gotejamento avaliados

Sistema	Área (ha)	Fabricante	Idade (Anos)
1	25	Rain Bird	2,5
2	10	Netafin	6
3	200	Naan	3,5
4	50	Naan	4
5	138	Netafin	4,5
6	25	Naan	3,5
7	36	Naan	5

São apresentados na Tabela 2 a localização, a área e o tipo de pivô central avaliado (LEPA, alternativo e convencional). Nessa tabela não foram informados o fabricante e nem a idade do equipamento avaliado, em razão de, na grande maioria das vezes, os equipamentos terem sofrido redimensionamento, reformas e adaptações, para adequação ao plantio circular do cafeeiro. Os tamanhos dos pivôs avaliados variaram de 62 a 141 ha.

3.2. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por gotejamento

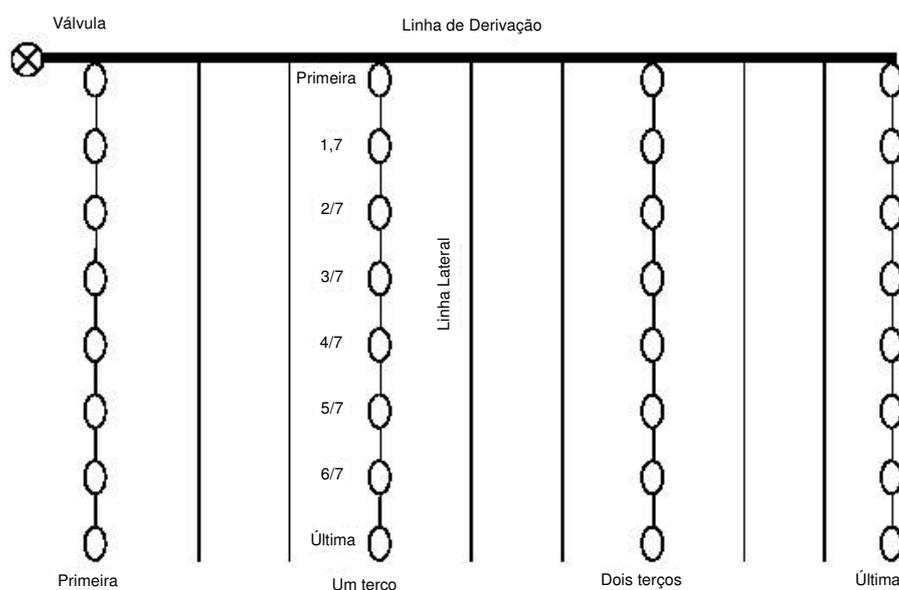
As avaliações de uniformidade de aplicação de água nos sistemas de irrigação por gotejamento foram realizadas segundo a metodologia proposta por Keller e Karmeli (1975) e modificada por Denículi et al. (1980), consistindo na coleta de vazão dos emissores em oito plantas de quatro linhas laterais, totalizando 32 pontos avaliados. As linhas laterais selecionadas foram aquelas situadas no início da linha de derivação, a 1/3 da origem da linha de derivação, a 2/3 da origem da linha de derivação e no final desta.

As oito plantas selecionadas em cada linha lateral foram as situadas no início, a 1/7, 2/7, 3/7, 4/7, 5/7 e 6/7 do comprimento da linha lateral, e a situada no final desta. Foi coletado o volume de água do gotejador localizado imediatamente após o caule da planta selecionada, em um intervalo de tempo conhecido, para a determinação da vazão. Na Figura 3, apresenta-se um esquema ilustrativo dos pontos de coleta do volume de água para determinação da vazão.

Tabela 2 – Identificação, localização, área irrigada e tipo dos sistemas de irrigação por pivô central avaliados

Sistema	Localização	Área (ha)	Tipo de Pivô Central
8	Barreiras	62	Convencional
9	LEM	105	Convencional
10	LEM	141	Convencional
11	Barreiras	123	Convencional
12	Barreiras	74	LEPA
13	Barreiras	94	LEPA
14	Barreiras	113	LEPA
15	Barreiras	84	LEPA
16	Barreiras	94	LEPA
17	Barreiras	84	LEPA
18	Barreiras	104	LEPA
19	Barreiras	104	LEPA
20	Barreiras	84	LEPA
21	Barreiras	94	LEPA
22	Barreiras	84	LEPA
23	São Desidério	103	Alternativo
24	LEM	115	Alternativo
25	LEM	121	Alternativo
26	LEM	105	Alternativo
27	LEM	97	Alternativo

* LEM – Luís Eduardo Magalhães.



Fonte: Souza (2000)

Figura 3 – Esquema dos pontos de coleta do volume de água para determinação da vazão.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foi determinado utilizando-se a equação 6, apresentada por Keller e Karmeli (1975), e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) foi determinado com o uso da equação 3, apresentada por Pizarro Cabello (1990).

3.3. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por pivô central convencional

Nas avaliações de uniformidade nos sistemas de pivô central equipados com difusores (aplicação de água em área total), em função da topografia plana e uniforme da região em estudo e visando à obtenção de uma repetição, foram utilizadas duas linhas de coletores, dispostas em paralelo e espaçadas entre si 1 m, representando um único raio, conforme descrito por Sousa (2001), montadas ao longo de um carregador no pivô (Figura 4).



Figura 4 – Distribuição das duas linhas paralelas de coletores, ao longo de um carregador.

Em cada uma das linhas, os coletores, dispostos ao longo dos pivôs, foram numerados em ordem crescente, a partir do centro, afastados entre si 5 m e apoiados em suportes de 40 cm de altura. Procuraram-se nivelar as

seções de captação dos pluviômetros, que mediam 50,30 cm². As leituras dos volumes coletados em cada pluviômetro foram feitas com o auxílio de uma proveta graduada, logo após a passagem do pivô sobre os coletores dispostos ao longo do raio do pivô.

Todas as avaliações de uniformidade nos pivôs centrais convencionais foram feitas com os pivôs na velocidade de 100%. A duração total das avaliações foi, em média, de três a quatro horas, embora o tempo gasto entre a passagem do pivô sobre os coletores e a coleta da lâmina nestes não ultrapassasse uma hora.

A velocidade de deslocamento da última torre do pivô foi obtida determinando o tempo de percurso de 10 m da última torre.

Para a determinação das perdas por evaporação de água nos pluviômetros, durante os testes foi colocado um pluviômetro com volume de 100 mL de água próximo à área dos testes.

Foi determinada a velocidade do vento por meio de um anemômetro digital no local. Foram realizadas três leituras, uma no início da avaliação, uma durante a avaliação e uma no final da avaliação. Posteriormente, foi calculada a velocidade média do vento em m s⁻¹.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foram determinados utilizando-se as equações 2 e 5, respectivamente, ambas apresentadas por Heermann e Hein (1968).

3.4. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por pivô central equipados com emissores lepa e “alternativos”

Nos sistemas de irrigação por pivô central, equipados com emissores tipo LEPA, as avaliações de uniformidade de distribuição foram realizadas seguindo a metodologia proposta por Teixeira (2003), em que, através de um dispositivo (Figura 5), era coletada a vazão dos emissores. Durante os testes, era fixado um volume no recipiente e marcado o tempo necessário para completar esse volume. Com os dados obtidos, calculava-se a vazão de cada emissor instalado ao longo da linha lateral. Foi efetuada a medição da vazão de 100% dos emissores ao longo do pivô.



Figura 5 – Detalhe da coleta de vazão dos emissores tipo Lepa.

Em alguns pivôs, o volume, para a medição das vazões dos emissores, era coletado diretamente com o recipiente, não necessitando do dispositivo de coleta de vazão, em virtude da altura do emissor em relação ao solo.

A velocidade de deslocamento da última torre do pivô foi determinada utilizando-se a mesma metodologia do pivô central convencional.

As avaliações foram feitas com os sistemas de pivô central em movimento. Na avaliação de pivô central equipado com emissores LEPA e “Alternativos” não é necessário que o pivô esteja com velocidade de 100%, já que se coleta a vazão na saída do emissor. A duração total das avaliações foi, em média, de duas a três horas.

Os emissores foram numerados em ordem crescente, a partir do centro do pivô.

De posse da vazão de cada emissor, velocidade do pivô, raio do pivô e espaçamento entre emissores, foram determinadas as lâminas aplicadas por emissor, conforme a equação 8.

$$L_i = \left[\frac{(q_i 3600 T)}{(2\pi S_i E)} \right] \quad \text{eq.8}$$

em que:

L_i = lâmina coletada no emissor, mm;

q_i = vazão coletada no emissor i , L s⁻¹;

T = tempo de rotação do pivô, h;

S_i = posição do emissor i em relação ao ponto do pivô, m; e

E = espaçamento entre emissores, m.

Os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e distribuição (CUD) foram determinados utilizando-se as equações 2 e 5, respectivamente, ambas apresentadas por Heermann e Hein (1968), com os valores de lâmina determinados pela equação 8.

3.5. Número de emissores a serem avaliados nos pivôs de aplicação localizada

Após as determinações dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), utilizando a vazão de 100% dos emissores para os pivôs de aplicação localizada, determinaram-se os mesmos coeficientes, empregando as vazões de 50, 33, 25 e 10% dos emissores, na tentativa de reduzir o número de medições de vazão dos bocais sem comprometer o valor dos coeficientes de uniformidade.

Na avaliação de 50% dos bocais, trabalhou-se com as vazões do primeiro, do terceiro, do quinto e assim por diante. Já, para 33% dos bocais, utilizaram-se as vazões do primeiro, do quarto, do sétimo e assim por diante. Na avaliação de 25% dos bocais, trabalhou-se com as vazões do primeiro, do quinto, do nono e assim por diante. Já, em 10% dos bocais, utilizaram-se as vazões do primeiro, décimo primeiro, vigésimo primeiro e assim por diante.

Para a realização das análises estatísticas, escolheram-se os cinco sistemas que apresentaram as maiores variações dos parâmetros analisados (CUC e CUD) entre as porcentagens de emissores avaliados (50, 33, 25 e 10%), quando comparados com os valores obtidos com 100% dos emissores.

Posteriormente, procedeu-se à análise de variância, utilizando o teste F, seguido do teste de média (Duncan) a 5% de probabilidade.

Utilizou-se o programa Avalia para a determinação dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e distribuição (CUD) de todos os sistemas de irrigação avaliados. O programa permite ao usuário avaliar sistemas de irrigação por aspersão dos tipos convencional, autopropelido ou pivô central, e sistemas de irrigação localizada dos tipos microaspersão, gotejamento ou tubos de polietileno flexível perfurados. Com base em dados de testes de campo, como lâmina aplicada, lâminas coletadas em malhas de coletores, vazão de emissores, vazão de sistema, pressão de serviço do sistema, umidade de capacidade de campo, umidade do solo antes da irrigação e disposição do sistema de irrigação no campo, entre outros, fazem-se a avaliação da uniformidade de aplicação de água pelos sistemas e a avaliação de desempenho da irrigação (BORGES JÚNIOR; MANTOVANI, 2001).

3.6. Avaliação do manejo da irrigação utilizando o programa Irriga-Gesai

O estudo foi conduzido na Fazenda Lagoa do Oeste, 11°52'48" S, 45°43'47" W, 780 m de altitude, município de Barreiras, BA, que possui aproximadamente 644 ha cultivados com café irrigado pelos sistemas de pivô central com emissores LEPA, pivô central convencional e gotejamento. O estudo foi conduzido no período de setembro a novembro de 2003.

O manejo da irrigação das parcelas foi conduzido utilizando-se o programa Irriga-Gesai (Sistema de Suporte para a Agricultura Irrigada). O programa, desenvolvido pelo Grupo de Estudos e Soluções para a Agricultura Irrigada do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (GESAI/DEA/UFV), é composto por quatro módulos (Manejo, Decisão, Simula e Avalia), voltados para os manejos da água e do sistema de irrigação.

Nesse trabalho de avaliação do manejo da irrigação, utilizaram-se apenas os módulos Manejo e Decisão que, através do cadastramento dos fatores que compõem o sistema solo-água-plantas-atmosfera, calculam-se a evapotranspiração e o balanço de água no solo, permitindo o controle do momento adequado para se irrigar e a lâmina ou o tempo necessário de irrigação, auxiliando o manejo da irrigação.

O programa Irriga-Gesai apresenta uma seqüência de trabalho simples e de fácil compreensão, sem perder o rigor científico. É um sistema de fácil

comunicação e interação com o usuário, tanto do ponto de vista do manuseio do programa quanto das informações e resultados gerados.

Na Tabela 3 são apresentadas as informações das parcelas manejadas. Observa-se, em função da mecanização, a adoção de espaçamentos maiores entre as linhas de plantio que os adotados em áreas de cultivo adensado ou áreas montanhosas. Todas as parcelas utilizadas são cultivadas com cafeeiros da variedade Catuaí IAC 144.

Tabela 3 - Área irrigada, sistema de irrigação utilizado, data e espaçamento de plantio nas parcelas empregadas para o manejo da irrigação

Parcela	Área (ha)	Sistema de Irrigação	Data de Plantio	Espaçamento de Plantio (m)
1	10	Gotejamento	01/04/1999	3,6 x 0,5
2	36	Gotejamento	01/02/2000	3,7 x 0,5
3	128	Gotejamento	01/11/2000	3,8 x 0,5
4	200	Gotejamento	01/10/2001	3,8 x 0,5
5	62	Pivô convencional	01/12/1998	3,6 x 0,5
6	104	Pivô LEPA	01/11/1999	3,7 x 0,5

As informações sobre o fabricante, vazão nominal, espaçamento entre gotejadores, lâmina média aplicada e o valor de CUC, de cada sistema de irrigação por gotejamento utilizados nas parcelas, são apresentadas na Tabela 4. Cada fileira de plantas possuía uma linha lateral.

Tabela 4 – Informações dos sistemas de irrigação por gotejamento instalados nas parcelas utilizadas para o manejo da irrigação

Parcelas	Fabricante	Vazão Nominal (L h ⁻¹)	Espaçamento entre Gotejadores (m)	Lâmina Aplicada (mm h ⁻¹)	CUC (%)
1	Netafim	2,3	0,5	1,28	90,0
2	Naan	1,8	0,5	0,97	80,0
3	Netafim	2,3	0,5	1,21	94,0
4	Naan	2,1	0,5	1,11	91,0

Na Tabela 5 são apresentadas as informações referentes aos pivôs centrais utilizados no trabalho. Todos os equipamentos da fazenda operam com o tempo máximo diário de 20 horas.

Tabela 5 – Informações dos sistemas de irrigação por pivô central instalados nas parcelas utilizadas no manejo da irrigação

Tipo	Parcelas	
	5	6
Velocidade de deslocamento (m h ⁻¹)	168,0	271,0
Raio da Última Torre (m)	427,0	560,0
Vão em Balanço (m)	17,0	15,75
Vazão (m ³ h ⁻¹)	195,5	327,6
Giro Completo (h)	16,0	13,0
Lâmina a 100% (mm)	5,0	4,0
CUC (%)	85,0	87,0

A umidade para diferentes tensões de água no solo e de densidade do solo, correspondente às parcelas em três profundidades (0,15; 0,35; e 0,55 m), é apresentada na Tabela 6. A umidade, correspondente ao ponto de murcha permanente, foi considerada a da tensão de 1.500 kPa em todas as parcelas.

Considerou-se a tensão de 6 kPa na estimativa da umidade correspondente à capacidade de campo na camada de 0,15 m em todas as parcelas, e 10 kPa nas outras camadas em todas as parcelas. A escolha desses valores baseou-se no acompanhamento de diversas leituras, nos tensiômetros instalados em períodos antecedentes ao experimento e durante este. Observou-se que, em períodos de chuvas freqüentes, os valores observados nas leituras dos tensiômetros sempre permaneciam próximos a 6 kPa na camada superficial e 10 kPa nas camadas mais profundas. Baseado nessas observações, determinaram-se os valores de tensão correspondentes à capacidade de campo.

Esses valores de tensão correspondentes à capacidade de campo estão coerentes com os valores recomendados por Reichardt (1988) para solos das regiões tropicais e úmidas.

Tabela 6 – Valores da curva de retenção de água no solo e densidade do solo (DS) em três profundidades (0,15; 0,35; e 0,55 m) das parcelas manejadas

Tensão (kPa)	Parcelas 1-5			Parcela 3		
	Profundidade (m)			Profundidade (m)		
	0,15	0,35	0,55	0,15	0,35	0,55
	Umidade Gravimétrica (g/g)			Umidade Gravimétrica (g/g)		
1	0,2815	0,2212	0,2789	0,2435	0,2458	0,3097
3	0,2250	0,2109	0,2689	0,2110	0,2269	0,2767
6	0,1763	0,1860	0,2055	0,1632	0,1732	0,2240
10	0,1412	0,1709	0,1746	0,1428	0,1517	0,1821
33	0,1105	0,1351	0,1328	0,1146	0,1191	0,1387
80	0,1012	0,1223	0,1194	0,1068	0,1104	0,1275
400	0,0933	0,1072	0,1073	0,0959	0,1010	0,1163
1000	0,0862	0,0999	0,1024	0,0894	0,0937	0,1081
1500	0,0812	0,0963	0,0956	0,0828	0,0869	0,1028
D.S (g/cm ³)	1,40	1,56	1,41	1,53	1,49	1,34
Tensão (kPa)	Parcela 4			Parcelas 6-2		
	Profundidade (m)			Profundidade (m)		
	0,15	0,35	0,55	0,15	0,35	0,55
	Umidade Gravimétrica (g/g)			Umidade Gravimétrica (g/g)		
1	0,2359	0,2746	0,3107	0,3022	0,3383	0,3156
3	0,2298	0,2626	0,2718	0,2714	0,3017	0,2979
6	0,2116	0,2165	0,2152	0,2146	0,2360	0,2406
10	0,1924	0,1954	0,1903	0,1865	0,2093	0,2145
33	0,1602	0,1549	0,1559	0,1541	0,1739	0,1783
80	0,1505	0,1426	0,1435	0,1442	0,1625	0,1685
400	0,1352	0,1292	0,1314	0,1328	0,1499	0,1534
1000	0,1186	0,1169	0,1219	0,1232	0,1361	0,1406
1500	0,1115	0,1105	0,1159	0,1151	0,1306	0,1342
D.S (g/cm ³)	1,54	1,42	1,32	1,32	1,27	1,33

As curvas de retenção foram obtidas em quatro das seis parcelas manejadas. Nas parcelas 5 e 2, trabalhou-se com informações das parcelas vizinhas, 1 e 6, respectivamente, que apresentaram características de solo bastante semelhantes. As amostragens para a determinação das curvas de retenção, nas parcelas 1 e 6, foram realizadas próximas às parcelas 5 e 2, respectivamente, buscando-se maior representatividade das amostras.

Foram feitas amostragens indeformadas, utilizando-se um trado Uhland, nas três profundidades (0,15; 0,35; e 0,55 m), e determinaram-se as curvas de

retenção no Laboratório de Física do Solo, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Embrapa Cerrado).

O programa Irriga-Gesai era alimentado diariamente com dados climáticos coletados em uma estação meteorológica automática, marca Metos e modelo μ Metos, localizada na propriedade. A estação era composta de sensores de temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar, horas de sol e precipitação. Na Tabela 7 são descritas as especificações técnicas desses sensores (FACCIOLI, 1998). Os dados foram medidos a cada 12 minutos, registrados em médias horárias e, posteriormente, em médias diárias.

Tabela 7 – Especificação técnica dos sensores da estação meteorológica automática “ μ Metos”

Sensores	Alcance	Resolução	Precisão
Temperatura do ar	-30 a +60 °C	0,1 °C	+/-0,4 °C
Umidade relativa	0 a 98%	1%	+/- 2%
Radiação global	0 a 2000 W m ⁻²	1 W/m ⁻²	+/-10%
Velocidade do vento	0 a 25 m s ⁻¹	0,1 m s ⁻¹	+/- 2%
Pluviômetro	0 a 120 mm h ⁻¹	0,2 mm	+/- 4%

O programa Irriga-Gesai determinou a demanda hídrica do cafeeiro, utilizando-se coeficientes de ajuste sobre a evapotranspiração de referência (ET_o), realizando o balanço hídrico diário. O programa definiu a lâmina bruta de irrigação por meio de um balanço hídrico, em que as entradas de água eram através da irrigação e precipitação efetivas e as saídas, a evapotranspiração da cultura e percolação, além da profundidade considerada para o sistema radicular. Utilizou-se a equação 9, proposta por Mantovani e Costa (1998), para se estimar a evapotranspiração da cultura.

$$ET_c = ET_o.K_c.K_s.K_l \quad \text{eq.9}$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm d^{-1} ;

ET_o = evapotranspiração de referência, em mm d^{-1} ;

K_c = coeficiente de cultura, adimensional;

K_s = coeficiente de estresse hídrico, adimensional; e

K_l = coeficiente de localização, adimensional.

O método de estimativa da ET_o utilizado pelo Irriga-Gesai, de acordo com as variáveis meteorológicas disponíveis, foi o de FAO – Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

Na Tabela 8 são apresentados os valores de K_c , porcentagem de área sombreada e profundidade do sistema radicular. Em razão de não possuir parcelas com cafeeiros com idade inferior a um ano, não foram apresentadas as informações referentes a essa idade. Os valores foram obtidos de Mantovani et al. (2003), com exceção dos valores de área sombreada, que foram determinados no campo.

Tabela 8 – Valores de K_c , porcentagem de área sombreada e profundidade do sistema radicular utilizados para o manejo da irrigação

Fase	K_c	Porcentagem de Área Sombreada (%)	Profundidade do Sistema Radicular (m)
Ano 2	0,60	30	0,30
Ano 3	0,80	45	0,50
Adulto	1,00	50	0,60

O valor do coeficiente de estresse (K_s) foi calculado utilizando-se o modelo logarítmico proposto por Bernardo et al. (2005), empregando a equação 10.

$$K_s = \frac{\ln(LAA + 1)}{\ln(CTA + 1)} \quad \text{eq. 10}$$

em que:

K_s = coeficiente de estresse;

LAA = lâmina atual de água no solo, em mm; e

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

O valor do coeficiente de localização de irrigação (Kl) foi calculado em função da porcentagem de área molhada ou sombreada, utilizando-se o modelo proposto por Fereres (1981), descrito pelo seguinte sistema de equações:

$$\text{Se } P \geq 65\% \rightarrow Kl = 1,0 \quad \text{eq.11}$$

$$\text{Se } 20\% < P < 65\% \rightarrow Kl = 1,09P + 0,30 \quad \text{eq.12}$$

$$\text{Se } P \leq 20\% \rightarrow Kl = 1,94P + 0,1 \quad \text{eq.13}$$

em que P é a fração da área molhada ou sombreada (maior valor).

No cálculo da lâmina bruta, consideraram-se as necessidades da irrigação em função do balanço hídrico no solo e a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada do sistema.

O valor da eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (E_{pa}) utilizado na estimativa da lâmina bruta em condição de manejo que possibilite atingir 80% de área adequadamente irrigada foi estimado a partir dos valores da eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada de projeto (ED_{pa}), eficiência potencial de aplicação (Ep) e eficiência de condução (Ec), obtidos pelas metodologias apresentadas por Keller e Bliesner (1990), conforme equação 14:

$$E_{pa} = ED_{pa} Ep Ec \quad \text{eq. 14}$$

em que:

E_{pa} = eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto;

ED_{pa} = eficiência de distribuição para uma área adequadamente irrigada, decimal;

Ep = eficiência potencial de aplicação, decimal; e

Ec = eficiência de condução, decimal.

A eficiência potencial de aplicação de água (Ep) representa a razão entre a lâmina aplicada e a lâmina coletada, indicando as perdas por evaporação direta e arraste pelo vento (KELLER; BLIESNER, 1990). A determinação da eficiência potencial de aplicação proposta por esses autores pode ser expressa pela equação 15.

$$Ep = 0,976 + 0,005 ETo - 0,00017 ETo^2 + 0,0012 Vv - CI (0,00043 ETo + 0,00018 Vv + 0,000016 ETo Vv) \quad \text{eq. 15}$$

em que:

ETo = evapotranspiração de referência, mm d^{-1} ;

Vv = velocidade do vento, km h^{-1} ; e

CI = coeficiente adimensional que caracteriza o potencial de evaporação e arraste.

Os valores de CI variaram conforme o tipo de equipamento, diâmetro de bocal e pressão de serviço.

A eficiência de distribuição de água para área adequadamente irrigada de projeto (ED_{pa}) foi calculada, conforme a equação 16, considerando-se a aplicação de uma lâmina de irrigação que atinja 80% de área adequadamente irrigada. Adotou-se um índice de 80% para área adequadamente irrigada, por se tratar de uma cultura de valor de mercado intermediário e sistema radicular profundo.

$$ED_{pa} = 100 + (606 - 24,9Pa_d + 0,349Pa^2 - 0,00186Pa^3) (1 - CUC/100) \quad \text{eq. 16}$$

em que:

ED_{pa} = eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada, %;

Pa = porcentagem de área adequadamente irrigada, %; e
CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %.

Considerou-se a eficiência de condução (E_c) com valor igual a 1, em função de todos os sistemas de irrigação das parcelas manejadas estarem em perfeito funcionamento e não possuírem vazamentos ou problemas que justificassem outro valor.

Com o intuito de comparar os valores de umidade de solo estimados pelo programa Irriga-Gesai com os valores observados no campo, foram instalados pontos de aferição de tensão de retenção de água no solo, ou seja, baterias de tensiômetros em cada uma das parcelas, onde foi realizado o manejo da irrigação.

Cada bateria foi composta de três tensiômetros, sendo um para cada profundidade (0,15; 0,30; e 0,50 m). Trabalhou-se com apenas uma bateria de tensiômetros por parcela, facilitando, assim, as leituras diárias, escorvas e manutenções necessárias.

Nas parcelas irrigadas por gotejamento, os tensiômetros foram instalados em pontos intermediários, ao longo da faixa molhada, a aproximadamente 0,15 m da linha de tubogotejadores e do caule do cafeeiro e debaixo da saia do cafeeiro, garantindo, assim, a aferição indireta da umidade do solo, de forma mais representativa. Nas parcelas irrigadas por pivô central, os tensiômetros também foram instalados a aproximadamente 0,15 m do caule do cafeeiro, debaixo da saia do cafeeiro. Na instalação dos tensiômetros, procurou-se garantir o contato da cápsula com o solo.

A umidade do solo para cada profundidade foi, dessa forma, estimada no momento da leitura, utilizando-se as curvas de retenção de água no solo. O modelo empregado foi o proposto por van Genuchten (1980), apresentado na equação 7. Os parâmetros usados para a estimativa da umidade volumétrica no modelo de van Genuchten são mostrados na Tabela 9. Em seguida, os valores de umidade volumétrica foram transformados em umidade gravimétrica, já que o programa Irriga-Gesai trabalha com esse parâmetro de umidade. As leituras dos tensiômetros foram feitas antes das irrigações.

Tabela 9 – Parâmetros da equação de van Genuchten para as diferentes profundidades e parcelas

Curvas (Parcela)	Profundidade (m)	α	n	m	θ_r (cm ³ /cm ³)	θ_s (cm ³ /cm ³)
1-5	0,15	0,3908	1,8900	0,4709	0,1220	0,4130
	0,35	0,2485	1,5221	0,3430	0,1442	0,3579
	0,55	0,2169	2,0171	0,5042	0,1457	0,4040
3	0,15	0,3818	1,7677	0,4343	0,1354	0,3902
	0,35	0,3009	1,8464	0,4584	0,1395	0,3839
	0,55	0,2903	1,8649	0,4638	0,1444	0,4324
4	0,15	0,1890	1,4198	0,2957	0,1617	0,3658
	0,35	0,2343	1,6795	0,4046	0,1631	0,3963
	0,55	0,4631	1,6658	0,3997	0,1583	0,4438
6-2	0,15	0,3081	1,8482	0,4589	0,1644	0,4110
	0,35	0,3582	1,7739	0,4363	0,1757	0,4484
	0,55	0,2776	1,7436	0,4265	0,1875	0,4295

θ_s = umidade de saturação, cm³/cm³; θ_r = umidade residual, cm³/cm³; Ψ = tensão ou potencial matricial, cmca; e α , m e n = parâmetros de ajuste da equação.

Determinou-se a variação da umidade do solo medida (tensiômetro) em relação à estimada pelo programa Irriga-Gesai, através da equação 17:

$$V = [1 - (U_T/U_I)] \times 100 \quad \text{eq. 17}$$

em que:

V = variação, %;

U_T = umidade do solo estimada pelos tensiômetros, %; e

U_I = umidade do solo estimada pelo programa Irriga-Gesai, %.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação localizada por gotejamento

Os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) para os sistemas de irrigação localizada por gotejamento são apresentados na Tabela 10.

Observa-se na Tabela 10 que, dos sete sistemas de irrigação localizada por gotejamento avaliados, três deles (2, 5 e 6), ou seja, 43%, apresentaram valores do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) acima de 90%, considerados excelentes para esse tipo de equipamento, segundo Merriam e Keller (1978).

Dois sistemas (1 e 3) apresentaram valores considerados bons (80-90%), e o sistema 4 exibiu valor de CUD considerado aceitável (70-80%) para sistemas de gotejamento, segundo os referidos autores. Estes afirmaram ainda que valores de CUD abaixo de 70% são considerados ruins e inaceitáveis, faixa de CUD onde se enquadra o sistema 7, ou seja, 14% dos sistemas de gotejamento avaliados.

Os resultados encontrados são inferiores aos de Souza (2000), que avaliou 31 sistemas de irrigação por gotejamento, sendo 15 no Cerrado de Minas Gerais e 16 no norte do Espírito Santo. Verificou-se, entre os valores de CUD determinados, que apenas um sistema, aproximadamente 3% dos

Tabela 10 – Valores de CUC e CUD e vazões dos emissores, encontrados nas avaliações realizadas em sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na cafeicultura do oeste da Bahia

Sistema	Setor	CUC (%)	CUD (%)	Vazão (L h ⁻¹)	
				Nominal	Coletada
1	1	93,97	90,14	2,20	2,74
	2	93,39	88,88	2,20	2,60
	3	92,52	87,37	2,20	2,25
	5	85,09	72,36	2,20	2,33
	6	88,51	77,71	2,20	1,87
	Média	90,70	83,29	2,20	2,36
2	-	93,93	90,71	2,30	2,32
3	2	87,54	80,22	2,30	2,08
	3	92,07	85,91	2,30	2,30
	5	94,68	90,94	2,30	2,28
	8	91,89	87,67	2,30	2,05
	Média	91,55	86,19	2,30	2,18
4	-	88,26	78,07	1,80	1,73
5	1	93,75	90,84	2,30	2,45
	2	94,95	90,71	2,30	2,42
	3	93,62	88,34	2,30	2,41
	5	95,03	92,17	2,30	2,44
	Média	94,34	90,52	2,30	2,43
6	-	95,59	93,06	1,50	1,51
7	4	86,81	77,11	1,80	1,73
	3	78,28	64,38	1,80	1,79
	5	74,33	55,37	1,80	1,80
	9	84,73	70,66	1,80	1,16
	Média	81,04	66,88	1,80	1,62

avaliados, apresentou valor abaixo de 70%, refletindo uma uniformidade ruim. Nos demais resultados, 10 sistemas apresentaram valores de uniformidade de distribuição entre 70 e 80%, oito exibiram valores entre 80 e 90%, enquanto 12, valores acima de 90%.

No sistema 1 foram avaliados cinco setores, com valores de CUD variando de 72,36 a 90,14% e de CUC de 85,09 a 93,97%. Observou-se que apenas um setor apresentou valor de CUD superior a 90%, enquanto dois outros revelaram valores entre 80-90% e os setores restantes apresentaram valores entre 70-80%. Observa-se também que, mesmo em se tratando de um

sistema autocompensante, ocorreu grande variação na vazão dos emissores em alguns setores, possivelmente em função do não-funcionamento da membrana de silicone, que promove o controle da vazão nos emissores.

Nas Figuras 6 e 7 são apresentados as vazões dos emissores ao longo das linhas laterais dos setores 1 e 5, respectivamente. Observa-se, nessas figuras, a maior variação de vazão ao longo das linhas laterais do sistema 5, em comparação com o setor 1. O problema de vazão nos gotejadores apresentados em alguns setores deste sistema pode ter sido provocado pela entrada de raízes do cafeeiro dentro dos gotejadores, já que era adotado, nas entrelinhas do café, um manejo no qual a brachiária era cortada por uma roçadeira e jogada sob a saia do cafeeiro. Esse manejo provavelmente provocou acúmulo de palhada e microclima muito úmido sobre a faixa molhada, acarretando afloramento das raízes e, conseqüentemente, o entupimento parcial e até total de alguns pontos.

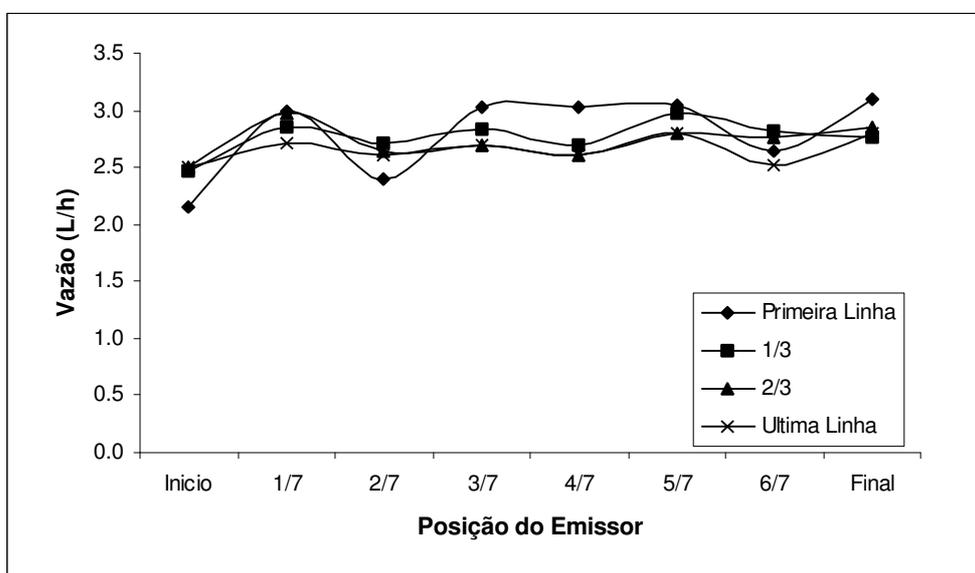


Figura 6 – Vazão dos emissores ao longo das linhas laterais avaliadas. Sistema 1 e setor 1 (CUD = 90,14).

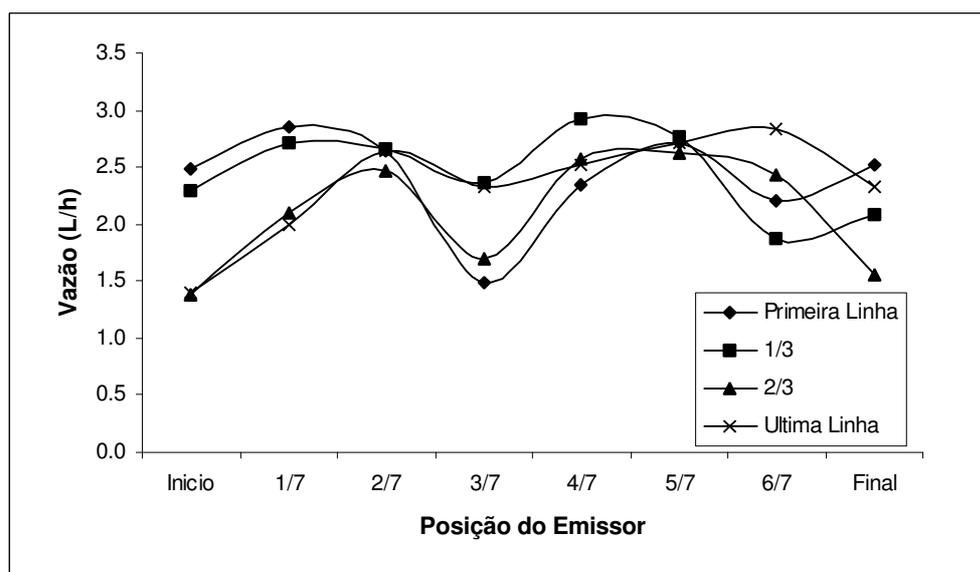


Figura 7 – Vazão dos emissores ao longo das linhas laterais avaliadas. Sistema 1 e setor 5 (CUD = 72,36%).

Na Figura 8, observa-se a variação da vazão ao longo das linhas do setor 3 do sistema 3. Nesse sistema foram realizadas avaliações em 4 setores. Os valores de CUD variaram de 80,22 a 90,94%. Observa-se também na Figura 8 que ocorreu grande variação na vazão de um dos gotejadores, o que pode ter proporcionado redução no valor do CUD na avaliação do setor.

Verifica-se na Figura 9 que o sistema 4 apresentou problemas de entupimento. Segundo informações locais, o sistema teve problemas relacionados ao bombeamento da água para a irrigação durante aproximadamente um mês, no retorno das irrigações, e, em virtude do estresse hídrico que as plantas atravessaram, ocorreu a intrusão radicular nos gotejadores, chegando-se a obstruir parcial e totalmente alguns gotejadores, ocasionando a baixa uniformidade de distribuição de água.

No sistema 5 foram avaliados quatro setores, com os valores de CUD e CUC variando de 93,62 a 95,03% e de 88,34 a 92,17%, respectivamente. Observou-se, nesse sistema, pequena variação dos valores de CUD e CUC entre os setores; dos sistemas que tiveram um número superior de avaliações de setores, foi o que obteve os melhores valores de uniformidade.

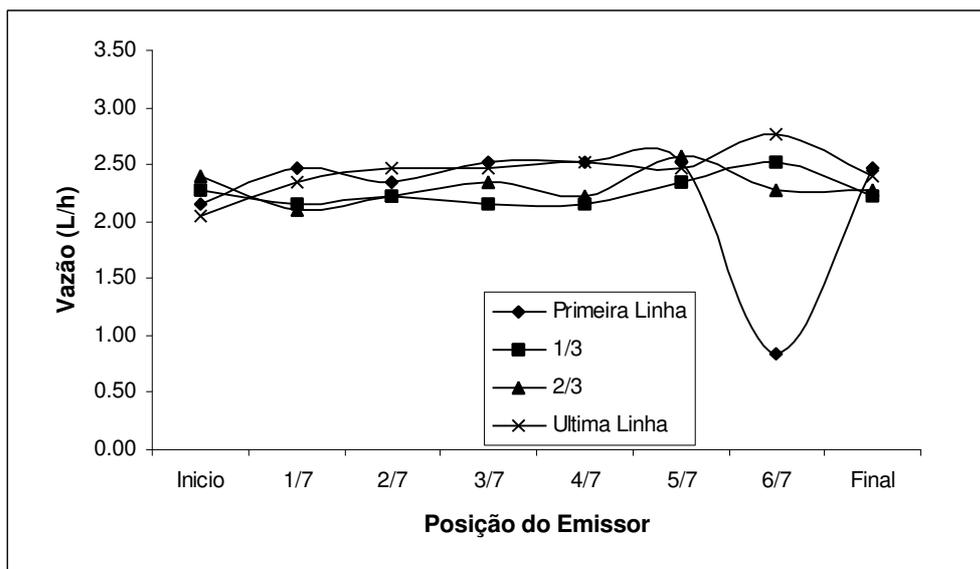


Figura 8 – Vazão dos emissores ao longo das linhas laterais avaliadas. Sistema 3 e setor 3 (CUD = 85,91%).

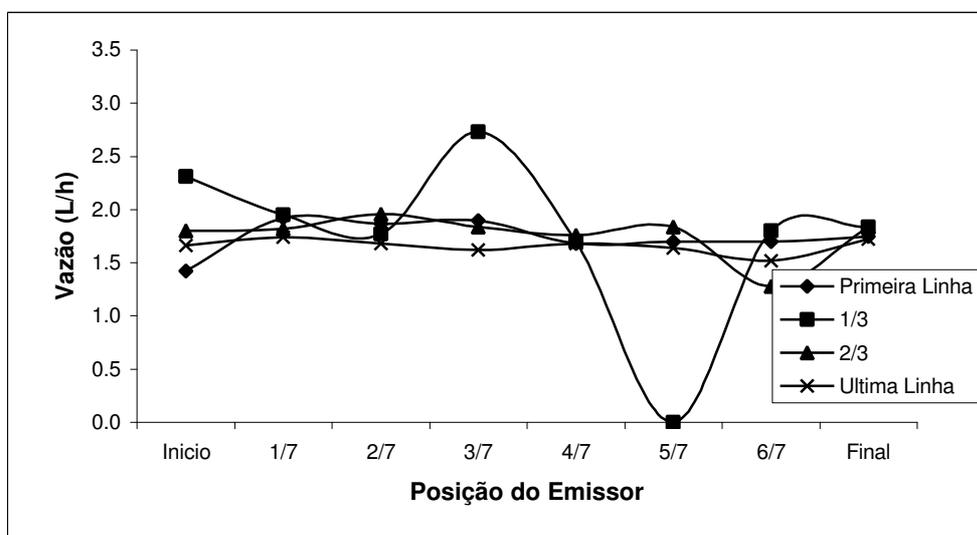


Figura 9 – Vazão dos emissores ao longo das linhas laterais avaliadas. Sistema 4 (CUD = 78,07%).

Na Figura 10, observa-se a pequena variação de vazão ao longo das linhas de gotejadores avaliados no sistema 6, que, mesmo não sendo autocompensante, proporcionou um valor de CUD considerado excelente, ao

contrário do que se verifica na Figura 11, em que um sistema, também não-autocompensante, apresentou um valor de CUD inaceitável para esse tipo de equipamento.

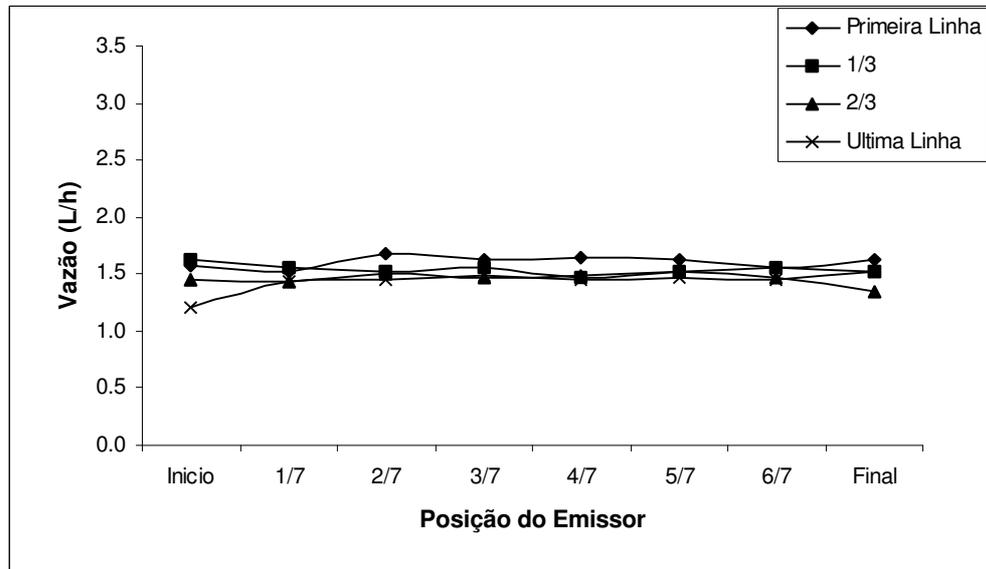


Figura 10 – Vazão dos emissores ao longo das linhas laterais avaliadas. Sistema 6 (CUD = 95,59%).

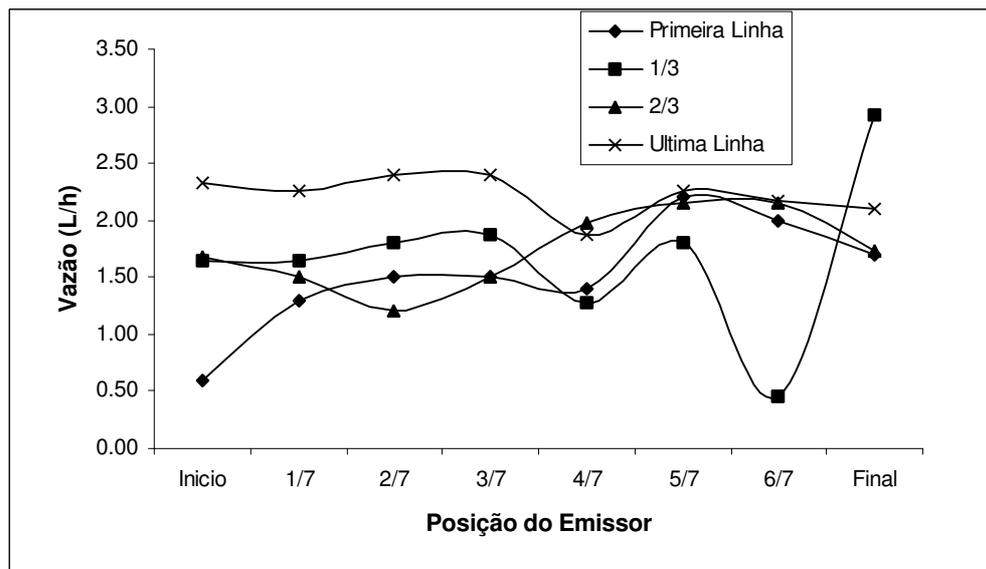


Figura 11 – Vazão dos emissores ao longo das linhas laterais avaliadas. Sistema 7 e setor 3 (CUD = 64,38%).

Foram avaliados quatro setores no sistema 7, com os valores de CUD variando de 55,37 a 77,11% e CUC oscilando de 74,33 a 86,81. Durante a avaliação do sistema 7 foi observado grande número de gotejadores, que estavam enterrados sobre uma camada de aproximadamente 0,10 m de solo. Tal enterrio foi provocado pelos tratos culturais do café adotado nessa fazenda.

4.2. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação por pivô central

Os valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de uniformidade de distribuição (CUD), nos pivôs centrais avaliados, são apresentados na Tabela 11.

Dos 20 pivôs centrais avaliados apenas os sistemas 9 e 10, ou seja, 10% deles, apresentaram valores de CUC abaixo de 80%, inferiores ao recomendado para o equipamento em culturas de sistema radicular profundo, como é o caso do cafeeiro, conforme Bernardo et al. (2005). Mantovani e Ramos (1994) afirmaram que o valor mínimo aceitável de CUC para sistemas de irrigação por pivô central é de 80%, portanto 90% dos sistemas de irrigação por pivô central avaliados estão trabalhando com valores adequados. Entretanto, quando se analisam apenas os pivôs de aplicação em área total (convencional), observa-se que, dos quatro sistemas avaliados, dois tiveram valores de CUC inferiores aos recomendados.

Os valores de uniformidade encontrados nos sistemas de pivôs convencionais são razoáveis na região em estudo, sendo resultados superiores encontrados por Sousa (2001), nos sistemas de irrigação por pivô central utilizados na cafeicultura irrigada do norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. No trabalho, verificou-se que apenas dois pivôs (20% dos casos) apresentaram uniformidade de aplicação de água abaixo do recomendado. A média dos valores de CUC encontrados por esse mesmo autor, nas 10 avaliações realizadas, foi de 82,20%, superando, assim, o valor médio obtido neste trabalho com sistemas de irrigação por pivô central convencional. Já Bonomo (1999), estudando os sistemas de irrigação pressurizados utilizados na cafeicultura irrigada do Cerrado de Minas Gerais, encontrou valores de CUC variando de 80,6 a 90,1%, com valor médio de 84,2% nas seis avaliações realizadas. Os resultados são concordantes com valores obtidos por Furukawa et al. (1994), que avaliaram esse tipo de equipamento em Goiás.

Tabela 11 – Valores de CUC e CUD encontrados nas avaliações realizadas em sistemas de irrigação, por pivô central, utilizados na cafeicultura do oeste da Bahia

Sistema	Localização	CUC %	CUD %	Tipo
8	Barreiras	84,93	79,64	Pivô Convencional
9	LEM	76,58	67,94	Pivô Convencional
10	LEM	72,73	64,15	Pivô Convencional
11	Barreiras	86,78	79,55	Pivô Convencional
12	Barreiras	90,47	89,52	Pivô LEPA
13	Barreiras	92,62	91,87	Pivô LEPA
14	Barreiras	92,94	90,29	Pivô LEPA
15	Barreiras	93,84	92,11	Pivô LEPA
16	Barreiras	92,21	91,81	Pivô LEPA
17	Barreiras	92,56	90,68	Pivô LEPA
18	Barreiras	87,65	83,66	Pivô LEPA
19	Barreiras	87,74	84,08	Pivô LEPA
20	Barreiras	93,45	91,22	Pivô LEPA
21	Barreiras	93,56	93,10	Pivô LEPA
22	Barreiras	95,34	93,68	Pivô LEPA
23	São Desidério	82,98	63,41	Pivô Alternativo
24	LEM	90,22	83,65	Pivô Alternativo
25	LEM	84,84	79,13	Pivô Alternativo
26	LEM	83,16	81,02	Pivô Alternativo
27	LEM	87,94	83,72	Pivô Alternativo

* LEM – Luis Eduardo Magalhães.

O valor médio de CUC e CUD dos 11 pivôs LEPA avaliados foi de 92,03 e 90,18%, respectivamente. Os valores podem ser considerados excelentes para esse método de irrigação, os quais foram superiores aos encontrados por Teixeira (2003), que, avaliando pivôs centrais equipados com emissores LEPA na cafeicultura irrigada do Cerrado mineiro, conseguiu valores de CUC e CUD variando de 79 a 93% e de 67 a 90%, respectivamente.

As avaliações realizadas nos pivôs alternativos apresentaram valores de CUC variando de 82,98 a 90,22% e de CUD oscilando de 63,41 a 83,72%, com

valores médios de 85,83 e 78,19% de CUC e CUD, respectivamente. Nenhum pivô de aplicação localizada (LEPA e Alternativo) apresentou valor de CUC inferior a 80%.

Em nenhum dos sistemas de irrigação por pivô central avaliados foi observada a ocorrência de escoamento superficial durante a aplicação das lâminas de irrigação.

As velocidades médias do vento durante as avaliações dos pivôs convencionais foram de 1,62; 7,44; 6,70; e 3,1 m s⁻¹, nos sistemas 8, 9, 10 e 11, respectivamente. Dessa forma, a velocidade média do vento durante as avaliações de dois sistemas (9 e 10) foram consideradas altas, segundo critério apresentado por Solomon (1990), que definiu os intervalos de velocidade de vento para efeito de irrigação por aspersão, como baixa de 0 a 1,9 m s⁻¹, moderada de 1,9 a 3,9 m s⁻¹ e alta acima 3,9 m s⁻¹. Já as velocidades médias do vento durante as avaliações dos sistemas 8 e 11 foram consideradas baixa e moderada, respectivamente, segundo esse mesmo autor.

Tarjuelo Martín-Benito (1995) citou que sistemas de irrigação com linha lateral em movimento, como é o caso do pivô central, sofrem menor influência do vento, em comparação com os outros sistemas de irrigação por aspersão. Isso se deve ao fato de a linha lateral ocupar infinitas posições durante a irrigação e de o espaçamento entre aspersores, nesse tipo de sistema, ser bastante reduzido.

Os valores de velocidade do vento obtidos nas avaliações dos pivôs 9 e 10 excedem o critério proposto pela norma ASAE S436.1 (2000), que delimita a velocidade de vento máxima permitida nas avaliações em 5 m s⁻¹. Entretanto, esse critério é para avaliações em que o objetivo é avaliar o desempenho dos emissores, ou seja, analisar o projeto e não o sistema em condição normal de funcionamento.

Vale ressaltar que se os pivôs convencionais fossem avaliados durante a noite, possivelmente os resultados de uniformidade seriam superiores, principalmente nos sistemas 9 e 10. Entretanto, as avaliações foram realizadas nas condições operacionais das fazendas, uma vez que é prática, nesses estabelecimentos, a irrigação iniciar à noite e terminar durante o dia, ou até mesmo irrigar durante todo o dia. No momento da avaliação, o sistema 10 estava fertirrigando, o que pode proporcionar maiores perdas na produtividade

do cafeeiro, uma vez que a distribuição de adubos segue a mesma distribuição da água.

Na Figura 12, observa-se a influência do vento nas avaliações de uniformidade realizadas, nos pivôs convencionais. Verifica-se, nessa figura, que os sistemas que apresentaram as piores uniformidades de aplicação de água foram os sistemas avaliados com ventos superiores a 5 m s⁻¹. Dessa forma, a escolha de horários onde ocorrem as menores intensidades de ventos para as irrigações pode tornar-se uma boa alternativa para os produtores da região aumentarem a uniformidade dos pivôs centrais convencionais, o que nem sempre é possível em razão do tempo máximo de operação diário, que é de 20 horas na região.

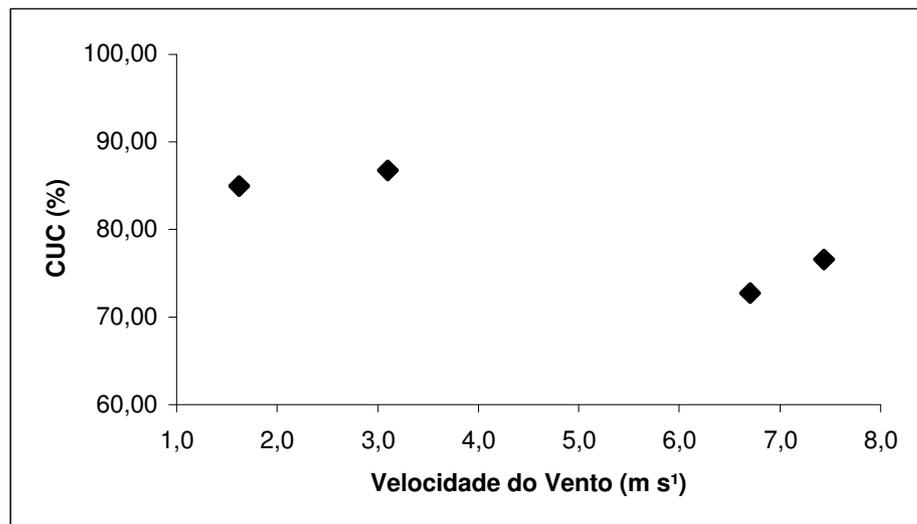


Figura 12 – Influência da velocidade do vento no CUC dos pivôs convencionais avaliados.

Nas Figuras 13ab e 14ab são mostrados os perfis de distribuição de água dos pivôs centrais avaliados 10, 21, 22 e 24, respectivamente. Observa-se a pequena variação da lâmina coletada ao longo dos pivôs centrais 21 e 22 (Figuras 13b e 14a, respectivamente), em comparação com os outros dois pivôs centrais (Figuras 13a e 14b).

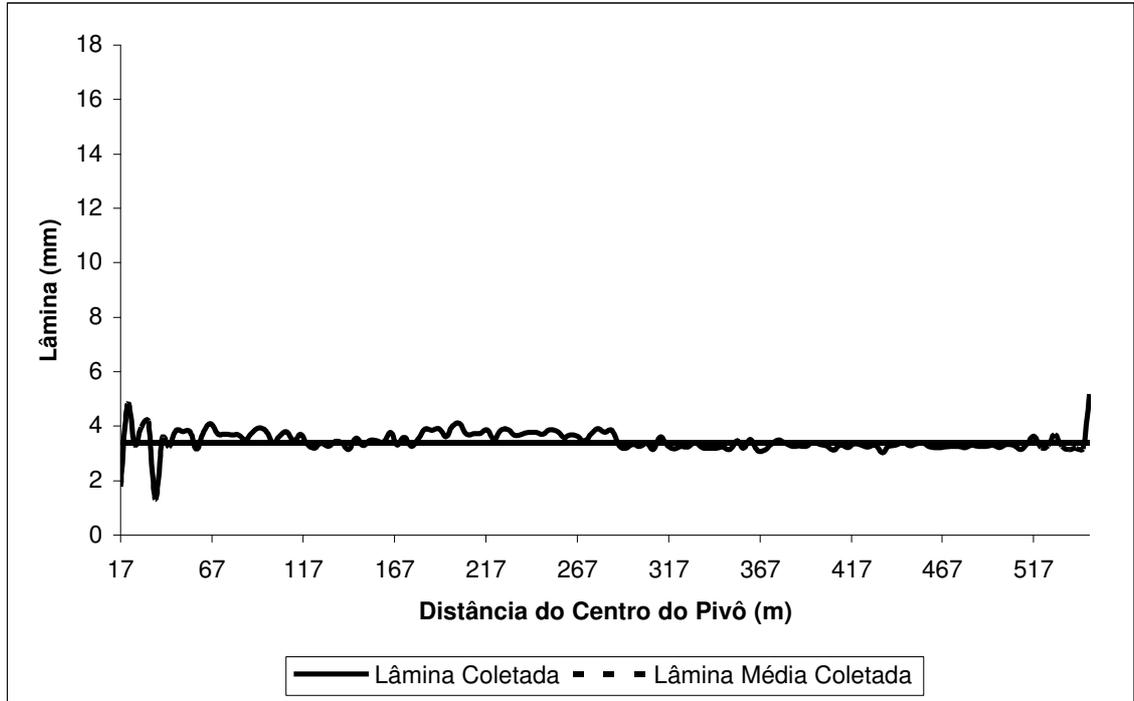
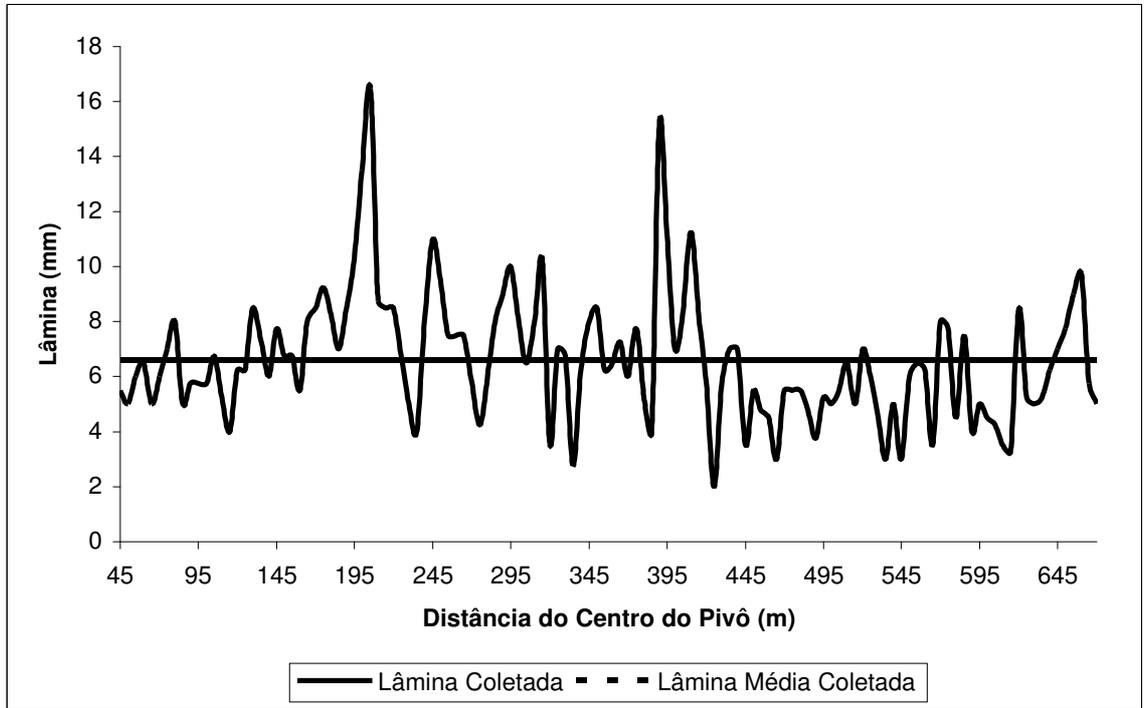
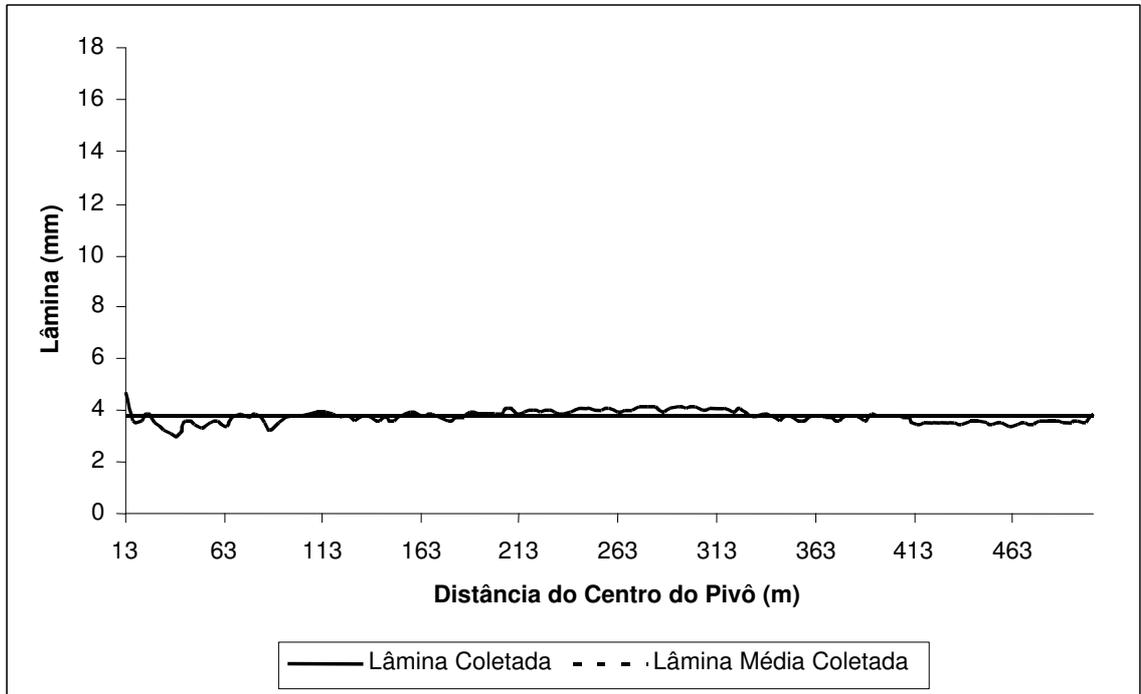
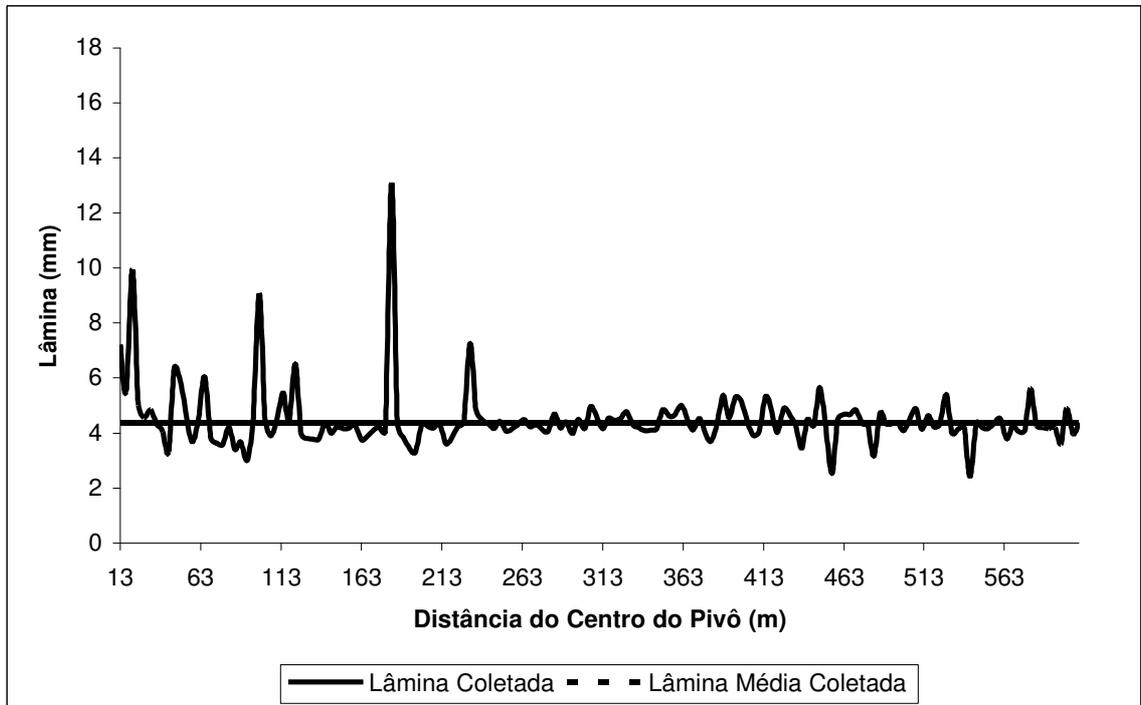


Figura 13 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do sistema 10 (a) e do sistema 21 (b).



(a)



(b)

Figura 14 – Lâmina média coletada e lâmina coletada ao longo da linha lateral do sistema 22 (a) e do sistema 24 (b).

O pivô central convencional (Figura 13a) apresentou grande variação nas lâminas coletadas em relação à média da coleta. Tal variação pode ter sido provocada devido a problemas nas válvulas controladoras de pressão e troca de bocais dos difusores, não sendo observados problemas relevantes quanto a entupimento de emissores ou vazamentos.

Os pivôs centrais equipados com emissores LEPA (Figuras 13b e 14a) apresentaram as menores variações nas lâminas coletadas, observando-se uma adequada distribuição de água por esses sistemas, que exibiram valores de coeficientes de uniformidade elevados.

Representado na Figura 14b, o pivô central equipado com emissores alternativos apresentou grande variação na lâmina coletada em relação à média coletada, principalmente na primeira metade do pivô central, com as lâminas coletadas superestimando a média.

4.3. Uniformidade de aplicação de água média dos sistemas avaliados

Na Figura 15, apresentam-se os valores médios de CUC e CUD encontrados por sistemas de irrigação avaliados. Nota-se, nessa figura, que os sistemas de irrigação por gotejamento e pivô central equipado com emissores LEPA apresentaram maiores valores de CUC, seguidos dos pivôs equipados com emissores alternativos e pivôs convencionais.

Observou-se que os pivôs centrais de aplicação localizada (LEPA e alternativos) apresentaram valores de uniformidade superiores aos dos pivôs centrais convencionais, resultados já esperados pelo fato de que esses sistemas não sofrem grandes perdas por evaporação e arraste como os pivôs centrais convencionais, que aplicam a água em área total.

Quando foi comparado o pivô central convencional com o pivô central alternativo, observou-se que o pivô alternativo foi superior nos valores de CUC e CUD, entretanto essa superioridade não foi como a alcançada pelo pivô LEPA.

Embora sigam a mesma metodologia de aplicação de água, verificou-se que os pivôs LEPA são superiores (CUC e CUD) aos pivôs alternativos, possivelmente em razão de problemas hidráulicos encontrados nesses emissores, uma vez que alguns emissores sofreram adaptações para a aplicação de água localizada sobre a planta e outros foram feitos de forma artesanal.

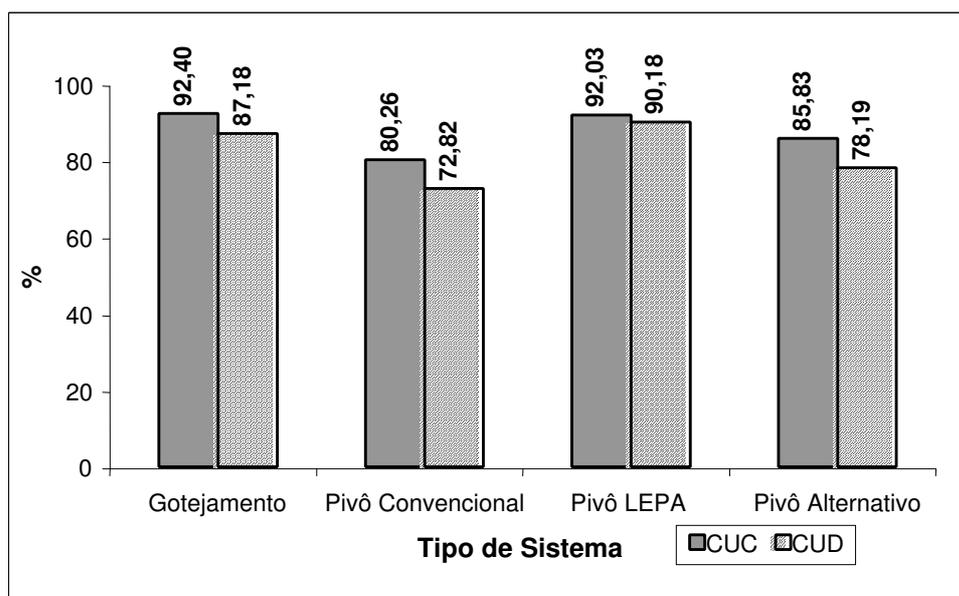


Figura 15 – Valores médios de CUC e CUD encontrados por tipos de sistemas de irrigação avaliados.

4.4. Determinação do número de emissores a serem avaliados nos pivôs de aplicação localizada

Os valores de CUC e CUD calculados com 100, 50, 33, 25 e 10% dos emissores nos diferentes sistemas são apresentados nas Figuras 13 e 14, respectivamente. Os sistemas 18 e 19 não são mostrados nessas figuras porque foram avaliados apenas 50% dos emissores. Observa-se, nas Figuras 16 e 17, que foram verificadas pequenas variações, dentro dos mesmos sistemas, dos valores de CUC e CUD, respectivamente, quando foram avaliadas distintas porcentagens de emissores.

Os sistemas 13, 16 e 21, na Figura 16, apresentaram maior diferença no parâmetro CUC quando se avaliaram apenas 10% dos emissores em relação a 100% destes. Já quanto ao valor de CUD (Figura 17), os sistemas que apresentaram maior variação, em relação a 100% dos emissores avaliados, foram o 16, o 21 e o 24.

Na Tabela 12 são apresentados os resultados do teste de média. Foram escolhidos os sistemas 13, 16, 21, 24 e 25 e 16, 21, 23, 24 e 25, para os parâmetros de CUC e CUD. No CUD, as maiores variações foram observadas em três sistemas alternativos, ficando apenas dois para o CUC.

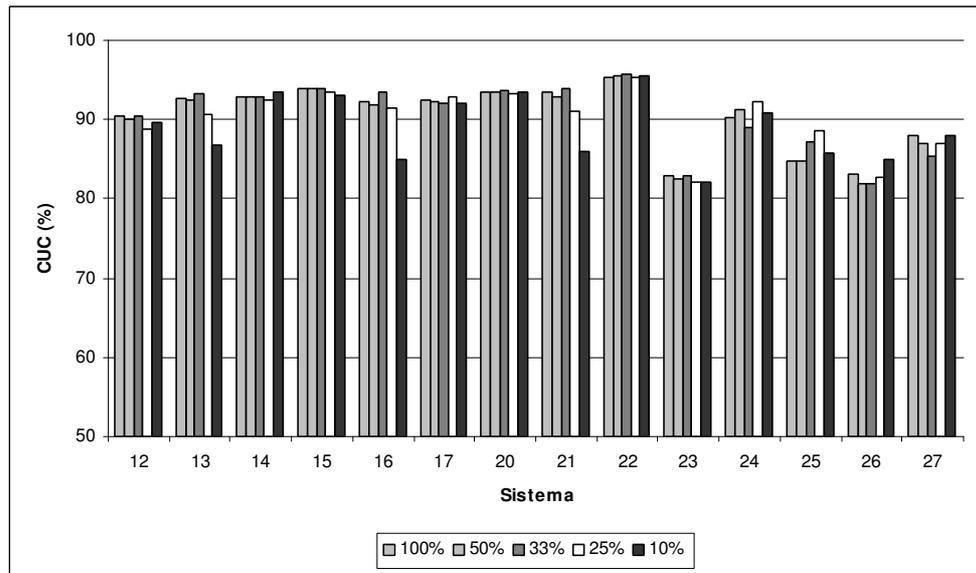


Figura 16 – Valores de CUC encontrados nas avaliações de 100, 50, 33, 25 e 10% dos emissores.

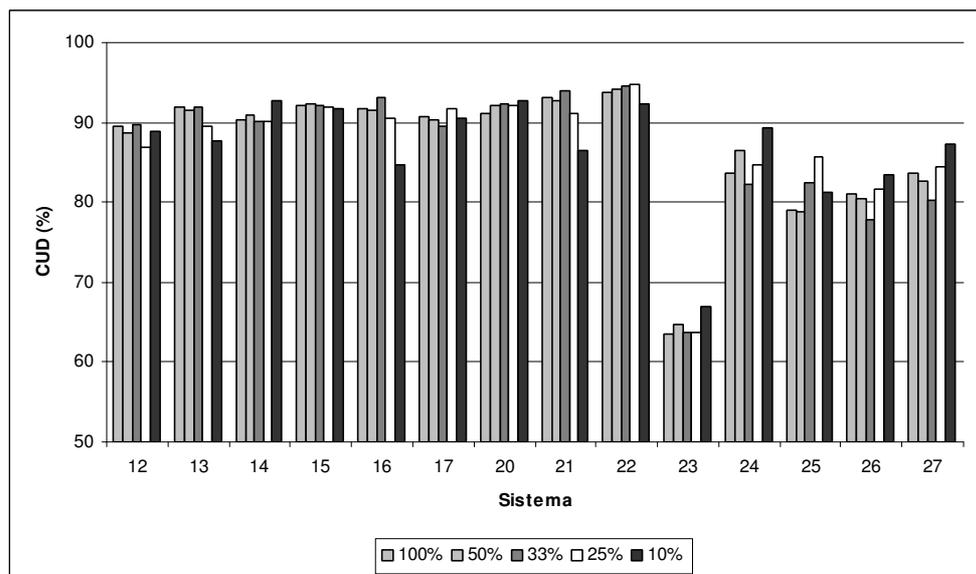


Figura 17 – Valores de CUD encontrados nas avaliações de 100, 50, 33, 25 e 10% dos emissores.

Tabela 12 – Teste de média entre as porcentagens de emissores avaliados (100, 50, 33, 25 e 10%)

Porcentagem de Emissores Avaliados	CUC (%)	CUD (%)
100%	90,69 a	82,22 a
50%	90,65 a	82,88 a
33%	91,37 a	83,11 a
25%	90,84 a	83,20 a
10%	86,88 b	81,68 a

* Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan.

Observou-se que os CUC de 50, 33 e 25% dos emissores avaliados não diferiram estatisticamente de quando se avaliou a totalidade dos emissores (100%). Os valores de CUD não apresentaram diferença estatística entre as porcentagens de emissores avaliados (100, 50, 33, 25 e 10%).

Teixeira (2003), realizando trabalho semelhante, recomendou a avaliação de no mínimo 50% dos emissores.

4.5. Manejo da irrigação

Nas Figuras de 18 a 23 são apresentados os valores de umidade do solo estimados por tensiômetros e pelo programa Irriga-Gesai, em três profundidades, bem como valores médios das três profundidades, nas parcelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. As parcelas 1 a 4 foram irrigadas por gotejamento e as parcelas 5 e 6, por pivô central convencional e equipado com emissores LEPA, respectivamente.

Observa-se, principalmente na Figura 18ab, que os valores estimados de umidade do solo pelos métodos em estudo permaneceram bem próximos, correspondendo, durante um grande número de observações, na capacidade de campo das camadas. Na parcela 1, os valores de umidade do solo estimados pelo programa Irriga-Gesai superestimaram, em média, 5,06% os valores estimados pelos tensiômetros. Esse valor correspondeu a um déficit médio de 7,65 mm de água no perfil de 0-60 cm do solo, em comparação com os tensiômetros.

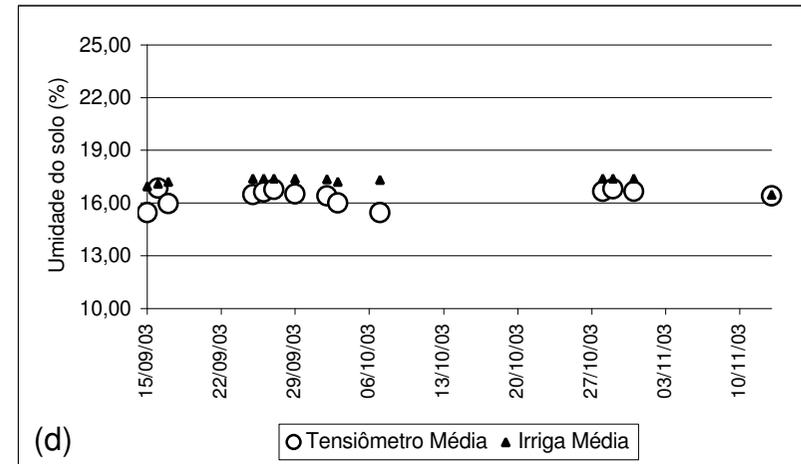
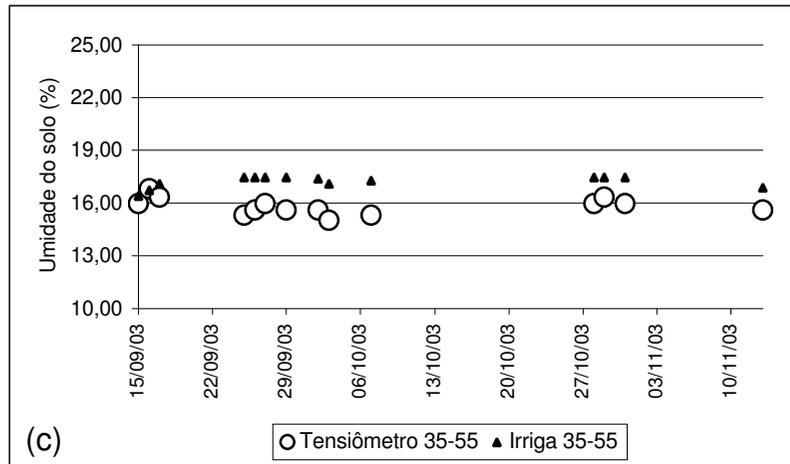
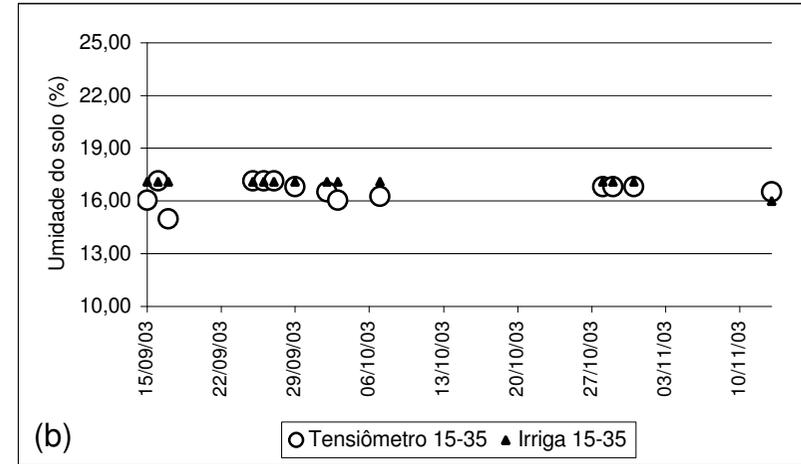
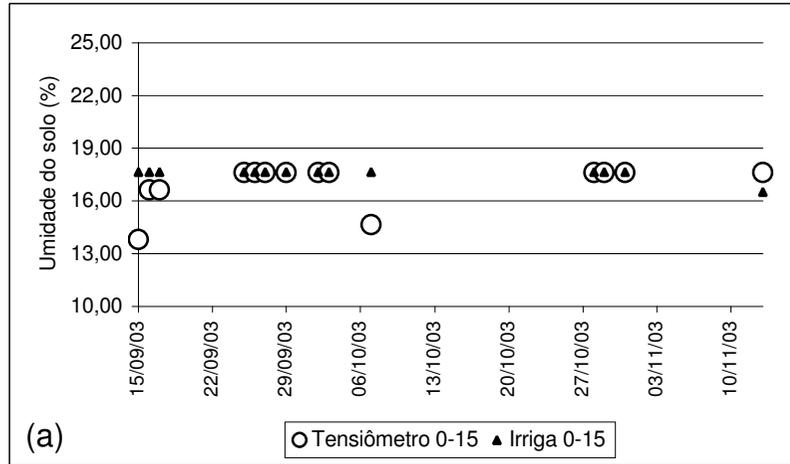


Figura 18 – Valores das umidades do solo, estimadas por tensiometria e pelo programa Irriga-Gesai, em três camadas e em todo o perfil do solo, na parcela 1 (gotejamento).

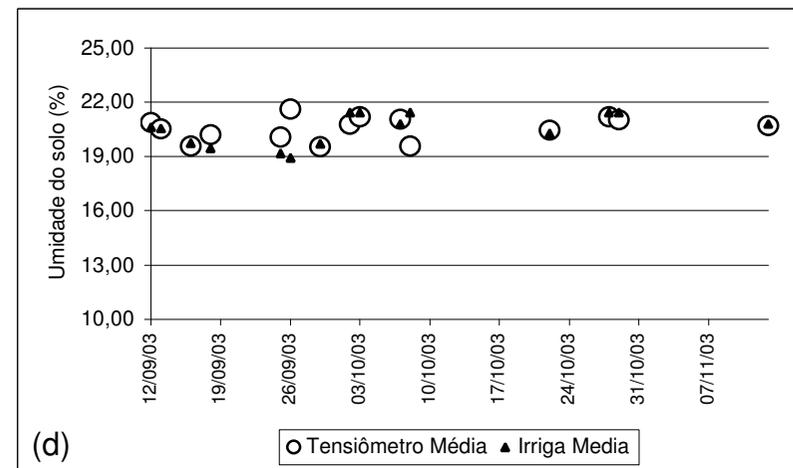
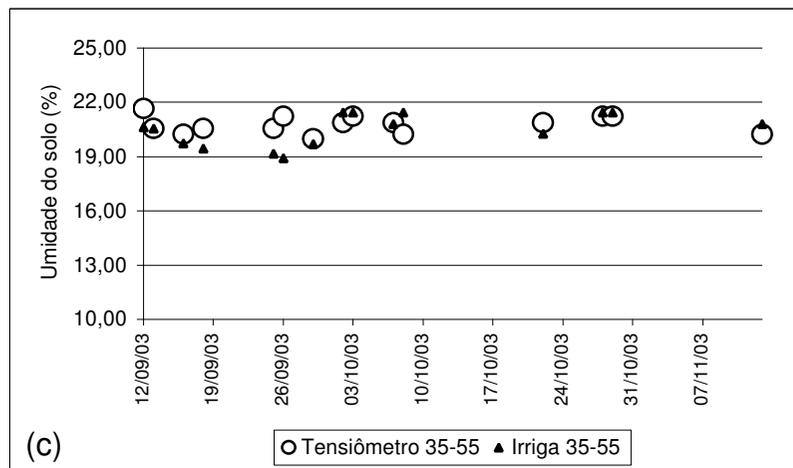
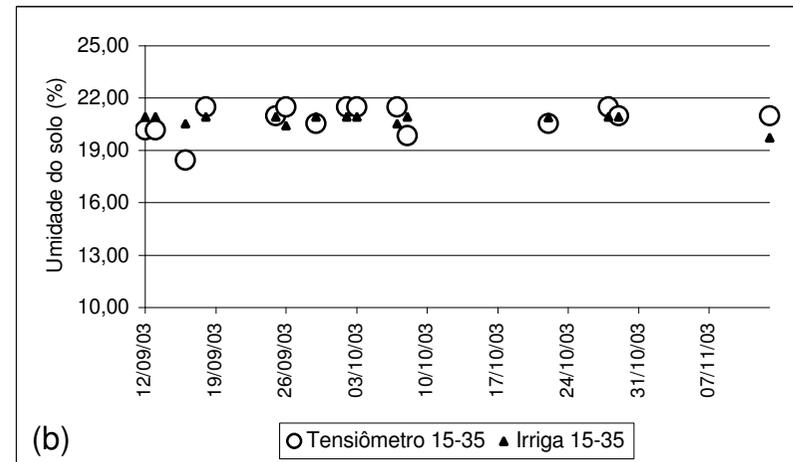
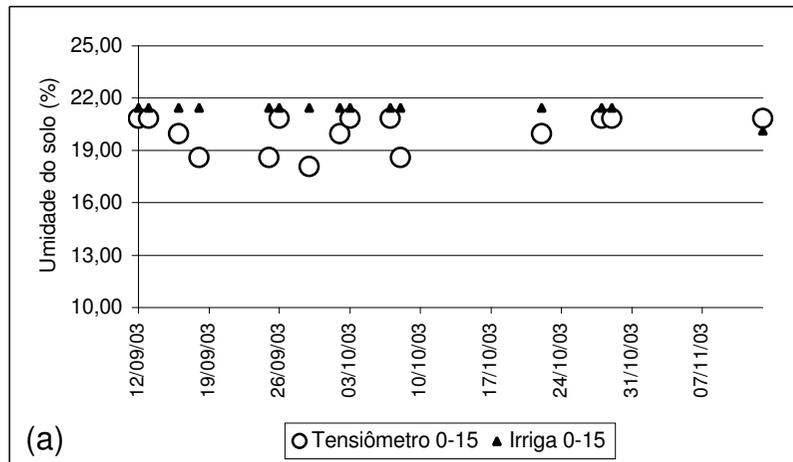


Figura 19 – Valores das umidades do solo, estimadas por tensiometria e pelo programa Irriga-Gesai, em três camadas e em todo o perfil do solo, na parcela 2 (gotejamento).

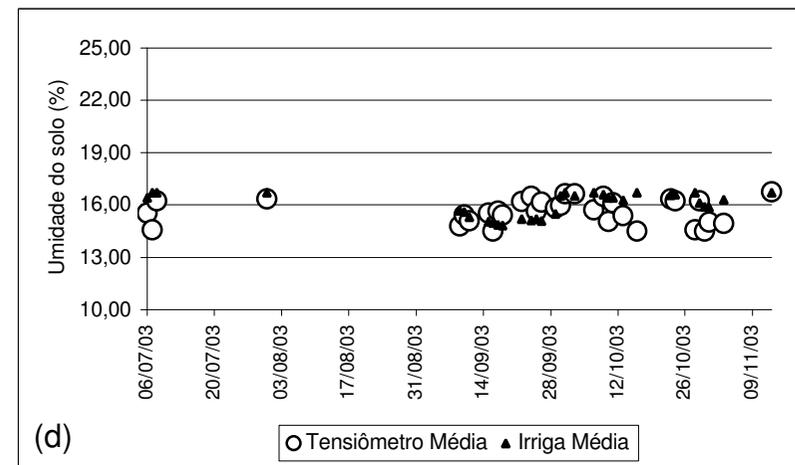
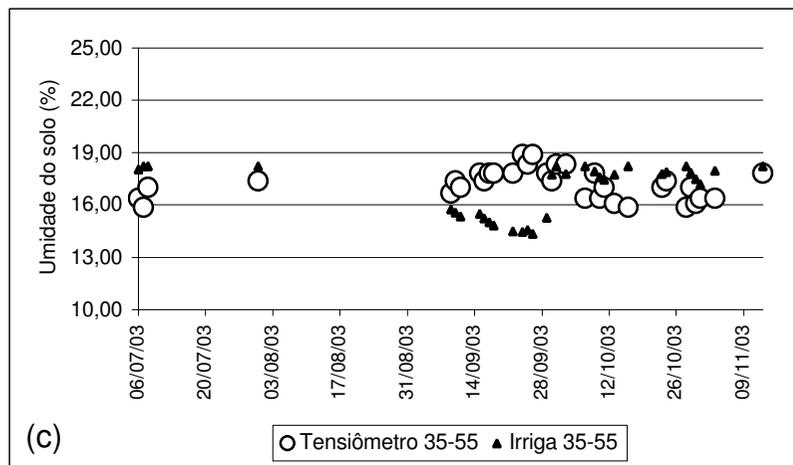
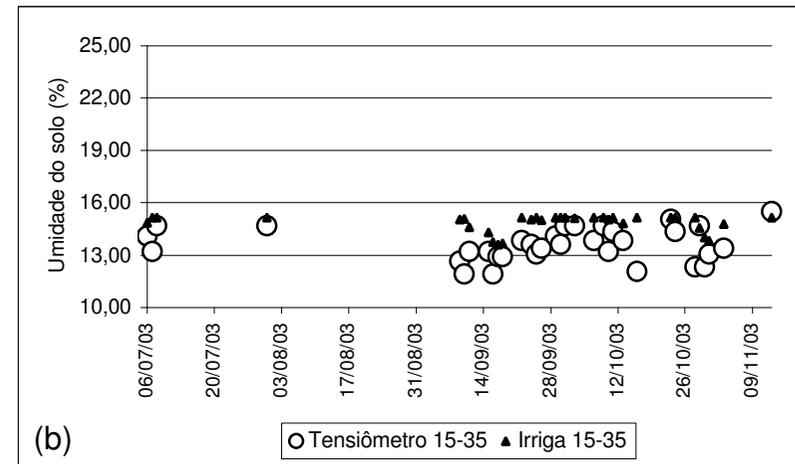
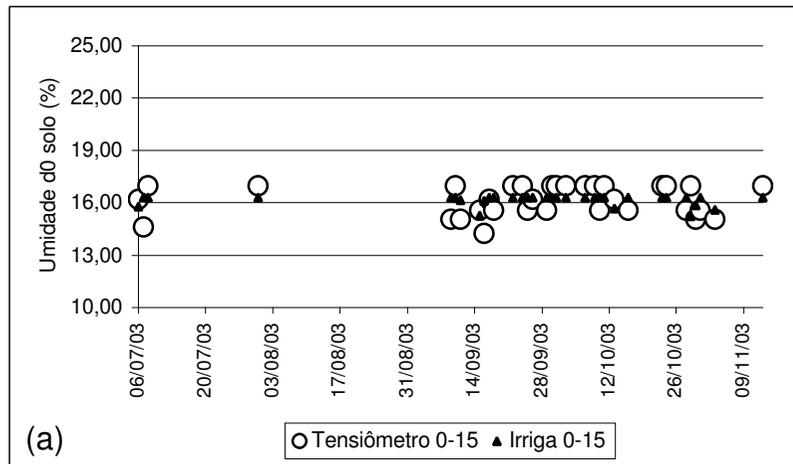


Figura 20 – Valores das umidades do solo, estimadas por tensiometria e pelo programa Irriga-Gesai, em três camadas e em todo o perfil do solo, na parcela 3 (gotejamento).

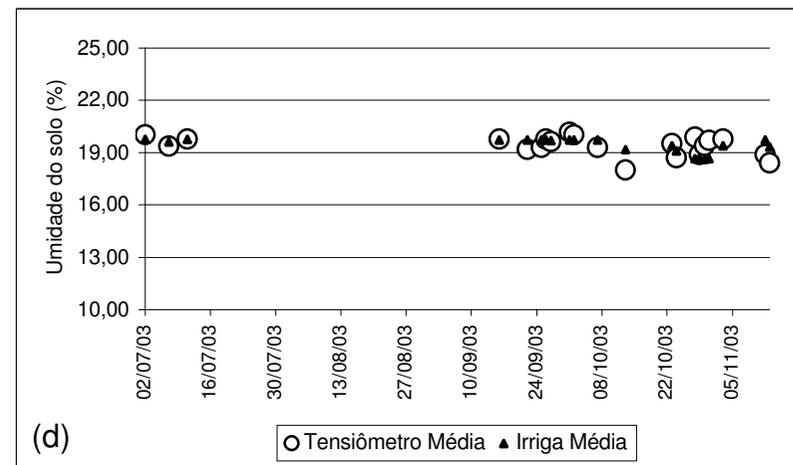
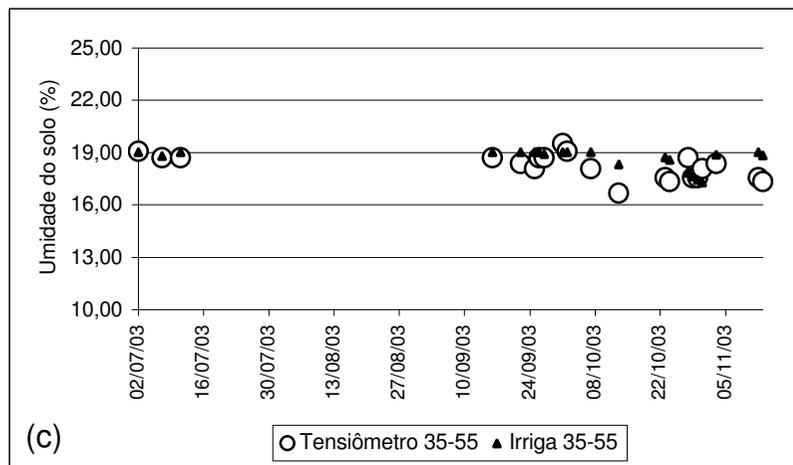
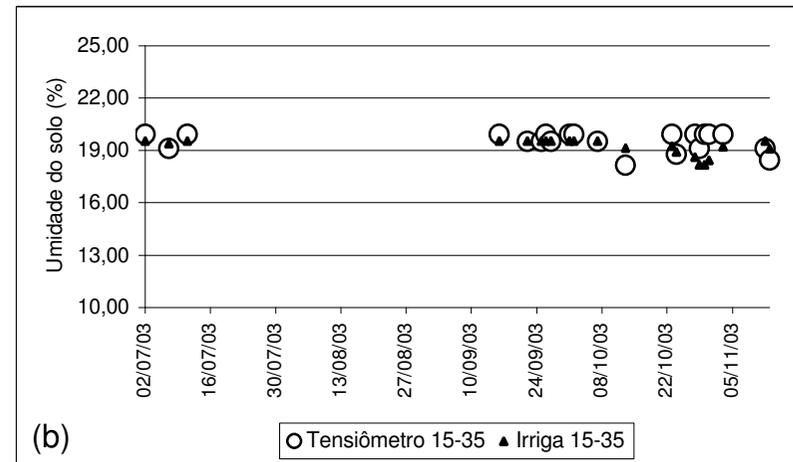
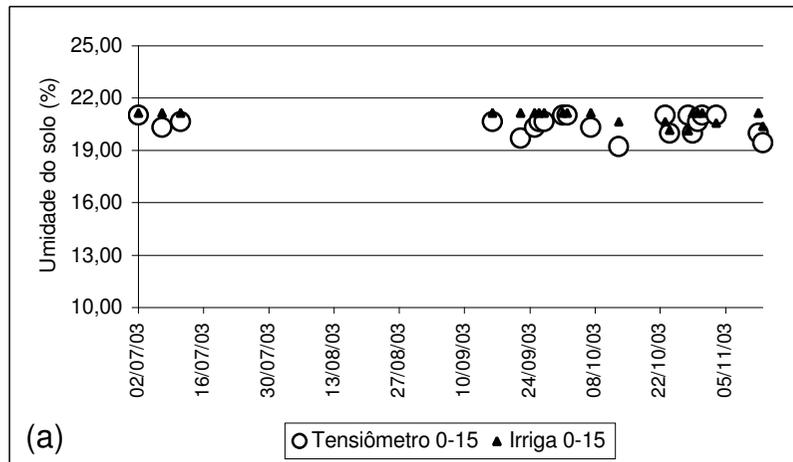


Figura 21 – Valores das umidades do solo, estimadas por tensiometria e pelo programa Irriga-Gesai, em três camadas e em todo o perfil do solo, na parcela 4 (gotejamento).

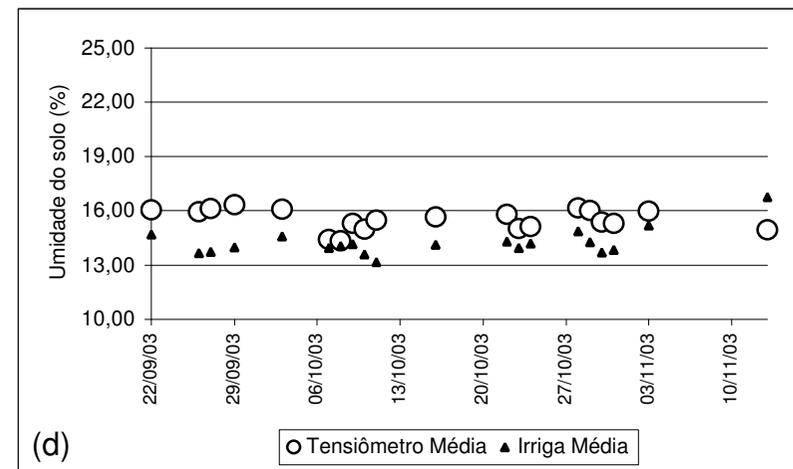
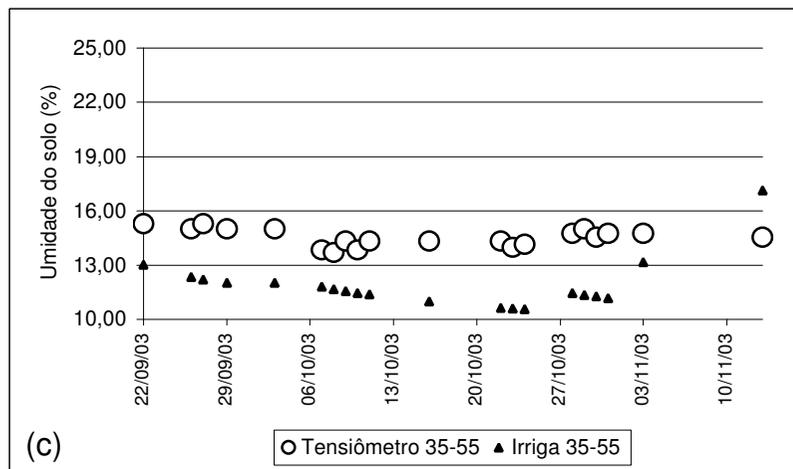
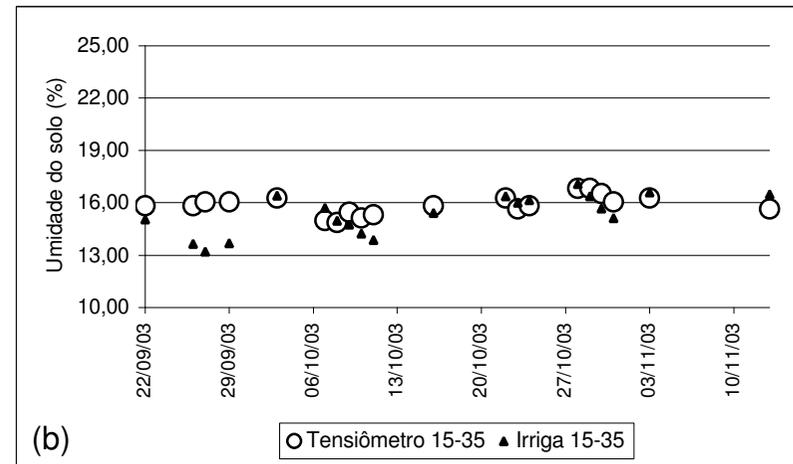
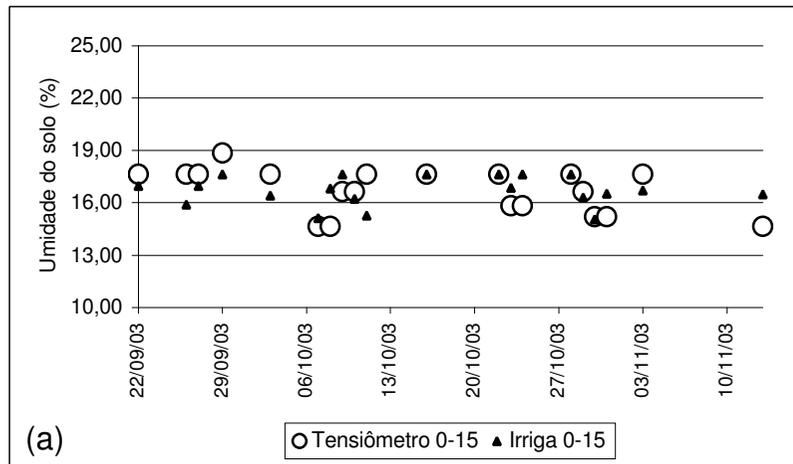


Figura 22 – Valores das umidades do solo, estimadas por tensiometria e pelo programa Irriga-Gesai, em três camadas e em todo o perfil do solo, na parcela 5 (pivô central convencional).

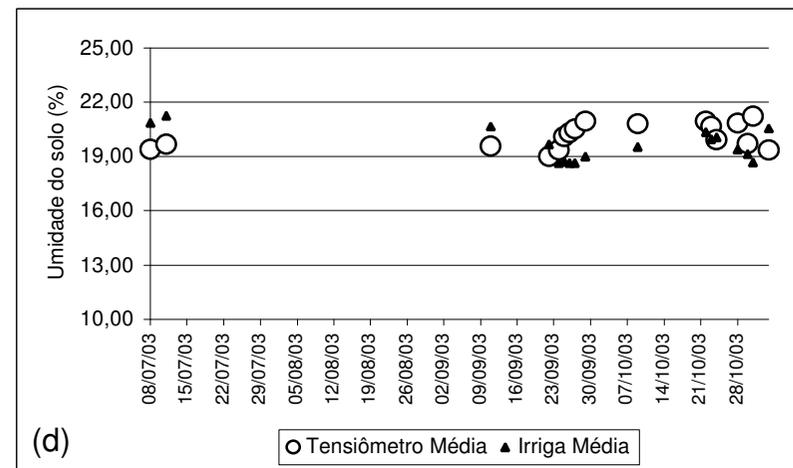
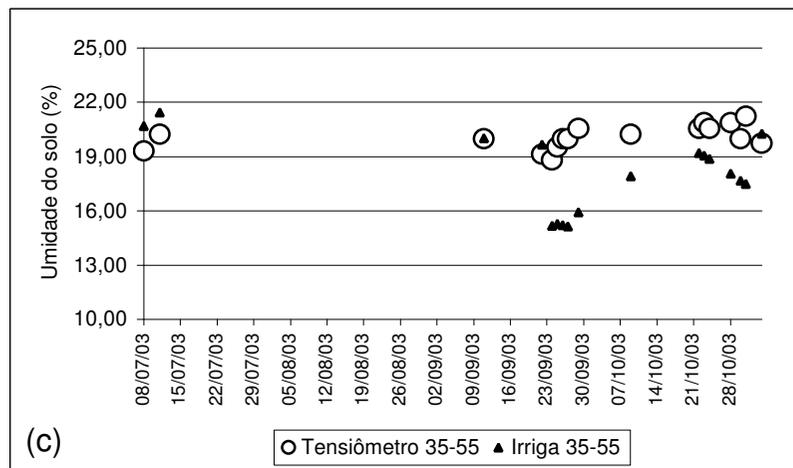
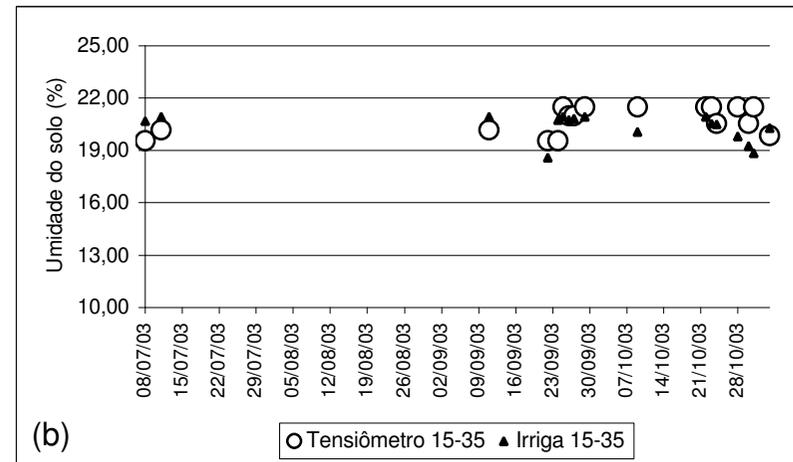
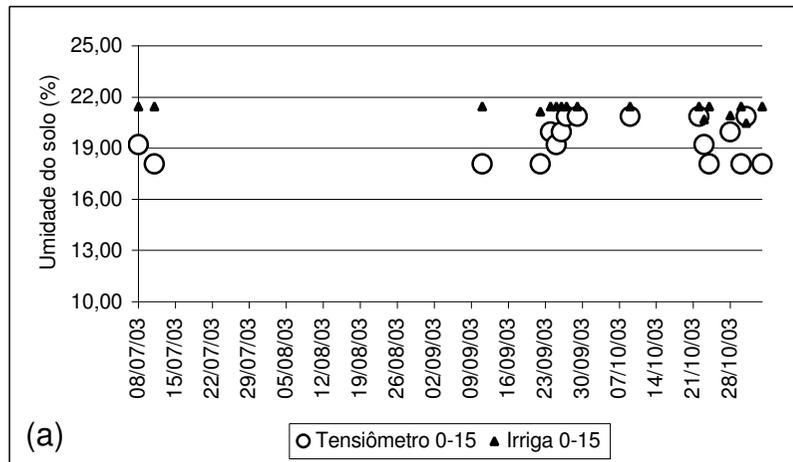


Figura 23 – Valores das umidades do solo, estimadas por tensiometria e pelo programa Irriga-Gesai, em três camadas e em todo o perfil do solo, na parcela 6 (pivô LEPA).

Na parcela 2 (Figura 19), os valores de umidade do solo estimados pelo programa Irriga-Gesai superestimaram, em várias observações, os valores obtidos por tensiometria na camada de 0-15 cm (Figura 19a) e subestimaram nas de 15-35 e de 35-60 cm (Figura 19bc, respectivamente), promovendo, assim, um bom ajuste nos valores estimados pelos dois métodos no perfil de 0-60, conforme observado na Figura 19d. Dessa forma, os valores de umidade do solo estimados pelo programa subestimaram, em média, 0,48% os valores estimados pelos tensiômetros, correspondendo a um déficit médio de 0,53 mm de água no perfil de 0-60 cm.

Na Figura 20, observam-se os valores estimados de umidade do solo pelos dois métodos em estudo, na parcela 3. Nas camadas de 0-15 cm e 35-60 cm (Figuras 20ac, respectivamente), o programa Irriga-Gesai superestimou os valores de umidade do solo estimados pelos tensiômetros, ressaltando-se que essa superestimativa ocorreu sobretudo nas observações realizadas em novembro (Figura 20c). Ao contrário, foi verificado, na Figura 20b, que os valores estimados por tensiômetros permaneceram inferiores aos estimados pelo programa Irriga-Gesai. No perfil de 0-60 cm, os valores estimados pelo programa Irriga-Gesai superestimaram, em média, 2,15% os valores de umidade do solo estimados pelo tensiômetros, promovendo um déficit médio de 3,21 mm de água em todo o perfil.

De todas as parcelas estudadas, a parcela 4 (Figura 21) apresentou as menores variações médias de umidades do solo estimadas pelos dois métodos, não atingindo 0,1% e apresentando uma diferença de lâmina média inferior a 0,2 mm em todo o perfil de 0-60 cm.

Observa-se, na Figura 22ab (parcela 5), que o programa Irriga-Gesai subestimou os valores de umidade do solo nas primeiras observações e depois ocorreu um melhor ajuste. Já na Figura 22c os valores de umidade do solo estimados pelo programa subestimaram os obtidos pelos tensiômetros em todas as observações, com exceção da última, comportamento idêntico ao apresentado nos valores do perfil de 0-60 cm (Figura 22d), entretanto resultando em menor diferença entre os valores observados. Assim, o programa Irriga-Gesai proporcionou um excesso médio de 11,19 mm no perfil de 0-60 e subestimou, em média, 9,24% os valores obtidos pelos tensiômetros.

Na Figura 23, observam-se os valores estimados de umidade do solo pelos dois métodos em estudo, na parcela 6. Na Figura 23a, os valores estimados pelo Irriga-Gesai permaneceram sempre superiores aos estimados pelos tensiômetros, estando os valores do programa sempre próximos à capacidade de campo. Entretanto, nas outras camadas (15-35 e 35-60 – Figura 23c, respectivamente), os valores estimados pelo programa subestimaram os estimados pelos tensiômetros. Os valores estimados pelos dois métodos melhor se ajustaram no perfil de 0-60 cm, onde o Irriga-Gesai proporcionou excesso médio de 4,02 mm e subestimou, em média, 2,81% os valores estimados pelos tensiômetros no perfil de 0-60 cm.

Na Tabela 13 são apresentados os sistemas estudados, os números de observações em cada sistema e as variações encontradas em cada camada de solo e em todo o perfil estudado.

Tabela 13 – Variação da umidade do solo, em mm de água e em porcentagem, entre o valor medido (tensiômetro) e estimado pelo programa Irriga-Gesai, nas camadas de 0-15, 15-35 e 35-60 cm e em todo o perfil de 0-60 cm

Parcela	Número de Observações	Camadas (cm)							
		0-15		15-35		35-60		0-60	
		Variação (mm)	Variação (%)						
1	14	1,18	3,14	1,36	2,53	4,99	8,17	7,65	5,06
2	15	2,84	6,26	-0,03	-0,09	-0,95	-1,55	-0,53	-0,48
3	33	0,59	0,19	3,71	8,38	-1,14	-11,61	3,21	2,15
4	21	1,13	2,32	-0,89	-1,68	1,48	2,35	0,15	0,06
5	20	0,01	-0,09	-1,65	-3,92	-9,34	-23,46	-11,19	-9,24
6	17	4,00	8,85	-1,02	-2,10	-6,68	-12,56	-4,02	-2,81

Segundo Bernardo et al. (2005), permite-se uma variação de vazão entre o primeiro e o último aspersor de no máximo 10%. Em virtude da não-existência de um parâmetro para se avaliar o manejo da irrigação, adotou-se, neste estudo, o valor de $\pm 10\%$ como limitante para avaliar o manejo da irrigação, já que se tolera esse valor em projetos.

Em nenhuma das parcelas estudadas as variações médias das umidades estimadas pelo programa superaram $\pm 10\%$ no perfil de 0-60 cm. Entretanto, na camada de 35-60 das parcelas 3, 5 e 6 esse valor foi superado, chegando até -23,46% na parcela 5. Foi nesse sistema que se atingiu a maior variação média entre todos os sistemas (-9,24%), no perfil de 0-60 cm. Porém, quando se analisaram nas parcelas apenas as variações médias das umidades estimadas pelo programa Irriga-Gesai no perfil de 0-60 cm, foi observado que esses valores eram concordantes com os encontrados por outros autores, com exceção das parcelas 1 e 5.

Antunes (2001), trabalhando em Viçosa com cafeeiros em formação irrigados por gotejamento, encontrou uma variação média de 2,46% quando comparou os valores estimados pelo programa Sisda (precursor do Irriga-Gesai) com os valores de umidade do solo medidos pelo método-padrão de estufa, com variações que atingiram -10,55 a 10,57%. Soares (2001), em experimento realizado na mesma região, porém em uma lavoura cafeeira já adulta em produção e irrigada por gotejamento, verificou uma variação média de 2,5%, em comparação com os valores de umidade do solo pelo método-padrão de estufa.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A análise da qualidade da irrigação, no que se refere à avaliação da distribuição de água, é uma importante etapa para se permitir a melhora no uso eficiente da água na cafeicultura irrigada, e, juntamente com o manejo da irrigação, são fundamentais para a sustentabilidade da agricultura irrigada do oeste da Bahia.

Este trabalho foi dividido em dois estudos. O primeiro foi realizado em três etapas: em maio de 2003, junho e outubro/novembro de 2004, objetivando-se avaliar, de acordo com os parâmetros de engenharia, a uniformidade de distribuição de água dos sistemas de irrigação utilizados na região oeste da Bahia. Foram avaliados 27 sistemas de irrigação, sendo sete por gotejamento e 20 por pivô central, localizados em 12 propriedades de cafeicultores distribuídas em três municípios. Dos 20 sistemas de irrigação por pivô central, 11 eram equipados com emissores LEPA, cinco com emissores alternativos e quatro pivôs centrais convencionais. A escolha das propriedades e equipamentos a serem avaliados foi feita baseando-se em informações obtidas nas entidades que atuam na região, a exemplo da Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) e Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento do Oeste Baiano (FUNDAÇÃO BA), seguindo critérios de representatividade quanto à área, à produção e aos sistemas de irrigação utilizados, entre outros.

O segundo estudo foi conduzido na Fazenda Lagoa do Oeste, município de Barreiras, BA, com o objetivo de comparar o manejo da irrigação baseado

nas informações meteorológicas, utilizando-se o programa Irriga-Gesai com um método de estimativa da umidade do solo em condições de pivô central e gotejamento, no período de setembro a novembro de 2003.

Dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Dois pivôs, ou seja, 10% dos pivôs centrais avaliados, apresentaram valores de CUC considerados inadequados.
- Apenas um sistema de irrigação localizada por gotejamento avaliado apresentou o CUD considerado inaceitável.
- O valor médio de CUD encontrado durante as avaliações, no sistema de irrigação por pivô equipado com emissores LEPA, foi superior ao valor apresentado pelo sistema de gotejamento.
- Os pivôs centrais de aplicação localizada apresentaram valores de uniformidade superiores aos dos pivôs centrais convencionais, sendo os pivôs centrais equipados com emissores LEPA, que exibiram os valores superiores de CUC e CUD.
- A avaliação de vazão de apenas 10% dos emissores de pivôs de aplicação localizada não é satisfatória para a determinação do CUC.
- A utilização do programa Irriga-Gesai é uma boa alternativa ao manejo diário das irrigações, porque, além de possuir maior operacionalidade que os tensiômetros, gerou resultados satisfatórios das estimativas das umidades do solo, sob irrigação por diferentes métodos, nas condições de clima e solo da região oeste da Bahia.

6. SUGESTÕES

Em função dos resultados apresentados e da inexistência de classificação das uniformidades de aplicação de água adequadas para o funcionamento do pivô central de aplicação localizada, principalmente LEPA e alternativo, sugere-se trabalhar com valores de CUC e CUD sempre superiores a 85 e 80%, respectivamente. Valores desses coeficientes inferiores a 80 e 70%, respectivamente, já podem ser considerados inadequados.

Embora estatisticamente se utilize a recomendação de avaliar no mínimo 25% dos emissores em pivôs de aplicação localizada, como recomendação prática prevalece a avaliação de 100% dos emissores, já que o tempo gasto para avaliar 25% dos emissores é muito próximo daquele para avaliar 100% destes, uma vez que normalmente se realiza a avaliação com o pivô em movimento e gasta-se mais tempo atravessando as linhas de café do que propriamente coletando as vazões dos emissores. Vale ressaltar que, avaliando a totalidade dos emissores, percebem-se alterações na lâmina aplicada por emissor, facilitando, assim, a sua manutenção correta.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Operacional estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal*, Madison, v. 81, n. 4, p. 650-662, 1989.

ALLEN, R. G. et al. *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. FAO – Irrigation and Drainage. Rome: FAO, 1998. 319 p. (Paper 56).

ANDRADE, A.R.S. et al. Influencia do tempo de contagem na determinação da densidade de nêutrons. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 411-415, 2001.

ANTUNES, R.C.B. et al. Manejo da irrigação em cafeeiros novos e em produção utilizando o software SISDA 3. Trabalhos apresentados no IV Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, Araguari-MG, pela Equipe da Universidade Federal de Viçosa. *Resumos Expandidos...* Araguari, MG: 2001. p. 78-83.

ASAE S436.1. Test Procedure for determining the uniformity of water distribution of center pivot and lateral move irrigation machines equipped with spray or sprinkler nozzles. *ASAE Standards*, St. Joseph, p. 905-912, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *Sistema de irrigação por aspersão pivô central, caracterização de desempenho – Método de ensaio*. 1º Projeto de Normas. Rio de Janeiro, 1985. 22 p.

ASSOCIAÇÃO DOS AGRICULTORES E IRRIGANTES DO OESTE DA BAHIA – AIBA. *4º Anuário de Pesquisas da Cafeicultura Irrigada do Oeste da Bahia*. Barreiras, BA, 2004. 70 p.

ASSOCIAÇÃO DOS AGRICULTORES E IRRIGANTES DO OESTE DA BAHIA – AIBA. 5^o *Anuário de Pesquisas da Cafeicultura Irrigada do Oeste da Bahia*. Barreiras, BA, 2005. 62 p.

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

BESSA JUNIOR, A. A.; MARTIN, N. B. Custos e rentabilidade na cultura do café. *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 22, n. 7, p. 30-35, jul. 2002.

BOARETTI, W. A. *Comparação entre métodos tradicionais de manejo de irrigação e o SISDA: um estudo de caso considerando os aspectos econômicos e ambientais para a cultura da banana no distrito de irrigação do Gorutuba – MG*. Viçosa, MG: UFV, 2001. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BONOMO, R. *Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais*. Viçosa, MG: UFV, 1999. 224 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; MANTOVANI, E. C. Desenvolvimento de um programa para avaliação da irrigação por sistemas pressurizados. Trabalhos apresentados no IV Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, Araguari-MG, pela Equipe da Universidade Federal de Viçosa – *Resumos Expandidos...* Araguari, MG, 2001. p. 42-48.

CAMP, C. R.; SADLER, E. J.; BUSSCHER, W. J. A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 40, n. 4, p. 1013-1020, 1997.

CHICOTA, R. *Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo*. Piracicaba, SP: ESALQ, 2003, 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CHRISTIANSEN, J. E. *Irrigation by sprinkling*. Berkley: University of California, 1942. 124 p. (Bull, 670).

CHRISTOFIDIS, D. *Área irrigada Brasil x Mundo*. Disponível em: <http://www.valmont.com.br/valley/mestre/irrig_mundo_e_brasil.pdf>. Acessado em: 28 jun. 05.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. *Safra de café 2005-2006 – Segundo levantamento Abril/2005*. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/download/safra/3_levantamento_safra_cafe_2005_06.doc>. Acesso em: 28 jun. 05.

DENÍCULI, W. et al. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Ceres*, v. 27, n. 50, p. 155-162, 1980.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Relatório de gestão*. Consócio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Embrapa. Brasília, 2004. 131 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Relatório da estimativa da safra cafeeira no Brasil safra 1999/2000*. Consócio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – Embrapa. Brasília, 1999. 6 p.

FACCIOLI, G. G. Estações meteorológicas automáticas e instrumentos de vigilância eletrônica ao alcance de todos. In: MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. (Eds.). WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE MANEJO INTEGRADO DAS CULTURAS E RECURSOS HÍDRICOS, 1. *Resumos...* Brasília, 1998. p. 141-153.

FARIA, M.A. de; REZENDE, F.A. *Irrigação na cafeicultura*. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 1997. 75 p.

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.

FERNANDES, A.L.T. et al. Deficiência hídrica e uso de granulados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 4, n. 3, p. 376-381, 2000.

FIPPS, G.; NEW, L.L. Six years of LEPA in Texas – Less water, high yields. In: Vision of the future. *Proceedings of the Third National Irrigation Symposium*, St. Joseph, MI: ASAE, 1990. p. 115-120.

FURUKAWA, C. et al. Avaliação da irrigação por pivô central na região de Rio Verde, Goiás. *Revista Ceres*, v. 41, n. 233, p. 36-49, 1994.

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

HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 11, n. 1, p. 11-5, 1968.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. *Sprinkle 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. et al. *Riego localizado*. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405 p.

LYLE, W.M.; BORDOVSKY, J. P. Low energy precision application (LEPA) irrigation system. *Transactions of the ASAE*, v. 24, p. 1241-1245, 1981.

LYLE, W.M.; BORDOVSKY, J.P. LEPA irrigation system evaluation. *Transactions of the ASAE*, v. 26, p. 776-781, 1983.

MANTOVANI, E. C. Cafeicultura irrigada: bases tecnológicas para sustentabilidade. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. *Palestras...* Brasília: Embrapa Café, 2002. p. 45-81.

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Manejo da irrigação. In: COSTA, E. F. da; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. *Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação*. Brasília: Embrapa, SPI, 1994. p.129-158.

MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; MUDRIK, A. S. Irrigação do cafeeiro – em que condições a irrigação é necessária e como irrigá-lo nestas condições? In: ZAMBOLIM, L. *Produção integrada de Café*. Viçosa, MG: UFV, 2003. p. 279-317.

MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. *Manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos*. Workshop internacional sobre manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos. Brasília: SRH/MMA – DEA-UFV, 1998. 154 p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. *Manejo da irrigação em hortaliças*. 5. ed. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 72 p.

MATIELLO, J.B. *O café – Do cultivo ao consumo*. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

MATIELLO, J.B.; GARCIA, A.W.R.; FIORAVANTE, N. Efeito da Irrigação por aspersão em cafeeiros Cultivados em Varginha-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 30^o, 2004, São Lourenço. *Anais...* São Lourenço, MG, 2004. p. 54-55.

MATIELLO, J.B. et al. *Cultura de café no Brasil – Novo manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ – Fundação PROCAFÉ, 2002. 387 p.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 77-80, 1981.

NEW, L. L.; FIPPS, G. Lepa conversion and management. *Texas Agricultural Extension Service B-1691*. Texas A&M University System, 1990.

PIZARRO CABELLO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión e exudación*. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

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

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

SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T. *Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central*. Belo Horizonte: O Lutador, 2002. 251 p.

SCALCO, M.S. et al. Produtividade do cafeeiro irrigado sob diferentes critérios com várias densidades de plantio, na Região de Lavras/MG. *Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira – Coffea*, Varginha, v. 1, n. 3, p. 18-21, 2004.

SCHNEIDER, A.D.; HOWELL, T.A. Grain sorghum response to sprinkler application methods and system capacity. *Transactions of the ASAE*, v. 38, n. 6, 1693-1697, 1995.

SILVA, A. M. et al. Efeito da Época de Irrigação Sobre a Produtividade do Cafeeiro ‘Catuaí’ em 4 safras consecutivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari, MG. *Anais...* Uberlândia, MG: ICIAG/UFU, 2002. p. 89-93.

SIMÃO, F.R. et al. Comparação da evapotranspiração de referência obtida pelo tanque “Classe A” e pela equação de Penman-Monteith nas condições da região norte de Minas Gerais. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro. *Resumos...* Juazeiro, BA: CONIRD, 2003. 9 p.

SOARES, A. A. et al. Manejo da Irrigação utilizando o SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola) na região de Araçuaí, Vale do Jequitinhonha. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 450-459, 2003.

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

SOARES, A. R. *Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção em cafeeiros adultos na região da Zona da Mata de Minas Gerais*. Viçosa, MG: UFV, 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOLOMON, K. H. *Sprinkler irrigation uniformity*. Fresno: California State University, 1990. 15 p. (Irrigation notes).

SOUSA, M. B. A. *Análise técnica de sistemas de irrigação por pivô central utilizados na cafeicultura irrigada do Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia*. Viçosa, MG: UFV, 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOUZA, L. O. C. *Análise técnica de sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na cafeicultura irrigada*. Viçosa, MG: UFV, 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; SILVA, J. G. Avaliação de modelo computacional para manejo da irrigação do feijoeiro, em condições de plantio direto e preparo convencional do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. *Anais...Fortaleza*, 2001. p. 38-42.

TARJUELO MARTÍN-BENITO, J. M. *El riego por aspersion y su tecnologia*. Madri: Mundi-Prensa, 1995. 491 p.

TEIXEIRA, M.B. *Desenvolvimento de um dispositivo de medição de vazão e de metodologia para avaliação por pivô central equipado com LEPA*. Viçosa, MG: UFV, 2003. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

YAZAR, A.; SEZEN, S.M.; SESVEREN, S. LEPA and trickle irrigation of cotton in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Agricultural Water Management*, n. 54, p. 189-203, 2002.