

MAURICIO BONATTO ALVES DE SOUSA

**ANÁLISE TÉCNICA DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL
UTILIZADOS NA CAFEICULTURA IRRIGADA DO NORTE DO ESPÍRITO
SANTO E EXTREMO SUL DA BAHIA**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2001**

À Fá e Gabi.

Dedico.

Aos meus pais Haroldo e Rina.

Ofereço.

AGRADECIMENTO

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

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

Aos meus pais e meus irmãos, pelo incentivo em buscar novos conhecimentos, pela amizade e pelo apoio em todos os momentos.

À minha filha Gabriela e sua mãe Fabiana por tudo que elas representam na minha vida.

‘As “Carmens” Rita, Silvia, Lucia e Célia por todo o apoio e carinho em todos os momentos.

Ao meu amigo Everardo Chartuni Mantovani, por todas as oportunidades concedidas, pelos ensinamentos valiosos em todos os âmbitos, pela sua amizade e por acreditar em mim.

Ao pesquisador José Geraldo Ferreira da Silva, pela sua orientação e dedicação no desenvolvimento dos trabalhos, por sua ajuda fundamental nos trabalhos de campo e por sua amizade.

Ao professor Antônio Alves Soares, pela colaboração e assistência durante os trabalhos e pela paciência e amizade.

Aos professores Rubens Alves de Oliveira, Márcio Motta Ramos e o pesquisador Maurício Bernardes Coelho pelos ensinamentos e colaboração.

Aos colegas Élio Cordeiro e Vinícius Bufon pela colaboração nos trabalhos de campo e pelo companheirismo.

Aos meus amigos do Projeto Café Luís Otávio, Rodrigo Lulão, Robson Bonomo, Adilson Soares e Gustavo Haddad, pelo incentivo e colaboração.

Aos amigos Gregório Faccioli e Roberta Gonçalves pela convivência diária, pela ajuda nos momentos difíceis e pela amizade sincera

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

A todos os colegas do DEA pela amizade e pela oportunidade da convivência diária.

BIOGRAFIA

Maurício Bonatto Alves de Sousa, filho de Haroldo Silva Alves de Sousa e Rinamaria Bonatto Alves de Sousa, nasceu em 22 de setembro de 1970, em São Paulo, SP.

Em 1990, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, graduando-se em julho de 1997.

Em agosto de 1997, foi bolsista de aperfeiçoamento em irrigação no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, como bolsista da FAPEMIG, concluindo-o em outubro de 1998.

Em agosto de 1999, iniciou o programa de Pós-Graduação, em nível de mestrado, em Irrigação e Drenagem no Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, submetendo-se a defesa de tese em junho de 2001. Neste mesmo período, foi bolsista do Programa Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café vinculado ao Consórcio Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café.

INDICE

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. O café.....	4
2.2. Irrigação por aspersão.....	6
2.3. Manejo de irrigação.....	9
2.4. Uniformidade de aplicação de água.....	11
2.5. Parâmetros de desempenho.....	15
2.6. Os programas computacionais.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Localização e caracterização dos sistemas avaliados.....	19
3.2. Uniformidade de aplicação de água.....	20
3.3. Avaliação de irrigação.....	22
3.3.1 Avaliação de manejo utilizando o programa computacional SISDA.....	28

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Detalhes técnicos dos sistemas avaliados.....	30
4.2. Uniformidade de aplicação de água.....	31
4.3. Manejo de irrigação.....	40
4.3.1. Parâmetros de desempenho de irrigação.....	44
4.3.2. Análise do manejo utilizando-se o software SISDA 3.0.....	55
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
APÊNDICES.....	73

RESUMO

SOUSA, M. B. A., M.S., Universidade federal de Viçosa, junho de 2001.
Análise técnica de sistemas de irrigação por pivô central utilizados na cafeicultura irrigada do Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia.
Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Antônio Alves Soares e José Geraldo Ferreira da Silva.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo geral de analisar tecnicamente a cafeicultura irrigada por pivô central na região Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia. O trabalho foi dividido em três etapas na primeira avaliou-se a uniformidade de aplicação de água de dez sistemas de irrigação por pivô central, distribuídos em seis municípios, sendo determinado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de cada sistema. Dentre os dez pivôs avaliados, dois deles (20% dos casos), apresentaram problemas de uniformidade de aplicação de água, resultados estes que podem ser considerados satisfatórios, se considerarmos que foram avaliados pivôs com até quinze anos de uso. Em uma segunda etapa, três propriedades, dentre as dez avaliadas, foram utilizadas para estudar o manejo de irrigação adotado, analisando-se a lâmina aplicada e o momento da irrigação.

Para isto foram feitas três avaliações consecutivas de manejo em cada uma destas propriedades, determinando-se a umidade do solo antes da irrigação e a lâmina aplicada pelo sistema. Em todas as propriedades avaliadas nesta etapa foram detectadas falhas no manejo de irrigação adotado, com atraso nas irrigações e lâminas aplicadas inferiores às lâminas requeridas, proporcionando elevados valores de déficit. Na terceira etapa, complementando o estudo anterior, foi feito um acompanhamento do manejo de irrigação em outras três propriedades selecionadas, durante o período de um ano, utilizando-se para isto dados meteorológicos de estações locais e o programa computacional SISDA 3.0. Foram detectadas falhas no manejo de irrigação nas três propriedades avaliadas, com déficits hídricos acentuados em importantes fases da cultura. Apesar disto as produtividades obtidas em cada propriedade foram satisfatórias, devido principalmente à boa distribuição de chuvas na região durante o período de estudo, embora a aplicação adequada da água pudesse ter elevado estas produtividades, sendo necessário, no entanto, estudos posteriores para quantificar estas perdas.

ABSTRACT

SOUSA, M. B. A., M.S., Universidade Federal de Viçosa, June, 2001 **Technical analysis of irrigation systems for central pivot used in the irrigated coffee crop of Espírito Santo North and Extremo Sul of Bahia.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee Members: Antônio Alves Soares e José Geraldo Ferreira da Silva.

The present work was developed with the general objective of analyzing the coffee crop irrigated by central pivot in Espírito Santo North area and Extremo Sul of Bahia technically. The work was divided in three stages in the first the uniformity of application of water of ten irrigation systems it was evaluated by central pivot, distributed in six municipal districts, being determined the coefficient of uniformity of Christiansen (CUC) and the coefficient of distribution uniformity (CUD) of each system. Among the ten appraised pivots, two of them (20% of the cases), they presented problems of uniformity of application of water, results these that can be considered satisfactory, if we consider that were appraised pivots with up to fifteen years of use. In a second stage, three properties, among the ten appraised, they were used to study the adopted irrigation handling, studying the applied depth and the moment of the irrigation.

For this they were made three serial evaluations of handling in each one of these properties, being determined the humidity of the soil before the irrigation and the depth applied by the system. In all the properties evaluated in this stage flaws they were detected in the adopted irrigation handling, with delay in the irrigations and depths applied inferior to the requested depths, providing high deficit values. In the third stage, complementing the previous study, it was made an accompaniment of the irrigation handling in another three selected properties, during the period of one year, being used for this meteorological data of local stations and the software SISDA 3.0. flaws were detected in the irrigation handling in the three appraised properties, with deficits of water accentuated in important phases of the culture. In spite of this the productivities obtained in each property were satisfactory, owed mainly to the good distribution of rains in the area during the study period, although the adapted application of the water could have elevated these productivities, being necessary, however, posterior studies to quantify these losses.

1. INTRODUÇÃO

O cultivo do café tem sido uma das mais importantes atividades agrícolas do Brasil, gerando divisas e riquezas para o país. Atualmente, os principais estados produtores, no que se refere à área plantada e produção são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Paraná, seguidos de Bahia e Rondônia, (SILVA E COSTA, 1995).

Com a expansão das fronteiras da cafeicultura para regiões anteriormente consideradas impróprias pelo elevado déficit hídrico, a utilização da irrigação se tornou fundamental no processo produtivo desta cultura.

Na agricultura irrigada, a utilização da água de maneira criteriosa e precisa é de fundamental importância, não só visando a otimização da produtividade e da qualidade final do produto, mas também objetivando-se fazer o uso adequado dos recursos hídricos, de forma a preservar o meio ambiente. Sendo assim, torna-se imprescindível à adoção de medidas que viabilizem o uso adequado da água disponível com ênfase na irrigação, procurando-se sempre melhor eficiência no uso da mesma.

Vários sistemas de irrigação podem ser utilizados na cafeicultura, destacando-se a irrigação localizada por gotejamento, irrigação por aspersão convencional, autopropelido, pivô central e sistemas simplificados com mangueiras perfuradas.

O sistema pivô central vem assumindo grande importância dentre os vários sistemas de irrigação existentes com rápida difusão nas várias regiões do país, já ocupando cerca de 20% da área irrigada no Brasil. Como os demais sistemas de irrigação, requer técnicas de manejo embasadas em informações relativas ao solo, clima, cultura e parâmetros de desempenho do sistema.

Para a adoção de uma estratégia de manejo de irrigação é fundamental que, inicialmente, seja feita uma avaliação de desempenho do sistema, uma vez que, baseado nestes resultados será possível ajustar a utilização do equipamento aos requerimentos hídricos da cultura considerando-se a eficiência e a uniformidade de aplicação de água do sistema, parâmetro de grande importância no sistema de irrigação por pivô central.

A baixa uniformidade de aplicação da lâmina de água sobre a área irrigada leva a resultados insatisfatórios, reduzindo a eficiência de aplicação do sistema, aumentando os custos com bombeamento e diminuindo a produtividade da cultura. Na irrigação por aspersão a uniformidade de distribuição de água é influenciada principalmente pelo perfil de distribuição do aspersor, pela relação entre a pressão e o diâmetro do bocal, pelo espaçamento entre aspersores, pela variação de pressão no sistema e pela velocidade e direção do vento.

Outro parâmetro importante, a eficiência de irrigação, é função das perdas de água que ocorrem durante a condução da mesma do ponto de captação à sua emissão na área de interesse; das perdas por evaporação e arraste; das perdas por escoamento superficial para fora da área irrigada e da percolação para baixo da zona radicular, estas causadas pelo excesso de água aplicado no solo e pela baixa uniformidade de aplicação de água.

Considerando o exposto, fica evidente a importância de se trabalhar com um sistema de irrigação que distribua água uniformemente na lavoura, bem como de se maneja-lo adequadamente. As regiões Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia, tradicionalmente conhecidas pela produção de café Conilon (*Coffea canephora cv.*), possuem extensas áreas desta cultura sendo irrigadas por sistemas do tipo pivô central, onde é expressivo o número

de irrigantes que trabalham com este tipo de equipamento fora dos padrões corretos de dimensionamento e/ou que não adotam qualquer técnica de manejo de irrigação.

Considerando a situação atual e com vista na implementação de um programa de orientação aos produtores, realizou-se este trabalho cujos objetivos gerais foram: avaliar a eficiência de aplicação de água de sistemas de irrigação por pivô central que estão sendo utilizados na cafeicultura irrigada no norte do Espírito Santo e sul da Bahia; caracterizar o manejo de irrigação adotado pelos produtores de café da região em questão que utilizam pivô central; quantificar as produtividades obtidas por estes cafeicultores relacionando estes resultados com as eficiências encontradas dos sistemas e com o manejo de irrigação adotados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O café

O Brasil é o maior produtor mundial de café e a sua importância sócio econômica para a nação se mostra ao longo de nossa história. Responsável pelo desenvolvimento de diversas regiões do nosso país, a atividade cafeeira é hoje fundamental para o mercado de trabalho brasileiro gerando mais de quatro milhões de empregos (MATIELLO, 1991).

Em nível mundial, a comercialização do café movimenta uma considerável soma em dinheiro, segundo MATIELLO (1991), este comércio se situa em segundo lugar internacionalmente, perdendo apenas para o petróleo. Cerca de doze a treze bilhões de dólares são gerados anualmente pelo café, através da exportação de mais de 60 milhões de sacas e do consumo interno de mais de 20 milhões pelos países produtores.

O grande benefício da cafeicultura no Brasil pode também ser avaliado no meio rural. São cerca de 320 mil propriedades, distribuídas em onze estados, em que o café é a principal fonte de renda. Em sua maioria, são pequenas propriedades exploradas pelos produtores que trabalham em regime de agricultura familiar (MATIELLO, 1991).

Segundo CHEVALIER (1947) e BRIDSON (1982) estão descritas cerca de cem espécies de café. Apesar deste número elevado, pouco se sabe a respeito do potencial comercial da maioria destas espécies e sobre seu possível aproveitamento nos planos de melhoramento. Dentre as espécies que existem, *C. arabica* (café arábica) e *C. canephora* (café robusta) são as de

maior cotação no mercado internacional, sendo que cerca de 70% do café negociado no mundo é de arábica e 30% de robusta.

O cultivar Conilon, que é o de interesse no presente trabalho, apresenta plantas de grande porte, com elevado número de hastes por planta (multicaule). O sistema radicular desta planta é mais volumoso e atinge maiores profundidades, mesmo em solos de maior densidade, conferindo a ela uma maior tolerância à seca e uma menor exigência em fertilidade. Porém, quando se trata de lavouras altamente tecnificadas com potencial produtivo acima de 100 sacas por hectare, as exigências hídricas e nutricionais passam a ser elevadas.

A área de cultivo do café Conilon se expandiu muito nos últimos anos, devido ao fato de suas lavouras serem mais resistentes, vigorosas, produtivas e menos exigentes em tratamentos, resultando em custos de produção menor e trazendo boa rentabilidade para o produtor. As regiões tradicionais de cultivo situam-se nas zonas baixas e quentes do estado do Espírito Santo e nas regiões vizinhas, no vale do Rio Doce, em Minas Gerais, no sul da Bahia e no norte do Rio de Janeiro. Mais recentemente, a cultura do Conilon atingiu a região amazônica, expandindo-se por Rondônia, Mato Grosso, Pará e Acre (MATIELLO, 1991).

A cafeicultura irrigada, presente em uma vasta extensão da cafeicultura nacional, surgiu com o avanço desta atividade para áreas com excelentes condições climáticas para a produção do café em quantidade e qualidade, mas que apresentam déficit hídrico em vários meses do ano. Destacam-se nestes casos, as regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba em Minas Gerais, Norte do Espírito Santo e as regiões sul e oeste da Bahia.

No período de 1985 a 1987 houve grande corrida para a irrigação de café conilon na região Norte do Espírito Santo, porém foi na década de 90 até o ano 2000 que os produtores, motivados pelos preços elevados do café, passaram a se utilizar maciçamente da irrigação na cafeicultura da região. Entretanto, face à ausência de resultados de pesquisa, a implantação e, principalmente, o manejo dos sistemas de irrigação foram realizados de forma empírica e desordenada, havendo, assim, a necessidade de se estudar o real benefício desta prática e as melhores alternativas de manejo (DADALTO e PREZOTTI, 1995).

Estimativas precisas das necessidades hídricas do cafeeiro são essenciais, uma vez que a falta de água pode reduzir de maneira expressiva o crescimento da planta, sem que a mesma mostre sinais de murchamento ou qualquer outro sintoma visível (GUTIERREZ e MEINZER, 1994).

A baixa pluviosidade e a distribuição irregular das chuvas ao longo dos anos (CAMARGO et al., 1987), são características da região Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia que, comprometem a produtividade da cafeicultura não irrigada na região.

Segundo MATIELLO (1991) a deficiência hídrica é prejudicial ao cafeeiro, principalmente na fase de frutificação, quando a irrigação passa a ser necessária. CAMARGO (1989) afirma que, nesta fase, deficiências hídricas elevadas afetam o crescimento dos grãos; se ocorrerem na fase de granação, quando os frutos estão se solidificando internamente, eles poderão ficar chochos ou mal granados. Nessas condições, a utilização da irrigação tem dado bons resultados. Além disto, outros autores verificaram o efeito positivo da irrigação no crescimento (MATIELLO e DANTAS, 1987; ZANINI et al., 1994) e na produção do cafeeiro (BARRETO et al., 1972; NJORGE, 1989; REIS et al., 1990). ARAÚJO (1982) constatou que a irrigação, além de ocasionar maior produtividade, possibilitou um produto de melhor tipo e bebida.

2.2. Irrigação por aspersão

Os sistemas de irrigação por aspersão objetivam aplicar a água sobre a superfície do solo, simulando uma condição de chuva, distribuída o mais uniformemente possível.

Os componentes básicos que formam o sistema são o conjunto motobomba, as tubulações e os emissores. Estes últimos podem ser tubos perfurados, difusores fixos ou aspersores. Eles operam sob pressão e lançam o jato d'água no ar, o qual é fracionado em gotas, caindo sobre o terreno em forma de chuva (BERNARDO, 1995).

O sistema de irrigação por pivô central foi desenvolvido no Colorado (EUA), em 1952, mas, até 1960, seu uso ainda não estava consolidado. A partir de 1961 é que começou a aumentar o uso do pivô central na irrigação. Na

década de 90 seu uso já está difundido na maioria dos países, existindo mais de quatro milhões de hectares irrigados por este sistema (BERNARDO, 1995).

Segundo KELLER e BLIESNER (1990), o sistema de irrigação por pivô central está entre os mais populares sistemas de irrigação utilizados na agricultura. Eles afirmam ainda que mais da metade das terras irrigadas por aspersão nos Estados Unidos são irrigadas por equipamentos deste tipo.

É um sistema de movimentação circular, autopropelido a energia hidráulica ou elétrica. É constituído, em geral, de uma linha com vários aspersores, de 200 a 800 metros de comprimento, com tubos de aço de acoplamento especial, suportada por torres dotadas de rodas, nas quais operam os dispositivos de propulsão do sistema, imprimindo à linha um movimento de rotação, em torno de um ponto ou pivô, que lhe serve de ancoragem e de tomada de água (BERNARDO, 1995).

Algumas das principais vantagens do sistema de irrigação por pivô central são: a possibilidade de se controlar o alinhamento e a direção de deslocamento do equipamento junto ao ponto pivô; a facilidade em se obter alta uniformidade de aplicação de água em baixo de aspersores que se movimentam continuamente; a baixa exigência de mão de obra; o fato de que depois de completada cada irrigação, o sistema está no local onde se iniciará a próxima irrigação; a facilidade no manejo de irrigação, uma vez que é preciso o tempo de aplicação de água do equipamento; a maior precisão e facilidade na aplicação de fertilizantes e outros produtos químicos através da água de irrigação (KELLER e BLIESNER, 1990). Como principal limitação deste tipo de sistema destaca-se o fato dele só poder ser utilizado em terrenos com declividade inferior a 15%

Na irrigação por pivô central, a pluviosidade cresce à medida em que se afasta do centro, uma vez que quanto mais extremo for um ponto de aplicação qualquer do equipamento, maior será a superfície por ele irrigada.

Também pode ser explicado o crescimento progressivo da pluviosidade desde o centro até o extremo da lateral pelo fato de que o tempo de aplicação da água em um ponto qualquer do terreno vai ficando cada vez menor à medida que se afasta do ponto pivô, e todos os pontos devem receber a mesma quantidade de água (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

De acordo com KINCAID e HEERMANN (1970), muitos sistemas tipo pivô central utilizam espaçamento uniforme entre aspersores, sendo que estes são selecionados de modo a proporcionar um aumento da vazão à medida que se aumenta a distância radial do ponto pivô. Neste equipamento, a pressão decresce do centro para a extremidade da linha lateral. Este é um fator indesejável, uma vez que, os maiores aspersores estão localizados na extremidade e requerem uma maior pressão de serviço em comparação com os das proximidades do pivô, de menor capacidade.

Na irrigação por aspersão, o fracionamento das gotas de água afeta diretamente no resultado final do processo. As gotas muito pequenas são facilmente arrastadas pelo vento, distorcendo o modelo de distribuição de água e aumentando a evaporação; as gotas maiores têm grande energia cinética, que é transferida para a superfície do solo, podendo romper os agregados e afetar a capacidade de infiltração causando o encrostamento superficial do solo (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

KINCAID e HEERMANN (1970) afirmam que o planejamento racional de qualquer sistema de irrigação por aspersão requer, entre outras informações, o conhecimento da distribuição da água aplicada, uma vez que a baixa uniformidade de distribuição pode levar a resultados insatisfatórios.

O vento, a umidade relativa do ar e a temperatura são os principais fatores climáticos que afetam o uso da irrigação por aspersão. O vento afeta a uniformidade de distribuição dos aspersores e, juntamente com a temperatura e a umidade relativa do ar, afeta a perda de água por evaporação (BERNARDO, 1995). KELLER (1979) cita que, em condições de baixa demanda evaporativa, as perdas por evaporação e arraste estão entre 5 e 10%, chegando a valores entre 30 e 40%, sob condições de alta demanda.

Segundo JENSEN (1983), os parâmetros do vento a serem considerados na irrigação por aspersão são velocidade e direção. A velocidade tende a aumentar com a altura acima da cultura ou do solo. Desta forma, quanto mais alto estiverem instalados os aspersores, maior será a distorção no modelo de distribuição, ocasionados pelo aumento da velocidade do vento e do maior tempo de permanência do jato na atmosfera, favorecendo a ação do vento. Porém Pair, citado pelo mesmo autor, trabalhando com vários sistemas

tipo pivô central, com a velocidade do vento variando entre 1,3 e 4,5 m/s, mostrou que este parâmetro tem pouca influência sobre o CUC. Em contrapartida ASSIS e CASTRO (1993), observaram que o vento provoca uma distorção no perfil de distribuição, em sistemas de pivô central de baixa pressão, através do arrastamento do jato de água, implicando em redução da uniformidade.

De acordo com SAAD et al. (1988), o planejamento de um sistema de irrigação tipo pivô central não deve ser realizado unicamente com dados de projeto fornecidos pelos fabricantes. Com base na avaliação de sete unidades de pivô central, os autores verificaram variações significativas entre as velocidades do sistema (real e de projeto), o que induz o usuário a aplicar uma determinada lâmina de água diferente daquela planejada.

Quando se vai selecionar e operar sistemas de irrigação, o custo de energia é um importante fator econômico a ser considerado (GYLLEY, 1984) e sua participação nos custos de produção elevou-se de 3 a 6% em 1980 para 20 a 25% em 1988 (NOGUEIRA, 1988).

Segundo SCALOPPI (1985), uma das práticas adotadas para economizar energia é a redução do volume de água aplicado, obtido por meio da determinação criteriosa da demanda hídrica da cultura, utilizando-se funções de produção, e do dimensionamento adequado do sistema, visando à obtenção de maiores índices de eficiência de aplicação de água. O mesmo autor afirmou que o pivô central é o que mais consome energia dentre todos os sistemas de irrigação, sendo superado apenas pelo sistema autopropelido. Porém, atualmente, esta situação foi modificada com a utilização de pivôs mais econômicos, com baixa pressão de serviço dotados, em sua maioria, de difusores. Além disto, foram desenvolvidos acessórios como o caso da LEPA que faz com que a aplicação de água seja mais localizada, sendo este mais um fator de economia de energia.

2.3. Manejo de irrigação

O manejo da água de irrigação está diretamente relacionado com as necessidades hídricas das culturas, com as características hidráulicas do sistema de irrigação selecionado e com a capacidade de retenção de água do

solo na profundidade efetiva da raiz de uma cultura específica (SOARES et al., 1998).

No Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não utiliza qualquer estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação. A aplicação da água de irrigação em excesso pode levar a poluição de rios, lagos e lençol freático, devido a lixiviação de elementos tóxicos e nutrientes, e em quantidade insuficiente, pode resultar em estresse hídrico da cultura e afetar o crescimento normal das plantas.

A programação adequada de um manejo de irrigação consiste em suprir integralmente as necessidades de água nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta. Existem diferentes procedimentos que podem ser adotados como critérios apropriados para realização do manejo da água de irrigação, sendo a maioria baseada em medidas do “status” da água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera (JAMES, 1988).

BERNARDO (1995) afirma que o manejo racional de qualquer projeto de irrigação deve considerar os aspectos sociais e ecológicos da região e procurar maximizar a produtividade e a eficiência do uso da água mantendo-se as condições de umidade do solo e de fitossanidade favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada.

Segundo SILVA et al. (1998), os benefícios da irrigação para determinada cultura só podem ser alcançados em toda sua plenitude quando o sistema de irrigação for utilizado com critérios de manejo que resultem em aplicações de água em quantidades compatíveis com as necessidades de consumo da cultura. O mesmo autor afirma, ainda, que a base de qualquer estratégia de manejo de irrigação está alicerçada nas curvas de consumo de água das culturas. O consumo de água de uma cultura é função direta da demanda evapotranspirométrica local, do conteúdo de água presente no solo e da capacidade da planta à perda de água através das folhas. Além disto ele afirma, também, que a determinação do momento exato para efetuar a irrigação é um dos passos fundamentais para racionalização do manejo de água na agricultura irrigada.

Apesar da disponibilidade de vários métodos de manejo, os irrigantes não têm sido muito receptivos a qualquer método em particular. Segundo JENSEN (1983), os principais fatores que colaboram para que isto ocorra são:

o custo da água de irrigação é muito baixo, comparado ao custo de implantação de um programa de manejo; a redução da produtividade por atraso na irrigação, por fertilização imprópria e por irrigação excessiva não pode ser facilmente reconhecida e quantificada.

De um modo geral, o consumo de água pelas plantas refere-se a água perdida pela planta (transpiração) e pela superfície do solo e das folhas (evaporação), mais a água retida nos tecidos vegetais.

O estudo detalhado dos elementos climáticos, tais como umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade e direção do vento são extremamente importantes para o cálculo da evapotranspiração de referência do local considerado, que servirá de base para o cálculo do consumo de água da cultura.

Inúmeras técnicas de medida e modelos de estimativa da evapotranspiração têm sido sugeridas, testadas e aplicadas. Os modelos variam desde fórmulas complexas, baseadas em processos físicos que controlam a evaporação e a transpiração, até correlações simples entre a evapotranspiração medida e a temperatura do ar, radiação solar e gradiente de temperatura entre a folhagem e o ar.

O modelo de Penman-Monteith tem sido utilizado com sucesso na estimativa da evapotranspiração das culturas e de florestas, sendo por isto considerado padrão para este tipo de determinação; porém, também se destaca como um dos modelos mais complexos (BONOMO, 1999).

2.4. Uniformidade de aplicação de água

A uniformidade de aplicação de água influencia diretamente a produtividade da cultura e a energia gasta no bombeamento da água. A produtividade tende a aumentar com a uniformidade de irrigação (SOARES et al., 1993).

O fator climático que exerce maior influência na uniformidade de aplicação de água, em sistemas de irrigação por aspersão, é o vento. Porém o sistema pivô central apresenta vantagens, sob condições de vento, sobre os demais sistemas fixos de aspersão. Primeiro, a linha lateral se movimenta continuamente, representando um número infinito de posições ao longo de sua

trajetória e, portanto, cada ponto será irrigado normalmente sob distintas condições de vento em irrigações sucessivas, compensando-se as distorções produzidas pelo mesmo. Segundo, os aspersores estão separados por distâncias relativamente pequenas, permitindo uma boa sobreposição de água entre os perfis de distribuição dos mesmos. Por causa da rotação do sistema, o efeito prejudicial do vento no perfil de distribuição é reduzido (JENSEN, 1983). Entretanto, nestes sistemas os aspersores situam-se mais altos em relação à superfície do solo, em comparação com os sistemas estacionários, estando mais sujeitos a ação do vento (TARJUELO MARTÍN-BENITO, 1995).

SANTOS (1988), trabalhando com pivô central de baixa pressão, encontrou, em geral, valores de CUC acima de 80% e de CUD acima de 75%.

Existem várias equações para se calcular a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação estando a equação de Christiansen, proposta por CHRISTIANSEN (1942) e a Equação de Uniformidade de Distribuição, ambas de interesse no presente trabalho, entre as mais usadas.

Christiansen, citado por BONOMO (1999), foi o primeiro pesquisador a propor um coeficiente para caracterizar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é expresso da seguinte forma:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - L_m|}{nL_m} \right) \quad (01)$$

Em que

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %

L_i - lâmina coletada no ponto i , mm;

L_m - lâmina média, considerando todos os coletores, mm; e

n - número de coletores.

Segundo a ABNT (1985) uma forma de analisar a distribuição de água é examinando a uniformidade na porção da área irrigada que recebe menor quantidade de água proveniente da irrigação. O coeficiente de uniformidade de distribuição, 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, conforme mostra a equação (02). Um baixo valor de CUD indica que uma excessiva perda por percolação profunda ocorreria se toda a área recebesse uma lâmina maior ou igual à real necessária.

$$CUD = 100 \left(\frac{L_{1/4}}{L_m} \right) \quad (02)$$

Em que

CUD - Coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$L_{1/4}$ - lâmina média de 1/4 do total de pluviômetros com as menores lâminas, mm; e

L_m - lâmina média considerando todos os coletores, mm.

O valor de CUC geralmente concede maior valor de uniformidade para uma distribuição de irrigação que o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). De acordo com Burt et al. (1997), citado por BONOMO (1999) por esta e outras razões, o CUD vem sendo cada vez mais adotado em várias partes do mundo.

Para a condição em que a distribuição de água segue a distribuição normal, KELLER e BLIESNER (1991) apresentam a seguinte relação entre o CUC e o CUD: $CUC \cong 100 - 0,63 (100 - CUD)$

Segundo BERNARDO (1995), para o sistema pivô central, é recomendado um CUC maior ou igual a 88% para culturas com alto valor comercial ou sistema radicular raso; um CUC entre 80 e 90% para cultivar com sistema radicular médio e um CUC de 75 a 85% para cultivares com sistema radicular profundo. O valor mínimo recomendado para o CUD, em sistemas do tipo pivô central, é de 70%.

TARJUELO MARTÍN-BENITO (1995), afirma que um fator a ser considerado no manejo de sistemas por aspersão é a freqüente redução da velocidade do vento durante a noite. Por isso, é aconselhável alternar as irrigações diurnas e noturnas para uma mesma posição, a fim de aumentar a uniformidade de aplicação de água acumulada de várias irrigações.

A equação do CUC foi modificada por HEERMANN e HEIN (1968), para avaliar sistemas de irrigação por pivô central, uma vez que, neste tipo de avaliação os coletores colocados ao longo do raio do pivô não representam uma mesma área, havendo então a necessidade de uma ponderação das lâminas coletadas em relação à área representada por cada coletor. Sendo assim a equação se apresenta da seguinte forma:

$$CUC_p = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| Li - \frac{\sum_{i=1}^n LiSi}{\sum_{i=1}^n Si} \right|}{\sum_{i=1}^n LiSi} \right) \quad (03)$$

Em que

Li – lâmina coletada no ponto i, mm;

Si – distância do centro de rotação ao ponto i, m; e

n – número total de pontos

Como ocorre com o CUC, o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) também foi ajustado para os sistemas de irrigação do tipo pivô central. Neste caso a equação 2 modifica-se para a seguinte forma:

$$CUD_p = 100 \left(\frac{\frac{\sum_{i=p}^q LiSi}{\sum_{i=p}^q Si}}{\frac{\sum_{i=1}^n LiSi}{\sum_{i=1}^n Si}} \right) \quad (4)$$

Em que

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

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

Segundo BONOMO (1999), outro fator importante que deve ser considerado na avaliação da uniformidade de distribuição de água, por um

sistema de irrigação, está relacionado à redistribuição da água aplicada que ocorre no perfil do solo. ROCHA et al. (1998) observaram, em ensaio de campo, pequenas variações nos elevados coeficientes de uniformidade no perfil do solo ao longo do tempo, após o término da irrigação, mesmo quando a uniformidade superficial foi aquém da convencionalmente aceitável, mostrando o efeito positivo da redistribuição da água no perfil do solo na uniformidade subsuperficial.

2.5. Parâmetros de desempenho

Sendo o propósito básico da irrigação fornecer água às plantas, à medida que elas necessitam, para que se obtenha ótima produção em quantidade e qualidade, deve-se irrigar antes que a razão entre a quantidade de água no solo e a quantidade de demanda pela evapotranspiração diminua muito (BERNARDO, 1995). Sendo assim, fica clara a importância de se precisar o momento certo de executar a irrigação, que será dependente do fator de disponibilidade de água no solo, previamente estabelecido, que indica o teor mínimo de umidade que o solo pode atingir durante o ciclo da cultura.

Outro fator importante a ser considerado, quando analisa-se a qualidade da irrigação, é a quantidade de água que está sendo aplicada. A razão entre a água evapotranspirada pela cultura e a aplicada pela irrigação deve aproximar-se de um, para que se tenha máxima eficiência de uso e de aplicação de água. Esta razão exercerá influência direta sobre outro parâmetro de desempenho importante que é a eficiência de aplicação de água no solo (E_a), sendo esta definida como a razão média entre a lâmina de água armazenada na zona radicular e a lâmina média de água aplicada (MERRIAM et al., 1983). Porém, a eficiência de aplicação fornece apenas uma idéia das perdas, já que mostra a fração da água aplicada que é armazenada na zona radicular. Em consequência, a E_a não indica se a irrigação foi ideal, pois, em condições de irrigação deficiente, poderá chegar a valores de até 100%.

Um importante parâmetro a ser considerado na avaliação de irrigação, é a porcentagem de área adequadamente irrigada. Conceitualmente, considera-se uma área adequadamente irrigada como sendo a porcentagem da

superfície irrigada que durante o evento da irrigação recebe uma quantidade de água igual ou maior que a lâmina real necessária, podendo ser externada por meio da eficiência de distribuição (KELLER e BLIESNER, 1990).

A eficiência em potencial de aplicação de água (EPa), outro parâmetro de importância, representa a razão entre a lâmina coletada e a lâmina aplicada indicando as perdas por evaporação direta e arraste pelo vento.

A determinação da eficiência em potencial de aplicação diretamente no campo, proposta por Bernardo, fornece um valor momentâneo para as condições em que o teste foi realizado. A metodologia descrita por Keller e Bliesner, permite a estimativa da EPa para as condições médias do dia da avaliação, representando um valor mais abrangente das condições gerais (BONOMO, 1999).

2.6. Os programas computacionais

A utilização, de uma forma concisa e objetiva, do conhecimento sobre o efeito das variações climáticas de longo prazo e das variações meteorológicas de curto prazo nas atividades agrícolas são fundamentais para o entendimento e planejamento do sistema produtivo (COSTA, 1998). Programas de computador podem ser boas ferramentas para resolver estes problemas.

No presente trabalho, foram utilizados dois programas computacionais que auxiliaram na análise dos dados obtidos nos trabalhos de campo. O primeiro deles, de nome Avalia 1.0, permite ao usuário avaliar sistemas de irrigação por aspersão dos tipos aspersão convencional, autopropelido ou pivô central, e sistemas de irrigação localizada dos tipos microaspersão, gotejamento ou tubos de polietileno flexível perfurado. Com base em dados de testes de campo, tais 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, disposição do sistema de irrigação no campo, entre outros, se faz a avaliação da uniformidade de aplicação de água pelos sistemas e a avaliação de desempenho da irrigação (BORGES JÚNIOR e MANTOVANI, 2001).

O outro programa computacional utilizado no presente trabalho foi o SISDA – 3.0 (Sistema de Suporte a Decisão Agrícola). O programa foi

desenvolvido com parceria entre a Secretaria de Recursos Hídricos/MMA e o Departamento de Engenharia Agrícola/UFV e tem como principal objetivo auxiliar no manejo da irrigação, pois através do cadastramento dos fatores que compõem o sistema solo-água-planta-atmosfera, calcula a evapotranspiração e o balanço de água no solo, fornecendo recomendações de quanto e quando irrigar. Na concepção do sistema consideraram-se os seguintes aspectos fundamentais: rigor científico sem perder de vista a praticidade na utilização; sistema de fácil comunicação e interação com o usuário, tanto do ponto de vista do manuseio do programa quanto das informações, resultados e serviços prestados; gerenciamento integrado dos recursos hídricos, com visão ampla dos aspectos água, solo, clima, planta (fitotecnia e fitopatologia), e sistemas de irrigação.

O sistema é apresentado em CD-ROM, desenvolvido em linguagem DELPHI 3.0, para Windows 95 / NT, ou posterior, de fácil instalação, cuja concepção técnica envolveu especialistas das áreas de agrometeorologia, manejo e engenharia de irrigação, solos, fitopatologia, fitotecnia e informática, sendo utilizadas interfaces intuitivas tornando o sistema amigável e de fácil uso.

O Sisda foi desenvolvido com base em dois objetivos: manejo e simulação. No módulo manejo, o usuário alimenta periodicamente o programa com as informações climáticas, e o sistema calcula a disponibilidade atual de água para a cultura, fornecendo relatórios, gráficos e orientações padronizadas e personalizadas. Considerando uma base histórica de dados climáticos disponíveis no programa, o sistema faz a previsão de chuva e orienta o usuário quanto ao momento de irrigar e quanto à lâmina de água a ser aplicada, diminuindo as chances de perdas de água por aplicações desnecessárias. Tais previsões são úteis para outras aplicações como planejamento de pulverizações, tratamentos preventivos, preparo do solo e colheita.

Na simulação o usuário define para uma determinada cultura, as condições a serem simuladas, como época de plantio e localidade. A partir disto o sistema gera uma base de dados correspondente ao consumo de água, déficit hídrico, probabilidade de doenças e duração do ciclo da cultura.

O software dispõe de um banco de dados climáticos abrangendo todo território nacional. Usando um mapa do Brasil, o usuário acessa uma base de

8834 localidades, identificando aquela em que está localizado o projeto, e imediatamente o programa identifica a latitude, longitude e altitude do local. Além disso, identifica as estações meteorológicas mais próximas, para que o usuário selecione uma ou mais estações para o cálculo da evapotranspiração. O programa permite também ajustar o valor da umidade do solo obtida com o cálculo diário do balanço hídrico, com o valor obtido em medições no campo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização dos sistemas avaliados

Este trabalho foi realizado no período de julho a agosto de 2000, onde foram avaliados dez sistemas de irrigação por pivô central localizados em dez distintas propriedades de cafeicultores distribuídas nas regiões Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia.

A escolha das propriedades avaliadas foi feita baseando-se em informações obtidas junto ao IBGE e a outras entidades que atuam na área em questão como INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural) e EBDA (Empresa Baiana de Desenvolvimento Agropecuário), tendo sido feito um levantamento relacionado com a distribuição da produção de café entre os municípios da região em estudo, sendo posteriormente selecionadas as propriedades que foram avaliadas, seguindo critérios relacionados com a representatividade quanto à área, ao emprego de irrigação, a produção dentre outros.

No Quadro 1 são apresentados a localização dos pivôs, fabricante e os dados gerais da área de cada sistema avaliado. As avaliações foram feitas em seis municípios diferentes da região em questão, sendo um deles no Extremo Sul da Bahia e os outros cinco no Norte do Espírito Santo. Observa-se que a maioria dos pivôs é da marca Carborundum, pois é deste fabricante a maior parte dos pivôs em atividade na região, que estão sendo utilizados na cafeicultura. Os tamanhos dos pivôs avaliados foram os mais variados

possíveis, com equipamentos que irrigam uma área de 15 ha até sistemas que irrigam mais de 100 ha.

Quadro 1 – Localização, fabricante, área total irrigada pelo equipamento, área irrigada cultivada com café e idade da lavoura para cada sistema

Equipamento	Localização	Fabricante	Área irrigada (ha)	Área com café (ha)	Idade da lavoura (anos)
Pivô 1	N. Viçosa (BA)	Carborundum	100,3	100,3	3,0
Pivô 2	Pinheiros (ES)	Carborundum	50,0	50,0	1,5
Pivô 3	Jaguaré (ES)	Asbrasil	45,0	45,0	5,0
Pivô 4	Jaguaré (ES)	Esco	28,0	28,0	3,0
Pivô 5	Jaguaré (ES)	Carborundum	20,0	10,0	6,0
Pivô 6	Jaguaré (ES)	Esco	15,0	15,0	1,5
Pivô 7	Aracruz (ES)	Carborundum	43,0	10,0	1,5
Pivô 8	Sooretama(ES)	Carborundum	50,0	25,0	0,5
Pivô 9	Sooretama(ES)	Carborundum	30,0	30,0	5,0
Pivô 10	Linhares (ES)	Carborundum	50,0	25,0	6,0

3.2. Uniformidade de aplicação de água

Para se obter as uniformidades de aplicação de água dos pivôs, foram utilizadas duas linhas de coletores dispostas em paralelo e espaçadas entre si de meio metro, que representaram um único raio, conforme mostra a Figura 1. Tal metodologia foi utilizada, considerando-se a topografia plana e uniforme da região em estudo e visando a obtenção de uma repetição que trouxesse maior confiabilidade nas medidas, uma vez que outras metodologias, já consagradas para este tipo de avaliação, eram operacionalmente inviáveis devido as características do cafeeiro conilon .

Em cada uma das linhas os coletores foram dispostos ao longo dos pivôs, sendo numerados em ordem crescente, a partir do centro, afastados

entre si de 5 metros e apoiados em suportes de 40 cm de altura. Procurou-se nivelar as seções de captação dos pluviômetros que mediam 50,30 cm².

Dentre os dez testes de uniformidade realizados, nove foram feitos com os pivôs na velocidade de 100% e um com o pivô na velocidade de 80%. As avaliações duraram, em média, três horas e as leituras dos volumes coletados em cada pluviômetro foram feitas com o auxílio de uma proveta graduada logo após a passagem do pivô por sobre os coletores dispostos ao longo do raio do pivô.

Foram determinadas as velocidades de deslocamento das torres das extremidades de cada pivô na regulagem de 100%, a exceção de um pivô que foi na regulagem de 80%, estabelecendo-se com estacas, um comprimento de dez metros ao longo da trilha da roda da torre em questão e, com um cronômetro, foram medidos os tempos necessários para que os equipamentos percorressem tal distância.

Para determinar as perdas por evaporação nos pluviômetros, durante os testes, foram colocados três pluviômetros com volumes de água conhecidos próximo à área dos testes. No final do teste, foram determinadas, por diferenças, as perdas ocorridas.

Para caracterizar as condições climáticas durante os testes, foi instalada uma estação meteorológica automática para aquisição de dados de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação e precipitação, em local próximo à área de cada teste, conforme mostra a figura 2.

As pressões de serviço no ponto pivô e na extremidade do equipamento, próximo aos últimos aspersores, foram medidas utilizando-se um manômetro de Bourdon.



Figura 1 – Disposição dos coletores ao longo do raio do pivô.



Figura 2 – Estação meteorológica automática instalada próxima ao local do teste.

3.3. Avaliação de irrigação

Para se caracterizar o manejo de irrigação adotado pelos produtores da região em questão, foram selecionadas aleatoriamente três propriedades, dentre as dez que tiveram seus pivôs centrais avaliados sob o ponto de vista de uniformidade, para serem avaliadas sob o ponto de vista de manejo. São elas as propriedades denominadas Pivô 6, Pivô 9 e Pivô 10.

Para se atingir este objetivo foram feitas avaliações em três irrigações consecutivas sem interferência dos pesquisadores na tomada de decisão, do momento de se irrigar e da quantidade de água a ser aplicada. Desta forma o produtor comunicava à equipe de pesquisa a sua intenção de realizar uma irrigação em determinado dia, para a viabilização das avaliações.

Nestas avaliações foram analisados vários parâmetros: o momento em que se fazia a irrigação, a lâmina requerida, a lâmina que está sendo aplicada, a eficiência de aplicação de água, a lâmina armazenada, a lâmina percolada e a porcentagem de área adequadamente irrigada.

As três avaliações consecutivas do manejo de irrigação, em cada propriedade, foram realizadas baseadas nos resultados da primeira avaliação,

onde foram determinadas além da umidade do solo todas as características hidráulicas do sistema avaliado, com a determinação da lâmina coletada ao longo do raio do pivô. Na segunda e terceira irrigação foram coletadas apenas as umidades do solo imediatamente antes da irrigação, sendo as lâminas aplicadas calculadas a partir dos resultados da primeira avaliação.

Em uma das três propriedades selecionadas realizou-se apenas duas avaliações de manejo, devido a ocorrência de um período prolongado de chuvas na região, inviabilizando-se assim uma terceira avaliação.

Três pontos de amostragem de solo, para a avaliação do manejo, foram escolhidos em uma direção radial, de forma que cada um dos pontos represente 1/3 da área coberta pelo equipamento. Em cada um destes pontos foram retiradas amostras de solos em três locais, sendo o primeiro a 1/6 da metade da distância entre as fileiras do cafeeiro, tomado a partir da linha de cafeeiros; o segundo a 3/6; e o terceiro a 5/6 conforme mostra a figura 3.

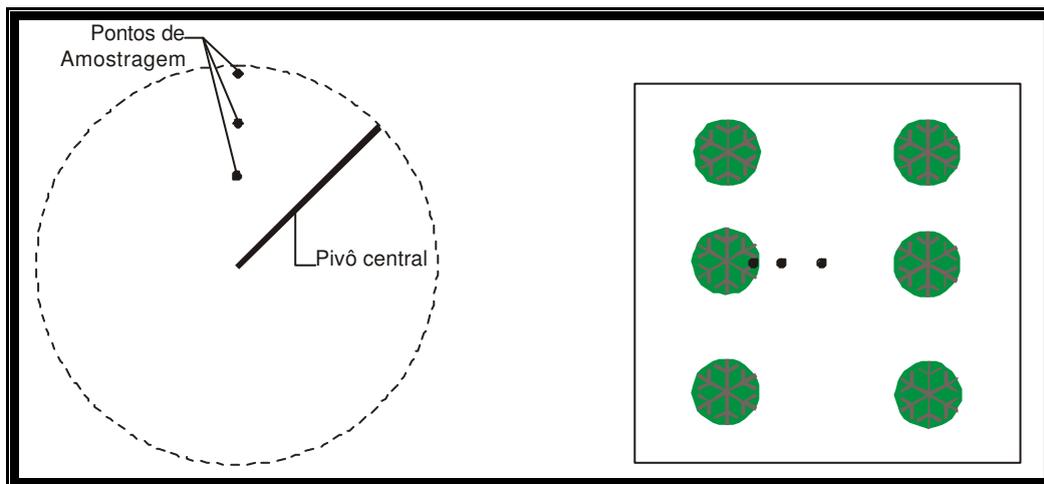


Figura 3 – Pontos de amostragem de solo ao longo do raio do pivô e locais de coleta de solo em cada ponto de amostragem.

Em cada ponto de amostragem foram retiradas amostras de solo, com o uso de um trado tipo holandês, imediatamente antes da irrigação, nas camadas de 0-20, 20-60 e 60-100 cm, sendo o teor de umidade do solo determinado pelo método-padrão de estufa.

Em cada um dos pontos de amostragem e em cada camada foram retiradas subamostras de solo, a fim de formar uma amostra composta por

camadas, para a determinação da curva de retenção de água, com uso do Extrator de Richards.

Também foram retiradas amostras indeformadas das três camadas, extraídas com o auxílio da sonda tipo Uhland, para a determinação da massa específica do solo (Me).

Não sendo possível efetuar, durante os testes, a medição da vazão na entrada da linha lateral do pivô, seu valor foi considerado como o valor da vazão de projeto do sistema.

Com a vazão do sistema estimou-se a lâmina média aplicada, em cada teste, por meio da seguinte equação:

$$L_{apl} = 1000 Q T A^{-1} \quad (5)$$

em que

L_{apl} – lâmina aplicada, mm;

Q – vazão do sistema, m³. h⁻¹;

T – tempo necessário para o pivô completar uma volta, h; e

A – área irrigada pelo pivô, m².

A partir dos dados de precipitação coletados, a lâmina média ponderada foi calculada da seguinte forma:

$$L_p = \frac{\sum_{i=1}^n (L_i S_i)}{\sum_{i=1}^n (S_i)} \quad (6)$$

em que

L_p – lâmina média coletada ponderada, mm;

L_i – lâmina coletada no ponto i , mm;

S_i – distância do centro de rotação ao ponto i , m; e

n – número total de pontos.

A profundidade do sistema radicular do cultivo, para a determinação da lâmina real de irrigação necessária, foi definida a partir de valores citados na literatura, observações de campo e experiência dos produtores, sendo utilizado o valor de 0,6 metros. A lâmina real de irrigação necessária foi determinada utilizando a seguinte equação:

$$\text{IRN} = (\text{Cc} - \text{Ua}) 10^{-1} \text{ Me Z} \quad (7)$$

em que

IRN – irrigação real necessária, mm;

Cc – teor de umidade na capacidade de campo, % em peso;

Ua – teor de umidade do solo antes da irrigação, % em peso;

Me – massa específica do solo, g cm^{-3} ; e

Z – profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

A partir dos dados de precipitação obtidos ao longo do pivô, onde foram determinados os parâmetros de água no solo, determinou-se o perfil de distribuição das lâminas de irrigação. Baseando-se nos gráficos gerados por estes perfis, foram determinadas a porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), a lâmina armazenada (Larm), a lâmina de déficit (Ldef) e a lâmina percolada (Lper).

O desempenho da irrigação foi determinado, utilizando-se os parâmetros obtidos da forma anteriormente descrita, onde foi estimada a eficiência de aplicação de água (Ea), a eficiência em potencial de aplicação de água (EPa), e as perdas por percolação (Pp).

Como foi descrita anteriormente, a vazão do sistema utilizada não foi medida e sim estimada. Em razão disto os valores de eficiência de aplicação e eficiência em potencial de aplicação de água podem apresentar incorreções e devem ser analisados com cuidado.

A eficiência de aplicação de água foi calculada da seguinte forma:

$$\text{Ea} = 100 \text{ Larm Lapl}^{-1} \quad (8)$$

em que

Ea – eficiência de aplicação de água, %;

Larm – lâmina média armazenada, mm; e

Lapl – lâmina aplicada, mm.

A eficiência em potencial de aplicação de água pode ser descrita de duas maneiras. Na primeira delas, descrita por Bernardo, a eficiência é medida diretamente no campo, por meio das perdas por evaporação e arraste pelo vento, fornecendo um valor momentâneo para as condições em que o teste foi realizado. A segunda, descrita por KELLER E BLIESNER (1990), permite a

estimativa da EPa para as condições médias do dia da avaliação, fornecendo portanto, um valor mais representativo das condições gerais.

A eficiência em potencial de aplicação, descrita por BERNARDO (1995), foi calculada através da seguinte equação:

$$EPa_{\text{Bernardo}} = 100 L_{\text{col}} L_{\text{apl}}^{-1} \quad (9)$$

em que

EPa_{Bernardo} - eficiência em potencial de aplicação de água, %;

L_{col} – lâmina média coletada, mm; e

L_{apl} – lâmina aplicada, mm.

A determinação da eficiência potencial de aplicação proposta por Keller e Bliesner, que abrange condições climáticas do dia inteiro que foi realizado o teste, pode ser descrita da seguinte forma:

$$Epa_{\text{Keller}} = 0,976 + 0,005 ET_0 - 0,00017 ET_0^2 + 0,0012 V_v - CI \cdot (0,00043 ET_0 + 0,00018 V_v + 0,000016 ET_0 V_v) \quad (10)$$

em que

ET_0 – evapotranspiração de referência, mm.d⁻¹;

V_v – velocidade do vento, km.h⁻¹;

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

De acordo com os mesmos autores, para equipamentos do tipo pivô central de baixa pressão equipados com difusores e placa estriada, como era o caso dos equipamentos avaliados, deve-se considerar $CI = 12$.

A eficiência de distribuição de água para área adequadamente irrigada de projeto (ED_{ad}) foi estimada, para uma condição de manejo adequado do sistema, com a aplicação de uma lâmina de irrigação que possibilitasse atingir uma porcentagem de área adequadamente irrigada preestabelecida. No caso do cafeeiro, adotou-se um índice de 80% para área adequadamente irrigada, por se tratar de uma cultura de médio a alto valor econômico e sistema radicular bem desenvolvido. A ED_{ad} foi calculada através da metodologia apresentada por KELLER e BLIESNER (1990), na seguinte forma:

$$EDad = 100 + [606 - 24,9Pad + 0,349Pad^2 - 0,00186Pad^3] (1 - CUC) \cdot 100^{-1} \quad (11)$$

em que

EDad – eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada, %;

Pad – porcentagem de área adequadamente irrigada, %; e

CUC – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, %.

A eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto, valor este a ser utilizado na estimativa da lâmina a ser aplicada em uma condição de manejo adequado que possibilite atingir uma porcentagem de área adequadamente irrigada preestabelecida, que no caso deste trabalho foi de 80%, foi estimada a partir dos valores da eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada de projeto (EDad) e eficiência potencial de aplicação (EPa) obtidos pelas metodologias apresentadas por KELLER e BLIESNER (1990), pela seguinte expressão:

$$Eipad = EDad EPa_{Keller} Ec \quad (12)$$

em que

Eipad – eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto,

EDad - eficiência de distribuição para uma porcentagem de área adequadamente irrigada, decimal;

EPa_{Keller} – eficiência potencial de aplicação, decimal; e

Ec – eficiência de condução, decimal (O valor de Ec deve ser considerado no caso de manejo igual a 1)

A perda por percolação é representada pela parte da água que foi aplicada e que se movimenta para baixo da região ocupada pelo sistema radicular da cultura, tornando-se assim indisponível para a mesma. Estas perdas podem ser expressas através da seguinte equação:

$$Pp = 100 Lper Lcol^{-1} \quad (13)$$

em que

Pp – perdas por percolação, %;

Lper – lâmina percolada, mm; e

Lcol – lâmina coletada, mm.

3.3.1 Avaliação de manejo utilizando o programa computacional SISDA

Procurando-se fazer um estudo mais completo do manejo de irrigação adotado pelos cafeicultores que utilizam o sistema por pivô central, foi feito um trabalho, utilizando-se o programa computacional SISDA – 3.0.

Nesta etapa três propriedades, dentre as dez propriedades que foram avaliadas quanto à uniformidade, foram escolhidas aleatoriamente para a realização deste estudo. São elas as propriedades denominadas Pivô 1, Pivô 3 e Pivô 4.

Em uma primeira fase, estas propriedades tiveram seus sistemas de irrigação avaliados em julho de 1999, tendo sido calculadas as uniformidades de aplicação de água e as lâminas de irrigação aplicadas por esses equipamentos.

Durante um ano, os produtores anotaram todas as irrigações executadas por estes equipamentos cadastrando as datas e especificando a velocidade de deslocamento do sistema. Além disto eram coletadas as precipitações pluviométricas ocorridas em cada propriedade.

Em uma segunda etapa, estas propriedades tiveram seus sistemas de irrigação reavaliados, em julho de 2000, tendo sido utilizada para isto a mesma metodologia do ano anterior. Complementando a avaliação, análises de solo com a determinação das curvas de retenção e massas específicas foram feitas nas três propriedades em questão e características específicas da cultura, como espaçamento e área sombreada, foram anotadas para posterior utilizações no trabalho.

Dados meteorológicos, a exceção das chuvas, deste período compreendidos entre julho de 1999 e julho de 2000, provenientes de estações próximas às propriedades em questão foram catalogados para serem utilizados posteriormente.

Por fim, foram coletados dados de produtividade referentes à safra de 2000 das lavouras irrigadas por estes equipamentos.

Após o término da coleta de dados, iniciou-se o trabalho com a utilização do software SISDA – 3.0. Nele foram inseridos os dados de solo, da cultura, e dados climatológicos diários do período em questão. Foram utilizados

dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento e tempo de brilho solar, permitindo que o programa calculasse a evapotranspiração de referência diária através da equação de Penman-Monteith. As chuvas anotadas por cada produtor foram cadastradas assim como as irrigações realizadas e as características de desempenho de cada equipamento em cada propriedade. Vale a pena ressaltar que, no caso dos equipamentos, foram utilizadas as médias das duas avaliações realizadas no intervalo de um ano para se caracterizar melhor o seu desempenho.

Em uma etapa final, o programa computacional gerou um panorama do que ocorreu em cada propriedade, no que diz respeito à disponibilidade hídrica para a cultura, permitindo assim, fazer uma análise mais abrangente do manejo de irrigação adotado pelos irrigantes que utilizam o sistema do tipo pivô central. Além disto, os dados de produtividade obtidos em cada propriedade complementam este estudo, podendo-se, assim, relacionar estes resultados ao manejo adotado por cada produtor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Detalhes técnicos dos sistemas avaliados

No Quadro 2 são apresentadas as características de funcionamento dos dez sistemas de irrigação por pivô central avaliados. Todos os dados foram obtidos por meio de medições diretas no campo, à exceção do tempo de utilização do sistema, que foi informado pelo produtor, e a vazão de projeto que foi obtida na ficha técnica dos equipamentos.

Quadro 2 – Idade do equipamento (Idade), raio molhado (Rm), regulagem do percentímetro (Rp), velocidade de deslocamento da última torre (Vdes), tempo gasto por volta (Tgv), pressão no ponto pivô (Ppt), pressão na extremidade do equipamento (Pext), vazão de projeto (Qprj) e intensidade de aplicação (Ia) nos pivôs avaliados.

Sistema	Idade (ano)	Rm (m)	Rp (%)	Vdes (m h ⁻¹)	Tgv (h)	Ppt (kgcm ⁻²)	Pext (kgcm ⁻²)	Qprj (m ³ h ⁻¹)	Ia* (mm/dia)
Pivô 1	4,0	585,0	100	122,5	26,0	1,8	0,1	290,0	5,4
Pivô 2	10,0	415,0	100	130,0	18,0	3,9	0,8	200,0	7,4
Pivô 3	5,0	370,0	100	125,0	18,0	2,0	0,6	160,0	7,4
Pivô 4	4,0	300,0	100	90,4	19,0	2,5	1,2	120,0	8,5
Pivô 5	6,0	280,0	100	113,6	12,0	3,0	1,2	75,0	6,1
Pivô 6	2,0	205,0	80	81,8	18,0	3,0	0,7	71,0	10,7
Pivô 7	10,0	357,0	80	100,0	14,3	4,0	-	152,5	7,6
Pivô 8	15,0	399,6	100	120,0	20,0	2,6	0,3	176,0	7,0
Pivô 9	5,0	306,0	100	180,9	9,5	4,5	1,4	164,2	11,2
Pivô 10	8,0	404,0	100	129,5	19,0	4,5	-	205,0	8,0

* Tempo de funcionamento – 20 horas/dia

Pode-se observar no Quadro 2 que foram avaliados tanto pivôs relativamente novos, como é o caso do pivô 6, com apenas dois anos de uso, como também pivôs mais antigos, como o pivô 8 com quinze anos de utilização. Os tamanhos dos equipamentos também são bastante variados com raios que variaram de 205 metros até 585 metros.

Outro aspecto importante é a intensidade de aplicação de água dos sistemas. Pode-se notar que dos dez pivôs avaliados apenas dois (Pivô 6 e Pivô 9) aplicam lâmina maior que 10 mm, considerando-se 20 horas de funcionamento por dia do equipamento. Esta característica requer cuidados especiais no manejo de irrigação da cultura, uma vez que este tipo de equipamento não é capaz de repor rapidamente um déficit acentuado de água no solo. Além disto, deve-se levar em conta o custo com a energia, que no caso do pivô é significativo. Devido a estes fatos o produtor deve estar atento às tomadas de decisão de se irrigar ou não, levando-se em conta a demanda hídrica da cultura em uma determinada fase e trabalhando sempre com a previsão do tempo visando o momento futuro do seu manejo.

4.2. Uniformidade de aplicação de água

No Quadro 3 são apresentados os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), dos sistemas avaliados, juntamente com os valores de velocidade do vento e umidade relativa médios no momento do teste.

Quadro 3 – Velocidade do vento e umidade relativa do ar, medidos durante os testes, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), dos sistemas avaliados

Sistema	Veloc. Vento (m s ⁻¹)	Umidad. Rel. (%)	CUC (%)	CUD (%)
Pivô 1	0,2	58	66,3	61,8
Pivô 2	1,5	50	89,1	83,4
Pivô 3	1,9	64	76,6	72,4
Pivô 4	1,7	74	80,5	65,7
Pivô 5	1,3	73	85,3	76,5
Pivô 6	4,1	70	80,3	75,3
Pivô 7	1,5	68	86,3	76,9
Pivô 8	3,0	61	86,8	81,9
Pivô 9	1,0	58	82,4	70,0
Pivô 10	1,4	71	88,2	81,0
Média geral			82,2	74,5

Os valores médios de velocidade do vento ocorridos durante os testes variaram de 0,2 a 4,1 m s⁻¹ sendo que apenas em duas avaliações estes valores superaram os 2,0 m s⁻¹. TARJUELO MARTÍN-BENITO (1995) afirma que sistemas de irrigação com linha lateral em movimento, como é o caso do pivô central, sofrem menor influência do vento quando comparados aos outros sistemas de irrigação por aspersão. Isto se deve ao fato da linha lateral ocupar infinitas posições durante a irrigação e do espaçamento entre aspersores, neste tipo de sistema, ser bastante reduzido. Em contrapartida, o mesmo autor afirma que neste tipo de equipamento os aspersores ficam muito altos, sendo este fato uma desvantagem quando se irriga sob condições de ventos fortes. Já os valores de umidade relativa variaram de 50 a 74% sendo que em três avaliações (30% dos casos) eles estavam abaixo de 60%, podendo ser considerados valores baixos que favorecem as perdas por evaporação.

Entre os dez pivôs avaliados apenas dois deles (20% dos casos) apresentaram uniformidade de aplicação de água abaixo do recomendado. Em sistemas por pivô central o CUC recomendado está na faixa de 75 a 85%, para culturas com sistema radicular profundo como é o caso do cafeeiro, e o CUD recomendado acima de 70% (BERNARDO, 1995). Dos dois pivôs que apresentaram problemas de uniformidade, apenas o pivô 1 apresentou os dois coeficientes abaixo do recomendado, pois o pivô 4 apresentou CUC adequado e apenas o CUD com valor abaixo do recomendado. Apesar disto, a média geral do CUC foi 82,2% e do CUD próximo a 75%. Estas faixas de valores obtidos são concordantes com valores encontrados por BONOMO (2000) e também por FURUKAWA (1991) que trabalharam com este tipo de equipamento em Minas Gerais e Goiás respectivamente.

Pode ser observado também que em todas as avaliações realizadas, o valor do CUC é maior do que o valor de CUD, o que já era esperado uma vez que o segundo coeficiente dá um tratamento mais rigoroso aos problemas de distribuição que ocorrem ao longo da linha do pivô.

Nas figuras de 4 a 8 são mostrados os perfis de distribuição de água dos pivôs centrais avaliados. Pode-se observar na figura 4 (a), referente ao pivô central 1, a distribuição deficiente deste sistema, já comprovada pelos baixos valores de coeficientes de uniformidade encontrados. Estes resultados já eram esperados uma vez que, no momento da avaliação de campo, foi observada a precária condição de conservação do equipamento em questão, com vários aspersores entupidos, outros quebrados e inúmeros vazamentos. Tais problemas implicaram em uma queda de pressão acentuada ao longo da tubulação, o que acarretou na diminuição das lâminas coletadas à medida que se afastava do ponto pivô (Quadro 2).

Na figura 4 (b), referente ao pivô 2, pode-se observar a excelente distribuição de água feita por este sistema, apresentando o maior coeficiente de uniformidade encontrado dentre todas as avaliações realizadas (Quadro 3). Vale a pena ressaltar que este equipamento tem dez anos de idade, mostrando assim, que um bom trabalho de manutenção viabiliza a utilização deste tipo de sistema de maneira satisfatória por um longo período.

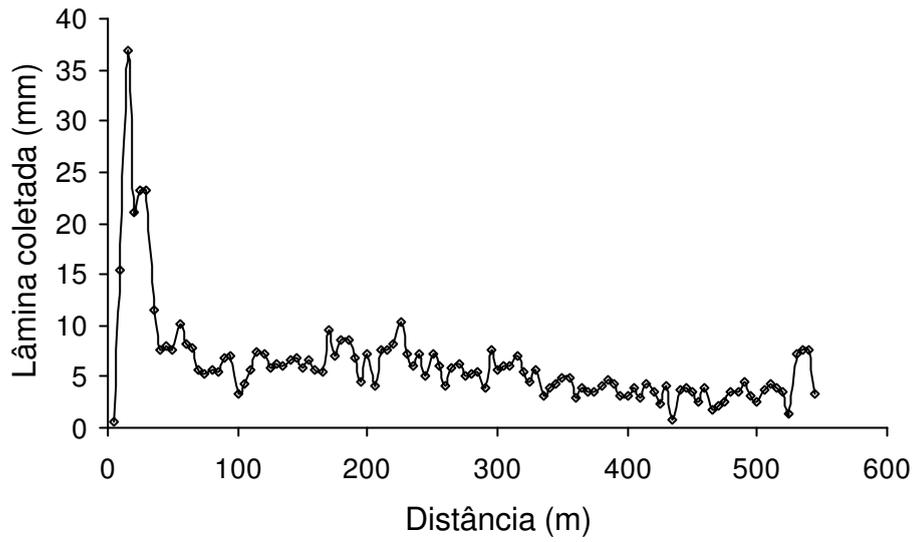
O perfil de distribuição de água do pivô 3, representado na figura 5 (a), apresentou os coeficientes de uniformidade com resultados apenas razoáveis.

Pode-se observar na figura em questão, a tendência da diminuição das lâminas que foram coletadas à medida que se afastava do ponto pivô. Este fato é explicado pelos valores baixos de pressão de serviço no ponto pivô e na extremidade do equipamento.

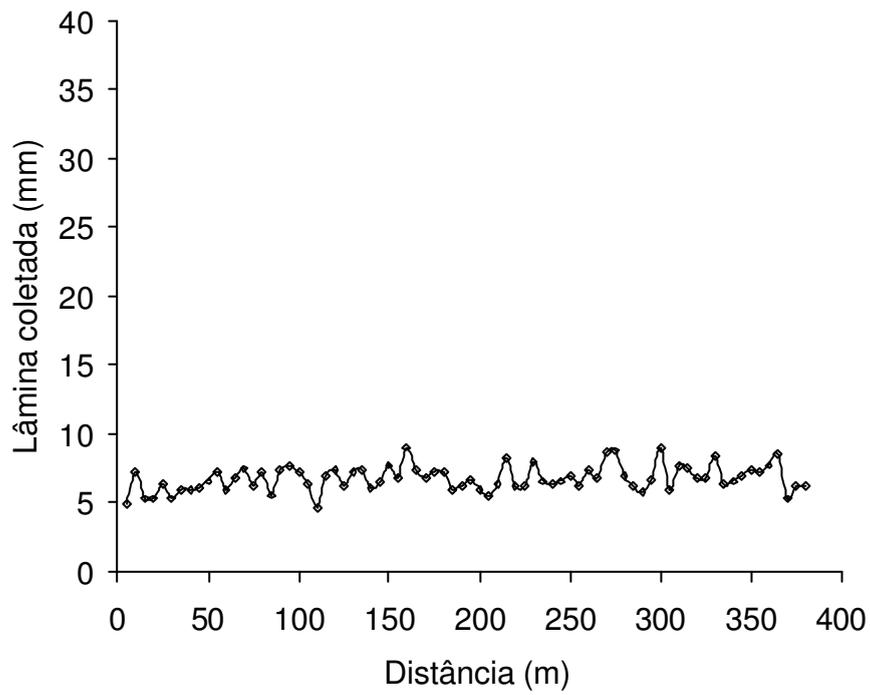
O equipamento denominado pivô 4, cujo perfil de distribuição de água está na figura 5 (b), apresentou o CUC com um valor considerado bom e o CUD com valor abaixo do aceitável. Apesar do equipamento ter boa pressão de serviço tanto no ponto pivô quanto em sua extremidade estes resultados foram causados por aspersores parcialmente entupidos, colocados em posição errada e/ou trocados por outros não similares aos originais além de problemas de regulação de pressão em alguns pontos ao longo da tubulação.

Os pivôs 5 e 6, com os perfis de distribuição de água representados pelas figuras 6 (a) e 6 (b) respectivamente, apresentaram bons coeficientes de uniformidade de distribuição de água. Vale a pena ressaltar que no pivô 5 houve uma tendência de crescimento das lâminas coletadas à medida que se afastava do ponto pivô, explicada pela alta pressão de serviço medida em sua extremidade. Já os pivôs 7 e 8, com os perfis de distribuição de água representados pelas figuras 7 (a) e (b) respectivamente, também apresentaram bons resultados de uniformidade. Vale a pena ressaltar nestes dois casos as idades dos equipamentos em questão, com 10 e 15 anos de utilização respectivamente, mostrando a importância de uma boa manutenção.

O pivô 9, cujo perfil de distribuição de água está na figura 8 (a), apresentou um bom valor de CUC mas apenas um valor aceitável de CUD. Este fato pode ser explicado observando-se o perfil de distribuição de água do equipamento, onde ocorre uma diminuição significativa das lâminas coletadas nas extremidades do mesmo, justamente onde a área irrigada pelo sistema é maior. O pivô 10, cujo perfil de distribuição de água está na figura 8 (b), apresentou bons resultados tanto de CUC quanto de CUD, valendo a pena ressaltar mais uma vez a idade do equipamento em questão, com 8 anos de utilização, e um bom trabalho de manutenção realizado.

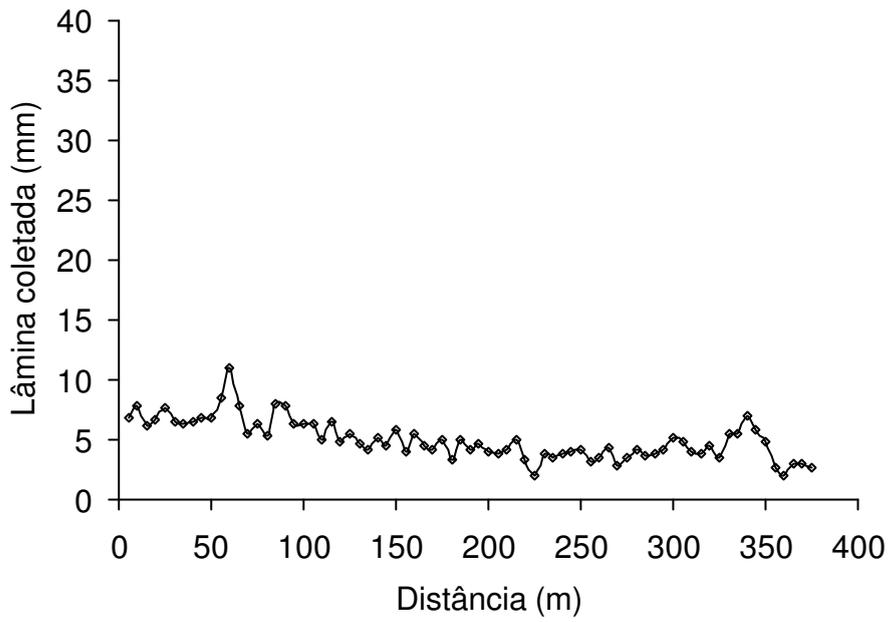


(a)

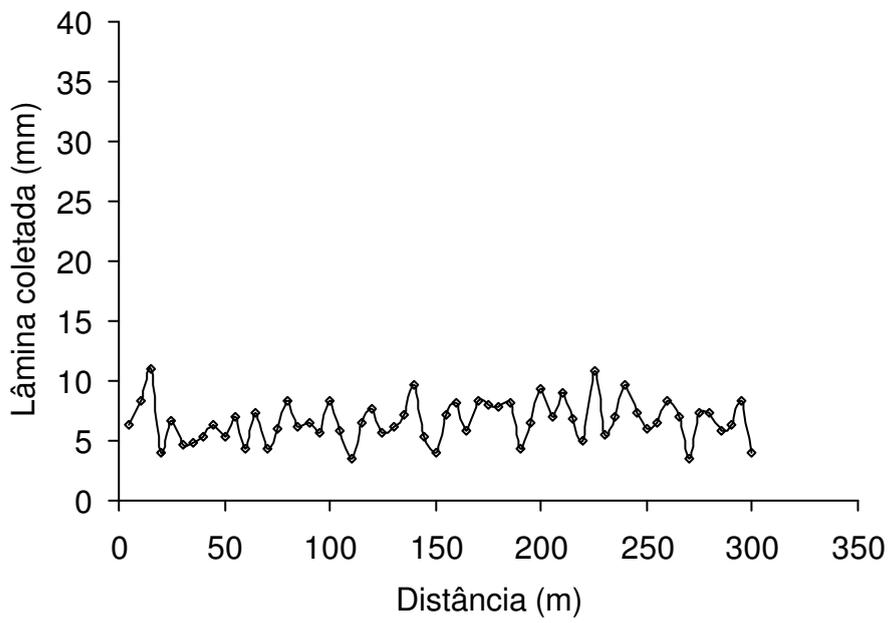


(b)

Figura 4 – Lâmina coletada em função da distância ao longo da linha lateral dos pivôs: (a) pivô 1 e (b) pivô 2.

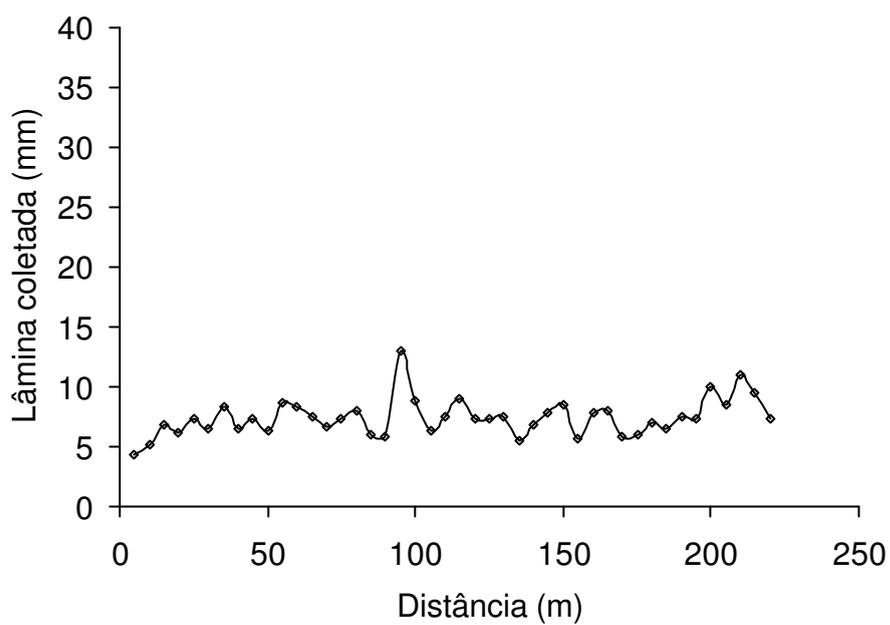


(a)

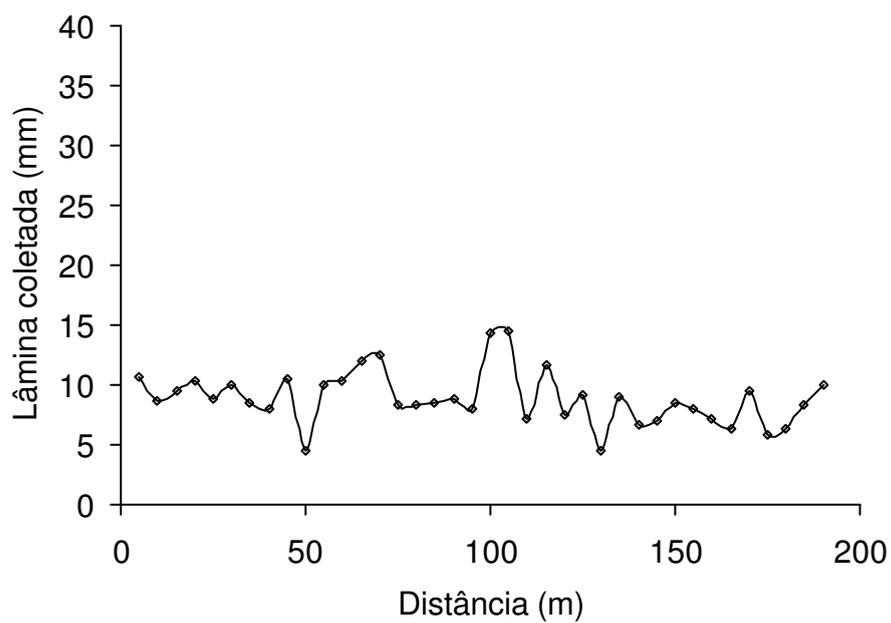


(b)

Figura 5 Lâmina coletada em função da distância ao longo da linha lateral dos pivôs: (a) pivô 3 e (b) pivô 4.

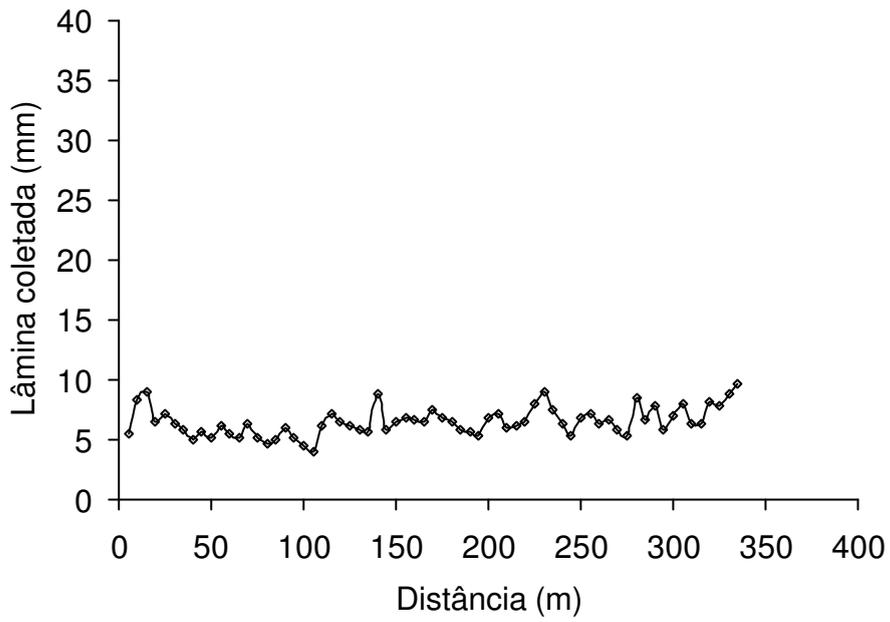


(a)

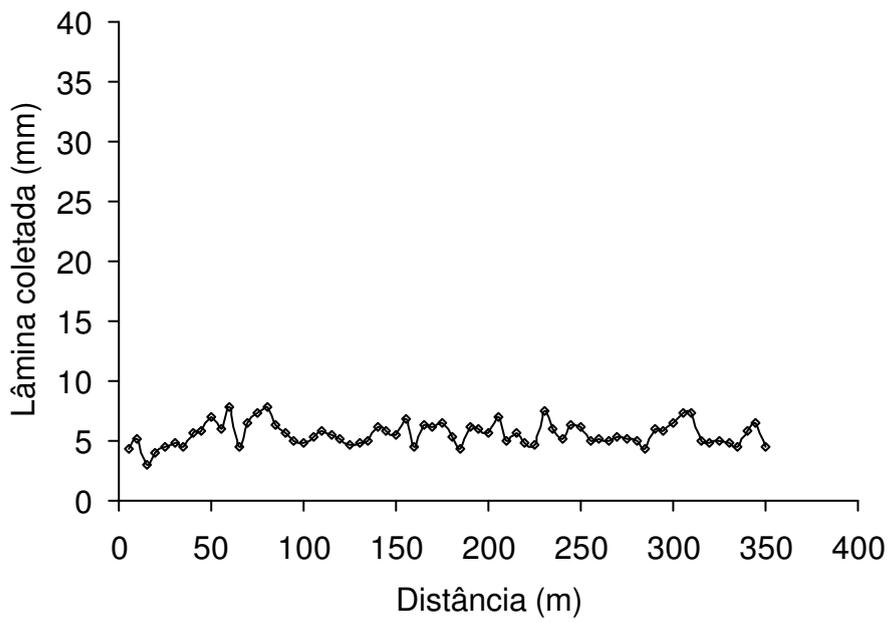


(b)

Figura 6 – Lâmina coletada em função da distância ao longo da linha lateral dos pivôs: (a) pivô 5 e (b) pivô 6.

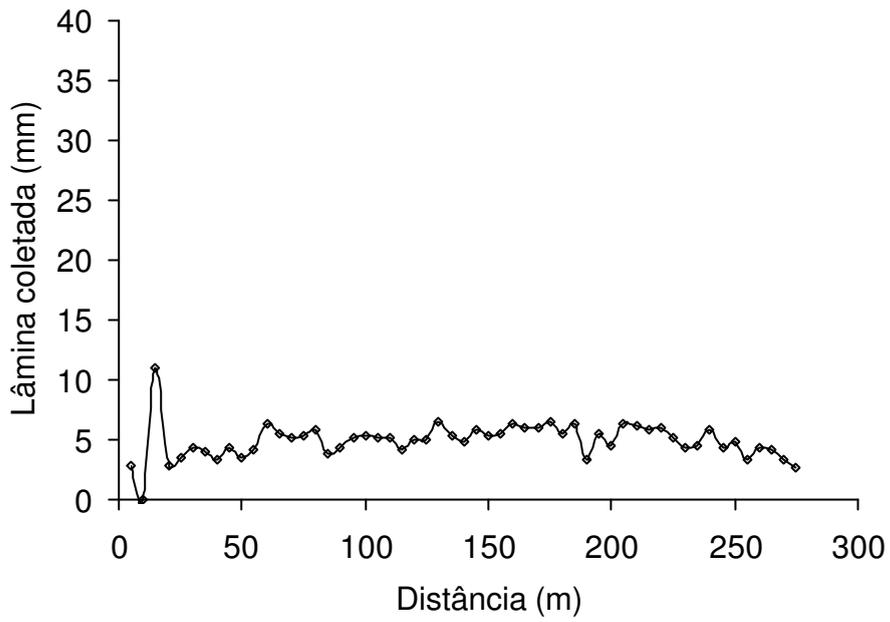


(a)

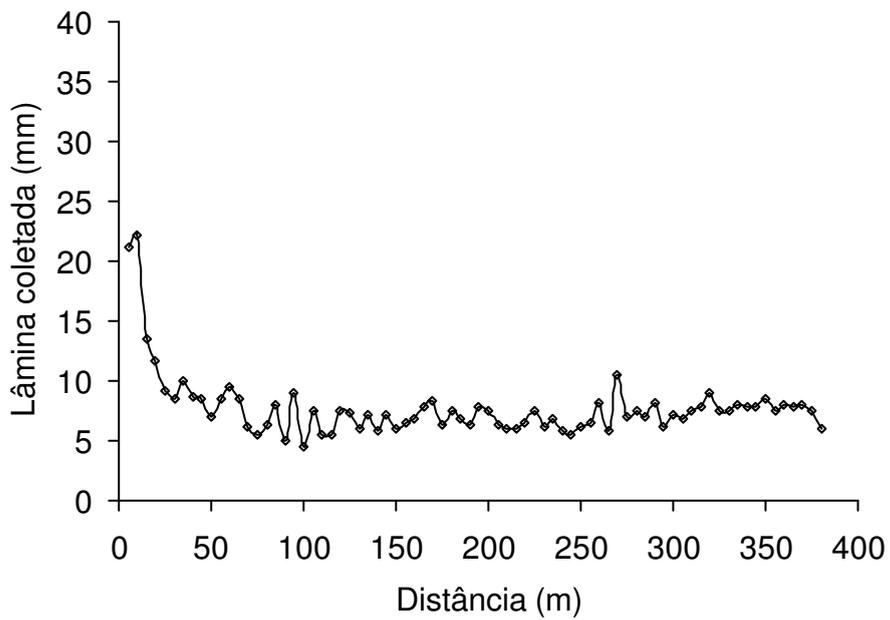


(b)

Figura 7 – Lâmina coletada em função da distância ao longo da linha lateral dos pivôs: (a) pivô 7 e (b) pivô 8.



(a)



(b)

Figura 8 – Lâmina coletada em função da distância ao longo da linha lateral dos pivôs: (a) pivô 9 e (b) pivô 10.

4.3. Manejo de irrigação

Para se fazer a análise técnica do manejo de irrigação, foram realizadas avaliações nos pivôs seis, nove e dez.

No quadro 4 são apresentadas as análises texturais dos solos das três propriedades que passaram pelas avaliações de manejo.

Quadro 4 – Análise textural dos solos das propriedades avaliadas sob o ponto de vista do manejo

Sistema	Camadas (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural
Pivô 6	0 – 20	51	24	1	24	Franco argilo arenoso
	20 – 40	47	24	3	26	Franco argilo arenoso
	40 – 60	44	25	3	28	Franco argilo arenoso
Pivô 9	0 – 20	56	17	1	26	Franco argilo arenoso
	20 – 40	39	20	3	38	Argilo arenoso
	40 – 60	35	19	4	42	Argilo arenoso
Pivô 10	0 – 20	57	21	2	20	Franco arenoso
	20 – 40	50	25	1	24	Franco argilo arenoso
	40 – 60	43	23	4	30	Franco argilo arenoso

Observa-se no Quadro 4 que o solo da região em estudo tem características texturais bastante homogêneas, uma vez que, solos coletados em três diferentes municípios apresentaram análises bastante semelhantes. Em todas as análises, independentemente da profundidade da camada, a porcentagem de areia sempre foi maior do que 50%, conferindo a estes solos baixas capacidades de campo e um processo de drenagem acelerado característico dos solos arenosos.

Os valores da capacidade de campo foram estimados a partir da curva de retenção de água, tendo sido adotada a tensão de 0,1 atm, uma vez que os

solos das áreas analisadas possuem características texturais arenosas (Quadro 4).

No Quadro 5 são apresentados os valores dos parâmetros físico-hídricos dos solos das propriedades que tiveram seus sistemas avaliados sob o ponto de vista de manejo. A capacidade de campo variou de 12,6 a 24,8% e o ponto de murcha de 6,7 a 13,1%. Os valores de massa específica encontrados variaram de 1,2 a 1,7 g cm⁻³, podendo estes serem considerados altos. A natureza pedogenética destes solos faz com que estes adensamentos naturais ocorram, sendo estes altos valores de massa específica uma característica comum em toda a região.

Os valores de disponibilidade total de água (DTA) variaram de 0,9 a 2,0 mm cm⁻¹ estando, segundo BERNARDO (1995), na faixa de disponibilidade para solos de textura média. Estes valores se devem principalmente a alta massa específica dos solos da região.

Quadro 5 – Valores de capacidade de campo (Cc), ponto de murcha (Pm), massa específica do solo (Me) e disponibilidade total de água (DTA) para diferentes camadas amostradas, em cada sistema avaliado, sob o ponto de vista de manejo, por pivô central

Sistema	Camadas (cm)	Cc (%)	Pm (%)	Me (g.cm ⁻³)	DTA (mm.cm ⁻¹)
Pivô 6	0 - 20	19,9	7,2	1,3	1,6
	20 - 40	16,9	7,9	1,3	1,2
	40 - 60	16,9	9,0	1,3	1,0
Pivô 9	0 - 20	15,6	7,9	1,2	0,9
	20 - 40	21,3	11,3	1,2	1,2
	40 - 60	18,3	13,1	1,3	1,5
Pivô 10	0 - 20	12,6	6,7	1,5	0,9
	20 - 40	13,9	7,5	1,6	1,0
	40 - 60	21,6	9,5	1,7	2,0

Na avaliação de manejo de irrigação dois aspectos devem ser analisados: se a irrigação foi feita no momento certo; e se a lâmina aplicada foi adequada para atender as necessidades hídricas da cultura. Para se avaliar a

necessidade ou não da realização da irrigação em um determinado momento, pode-se fazer uso do fator de disponibilidade de água no solo (f), que no caso do cafeeiro não deve ultrapassar o limite máximo de 60%, conforme metodologia adotada por BONOMO (2000).

Pode-se observar através dos resultados expostos no Quadro 6, que em apenas duas das nove irrigações, avaliadas sob o ponto de vista do manejo, o déficit de água no solo não havia ultrapassado o limite máximo pré estabelecido. Isto pode ser explicado pelo fato de que apesar das disponibilidades totais de água dos solos avaliados não serem das mais baixas, a textura predominantemente arenosa dos mesmos faz com que o processo de drenagem ocorra rapidamente, induzindo os produtores ao erro no que diz respeito ao momento de se realizar as irrigações.

As avaliações denominadas primeira, segunda e terceira em uma mesma propriedade foram consecutivas, mostrando assim a tendência do comportamento das irrigações executadas por cada produtor.

Analisando-se ainda o Quadro 6, observa-se que a relação entre as lâminas coletadas e a IRN foi baixa. A lâmina aplicada variou de 17,3% a 57,9% da irrigação real necessária para se elevar o teor de umidade do solo à sua capacidade de campo. Este fato mostra a dificuldade no manejo de irrigação, quando se utiliza o sistema por pivô, e existe a necessidade de se aplicar lâminas elevadas, uma vez que, neste tipo de sistema a aplicação de tais lâminas demanda muito tempo e dificulta a operacionalidade de uma ação como esta. Dado o exposto, fica clara a necessidade de um manejo de irrigação, quando se utiliza este tipo de sistema, com aplicação de lâminas visando o momento atual e o futuro. Deve-se avaliar se existe a necessidade ou não de se elevar o teor de umidade do solo à sua capacidade de campo em um determinado momento do ciclo da cultura, trabalhando-se também com a previsão do tempo e analisando a possibilidade de chuvas acontecerem em um futuro próximo.

Quadro 6 – Resultados dos parâmetros de avaliação de manejo para os pivôs avaliados sob o ponto de vista do manejo: data de realização das irrigações, profundidade efetiva do sistema radicular (Z), capacidade total de armazenamento de água (CTA), umidade atual (Ua), irrigação real necessária (IRN), déficit de água do solo (Def) e lâmina coletada (Lcol)

Irrigação	Data	Sistema	Z (cm)	CTA (mm)	Ua (%)	IRN (mm)	Def (%)	Lcol* (mm)
Primeira	24/07	Pivô 6	60	76	10,0	51,3	67,5	8,9
Segunda	17/08		60	76	10,4	47,7	62,8	16,2
Terceira	25/08		60	76	10,9	44,5	58,5	16,2
Primeira	29/07	Pivô 9	60	72	10,7	56,5	78,4	14,9
Segunda	23/08		60	72	9,0	68,8	95,5	12,4
Terceira	-		60	72	-	-	-	-
Primeira	31/07	Pivô 10	60	78	10,7	52,5	67,3	24,2
Segunda	16/08		60	78	10,8	51,3	65,7	24,2
Terceira	29/08		60	78	11,7	41,8	53,5	24,2

* Lâminas coletadas nas primeiras irrigações e estimadas, a partir dos resultados das primeiras avaliações, nas segundas e terceiras irrigações

4.3.1. Parâmetros de desempenho de irrigação

Os resultados referentes às avaliações de irrigação para os três sistemas avaliados em irrigações consecutivas são apresentados nos Quadros 7, 8 e 9. É importante ressaltar que a eficiência de condução, nos três casos, foi considerada boa, adotando-se o valor de 99% para as mesmas.

Quadro 7 – Resultados das avaliações de manejo de irrigação referentes ao pivô 6: irrigação real necessária (IRN), lâmina aplicada (Lapl), lâmina coletada (Lcol), lâmina armazenada (Larm), lâmina deficitária (Ldef), lâmina percolada (Lper), eficiência potencial de aplicação (EPa), eficiência de distribuição de projeto (ED₈₀), eficiência para área adequadamente irrigada de projeto (Eip₈₀), porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), perdas por percolação (Pp) e eficiência de aplicação de água (Ea)

Parâmetro	Unid.	Pivô 6		
		1º irrigação	2º irrigação	3º irrigação
IRN	mm	51,3	47,7	44,5
Lapl	mm	9,6	19,2	19,2
Lcol	mm	8,9	17,8	17,8
Larm	mm	8,9	17,8	17,8
Ldef	mm	42,8	29,9	26,7
Lper	mm	0	0	0
EPa _{Keller}	%	97,8	98,1	98,0
EPa _{Bernardo}	%	92,7	92,7	92,7
ED ₈₀	%	79,4	79,4	79,4
Eip ₈₀	%	76,9	77,1	77,0
Pad	%	0	0	0
Pp	%	0	0	0
Ea	%	92,7	92,7	92,7

As irrigações analisadas nesta propriedade, denominada pivô 6, foram consecutivas tendo sido realizadas em 24/07/00 a primeira irrigação, em

17/08/00 a segunda e finalmente em 25/08/00 a terceira irrigação. É importante ressaltar que entre a primeira e a segunda irrigação, com turno de rega de 24 dias, ocorreram precipitações que totalizaram aproximadamente 27 mm na região. Já entre a segunda e a terceira irrigação, com turno de rega de 7 dias, ocorreu na região uma precipitação de aproximadamente 2 mm.

Analisando o momento de irrigar, o produtor tomou tardiamente a decisão de executar a irrigação em duas das três irrigações realizadas, uma vez que, apenas na terceira delas o limite mínimo de disponibilidade de água no solo, que no caso do café é de 40%, segundo classificação proposta por DOORENBOS e KASSAM (1979) que considera o cafeeiro pertencente ao grupo IV, não havia sido ultrapassado.

Observando o Quadro 7 e avaliando-se a relação entre as lâminas coletadas e a irrigação real necessária para se elevar a umidade do solo à sua capacidade de campo, verifica-se que nesta propriedade na primeira irrigação a lâmina coletada representou 16,6% da lâmina requerida para se atingir tais objetivos. Na segunda irrigação este percentual subiu para 37,3% e na terceira irrigação a lâmina coletada representou 40,0% da IRN.

Como as três irrigações foram deficientes, a lâmina deficitária, que representa a diferença entre a lâmina armazenada na zona radicular e a lâmina necessária para se elevar a umidade do solo à sua capacidade de campo, existiu nas três irrigações executadas nesta propriedade. Seu valor foi de 42,8 mm na primeira irrigação, 29,9 mm na segunda irrigação e 26,7 mm na terceira, demonstrando assim que o volume de água aplicado nestas irrigações foi bem menor que o necessário para se elevar à umidade do solo à sua capacidade de campo, que era de 51,3 mm, 47,7 mm e 44,5mm respectivamente.

Apesar das irrigações avaliadas terem sido deficientes, algumas ressalvas devem ser feitas. Na ocasião das avaliações, a região de estudo se encontrava em um período chuvoso, fazendo com que o produtor retardasse ao máximo a decisão de irrigar, procurando assim diminuir os custos com energia. Além disto a cultura não se encontrava em uma fase crítica, no que diz respeito às suas necessidades hídricas, uma vez que as avaliações foram feitas no mês de julho, quando o cafeeiro não necessita tanto de água. Por fim é importante ressaltar que o pivô central não tem condições de repor de uma só vez déficits acentuados de água no solo, como os que ocorreram durante estas avaliações.

A seguir serão apresentados no Quadro 8 os resultados das avaliações de manejo referentes a propriedade denominada Pivô 9, onde só foram feitas duas avaliações devido às chuvas que ocorreram na região.

Quadro 8 – Resultados das avaliações de manejo de irrigação referentes ao pivô 9: irrigação real necessária (IRN), lâmina aplicada (Lapl), lâmina coletada (Lcol), lâmina armazenada (Larm), lâmina deficitária (Ldef), lâmina percolada (Lper), eficiência potencial de aplicação (EPa), eficiência de distribuição de projeto (ED₈₀), eficiência para área adequadamente irrigada de projeto (Eip₈₀), porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), perdas por percolação (Pp) e eficiência de aplicação (Ea)

Parâmetro	Unid.	Pivô 9		
		1ª irrigação	2ª irrigação	3ª irrigação
IRN	mm	56,5	68,9	-
Lapl	mm	25,8	19,0	-
Lcol	mm	14,9	11,0	-
Larm	mm	14,9	11,0	-
Ldef	mm	41,6	57,9	-
Lper	mm	0	0	-
EPa _{Keller}	%	97,8	98,0	-
EPa _{Bernardo}	%	57,7	57,7	-
ED ₈₀	%	81,6	81,6	-
Eip ₈₀	%	79,0	79,2	-
Pad	%	0	0	-
Pp	%	0	0	-
Ea	%	57,7	57,7	-

As duas irrigações avaliadas na propriedade denominada pivô 9, foram executadas nos dias 29/07/00 e 23/08/00. As mesmas foram consecutivas existindo entre a primeira e a segunda irrigação um turno de rega de 25 dias sendo que neste intervalo ocorreram precipitações que totalizaram aproximadamente 27 mm.

Quando se analisa o momento em que foram realizadas as irrigações, verifica-se que o produtor tomou tardiamente a decisão de irrigar nas duas oportunidades, pois em ambos os casos o fator de disponibilidade de água no solo foi ultrapassado, atingindo valores muito altos sendo 78,4% na primeira irrigação e 95,5% na segunda (Quadro 6). Além disto foi observado que o turno de rega de 25 dias, mesmo com precipitações de 27 mm neste intervalo, neste solo de estrutura arenosa, foi muito grande, fazendo com que a umidade deste solo atingisse valores próximos ao seu ponto de murcha.

Observando-se o Quadro 8 e analisando-se a relação entre as lâminas coletadas e as lâminas requeridas, para se elevar o teor de umidade do solo à sua capacidade de campo, verifica-se que em ambas as irrigações a lâmina aplicada foi muito baixa. Na primeira irrigação a lâmina coletada representou 26,4% da IRN, já na segunda este valor caiu para 16,0%.

Como as duas irrigações foram deficientes, a lâmina deficitária existiu nas duas irrigações executadas nesta propriedade. Na primeira irrigação o valor deste déficit foi de 41,6 mm subindo para 57,9 mm na irrigação subsequente. Estes valores, assim como as relações entre as lâminas coletadas e as IRN, mostram que nesta propriedade a deficiência na irrigação foi ainda maior quando comparamos estes resultados com os resultados da propriedade denominada pivô 6.

Como pode ser observado no Quadro 8, a eficiência de aplicação de água (E_a) em ambas as irrigações foi baixa. Este resultado não condiz com as características das irrigações realizadas, uma vez que, as mesmas foram deficientes e conseqüentemente não houve perdas de água por percolação. Além disto às características climáticas no momento em que estas irrigações foram realizadas também não justificam esta baixa eficiência. A explicação pode estar no fato de ter sido utilizado vazão de projeto para se chegar na lâmina aplicada. Provavelmente este sistema está na realidade com uma vazão bem menor da projetada, fazendo com que os valores da eficiência de aplicação de água e da eficiência potencial de aplicação de água segundo Bernardo ($E_{Pa_{\text{Bernardo}}}$) fossem baixos e incomuns para este tipo de situação. As condições precárias do conjunto motobomba, observadas no local, além da constatação nos testes de campo de que a lâmina aplicada pelo sistema era

bem menor do que a lâmina que o produtor acreditava estar aplicando, reforçam a hipótese da vazão real do sistema estar abaixo da vazão de projeto.

A seguir serão apresentados no Quadro 10 os resultados referentes às avaliações na propriedade denominada Pivô 10.

Quadro 9 – Resultados das avaliações de manejo de irrigação referentes ao pivô 10: irrigação real necessária (IRN), lâmina aplicada (Lapl), lâmina coletada (Lcol), lâmina armazenada (Larm), lâmina deficitária (Ldef), lâmina percolada (Lper), eficiência potencial de aplicação (EPa), eficiência de distribuição de projeto (ED₈₀), eficiência para área adequadamente irrigada de projeto (Eip₈₀), porcentagem de área adequadamente irrigada (Pad), perdas por percolação (Pp) e eficiência de aplicação (Ea)

Parâmetro	Unid.	Pivô 10		
		1º irrigação	2º irrigação	3º irrigação
IRN	mm	52,5	51,3	41,8
Lapl	mm	26,7	26,7	26,7
Lcol	mm	24,1	24,1	24,1
Larm	mm	23,6	23,5	23,3
Ldef	mm	28,4	27,1	17,7
Lper	mm	0,5	0,6	0,8
EPa _{Keller}	%	97,9	98,0	98,1
EPa _{Bernardo}	%	90,2	90,2	90,2
ED ₈₀	%	87,6	87,6	87,6
Eip ₈₀	%	84,9	85,1	85,1
Pad	%	0,2	0,2	0,3
Pp	%	2,1	2,2	3,4
Ea	%	88,4	88,0	87,3

As irrigações analisadas nesta propriedade, denominada pivô 10, foram consecutivas tendo sido realizadas em 31/07/00 , em 16/08/00 e em 29/08/0. É importante ressaltar que entre a primeira e a segunda irrigação, onde tivemos um turno de rega de 16 dias, ocorreram precipitações que totalizaram

aproximadamente 19 mm. Já entre a segunda e a terceira irrigação, onde tivemos um turno de rega de 13 dias, ocorreram na região duas precipitações que totalizaram aproximadamente 3,6 mm.

Assim como ocorreu nas avaliações das duas primeiras propriedades, analisando-se o momento de se irrigar, o produtor tomou tardiamente a decisão de executar a irrigação em duas das três irrigações realizadas, uma vez que, apenas na terceira delas o limite máximo de disponibilidade de água no solo, que no caso do cafeeiro é de 60%, não havia sido ultrapassado.

Observando o Quadro 9 e avaliando-se a relação entre as lâminas coletadas e a irrigação real necessária para se elevar a umidade do solo à sua capacidade de campo, verificou-se que na primeira irrigação executada pelo produtor a lâmina coletada representou 45,9% da lâmina requerida. Na segunda irrigação este percentual subiu para 47% e na terceira irrigação a lâmina coletada representou 57,6% da IRN. Estes resultados mostram que nesta propriedade, dentre as três avaliadas, foram aplicadas as lâminas de irrigação mais próximas daquelas requeridas para se elevar o teor de umidade do solo à sua capacidade de campo.

A lâmina deficitária existiu em todas irrigações executadas. Seu valor foi de 28,4mm na primeira irrigação, 27,1 mm na segunda irrigação e 17,7 mm na terceira.

Em decorrência de aplicações de lâminas deficitárias, as porcentagens de áreas adequadamente irrigadas tenderam a zero (Pivô 10) ou foram iguais a zero (Pivôs 6 e 9). Por outro lado altas eficiências de irrigação foram obtidas, a exceção do pivô 9 por motivos previamente explicados, uma vez que as lâminas aplicadas foram insuficientes levando às perdas por percolação profunda a serem nulas (pivô 6 e 9) ou bem pequenas (pivô 10).

Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por BONOMO (2000), que avaliou este tipo de equipamento no estado de Minas Gerais mostrando assim que o manejo de irrigação adotado para sistemas do tipo pivô central na cafeicultura ainda é deficiente em ambas as regiões.

Desconsiderando os valores de eficiência em potencial de aplicação, calculada na avaliação do pivô 9, uma vez que como foi explicado anteriormente os dados da vazão estimada deste sistema não condizem com a realidade, os valores das perdas calculadas, através da metodologia proposta

por Bernardo, ficaram na faixa de 90,2 a 92,7%, com as perdas variando de 7,3 a 9,8%. Por outro lado, os valores da eficiência em potencial de aplicação ($EP_{aKeller}$), estimados a partir da metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990), apresentaram valores de 97,8 a 98,1%, ou seja, com perdas por evaporação e arraste pelo vento variando de 1,9 a 2,2% da lâmina aplicada.

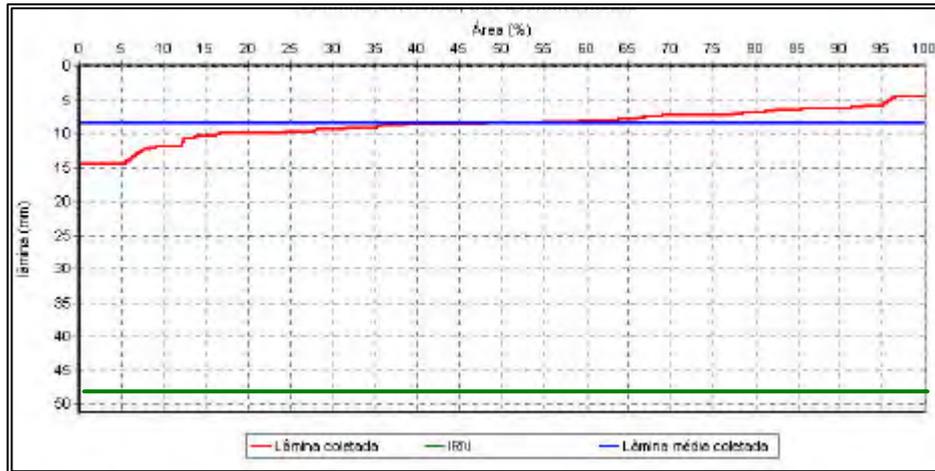
Foi observado que a eficiência em potencial de aplicação (EP_a), que representa as perdas por evaporação e arraste pelo vento, para os sistemas por aspersão, apresentou valores maiores quando estimados através da metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990), em comparação aos valores obtidos através do método convencional, aqui denominado método BERNARDO (1995). Este fato já era esperado em razão da metodologia proposta por Keller, representar as condições médias do dia da avaliação, representando, portanto, um valor mais amplo das condições gerais, enquanto a metodologia proposta por Bernardo fornece o valor momentâneo para as condições em que o teste foi realizado. Como os testes foram realizados durante o dia, quando as condições proporcionam maiores perdas por evaporação e arraste é normal que a eficiência em potencial de aplicação, segundo Bernardo, apresente valores menores quando comparados ao método proposto por Keller. Pode-se concluir então que a metodologia proposta por Keller representa melhor a condição de realização da irrigação, em sistemas por pivô central, que geralmente são feitas durante um longo período abrangendo o dia e a noite, ou somente durante a noite.

A partir dos valores encontrados de $EP_{aKeller}$, da eficiência de condução dos sistemas e da ED_{80} , determinou-se a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto (Eip_{80}), considerando-se um ajuste na lâmina aplicada para o valor referente ao déficit de água no solo em 80% da área. Nos sistemas avaliados os valores de Eip_{80} variaram de 77 a 85,1% significando que a lâmina bruta a ser aplicada nestes sistemas, para que 80% da área seja adequadamente irrigada, deve ser de 1,17 a 1,3 vezes maior que a lâmina requerida.

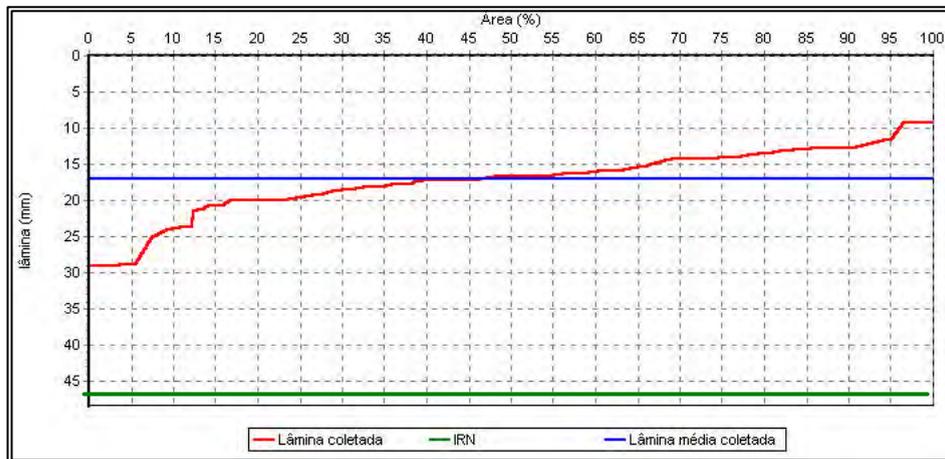
Como pode ser observado nas figuras 9, 10 e 11, as lâminas aplicadas foram extremamente baixas quando comparadas às lâminas requeridas,

fazendo com que as porcentagens de área adequadamente irrigadas e as perdas por percolação tendessem a zero ou fossem iguais a zero. Porém se imaginarmos a adoção de um programa de manejo onde as lâminas aplicadas sejam iguais às lâminas requeridas, fazendo com que nas figuras a seguir as linhas azuis coincidam com as linhas verdes, teríamos para o pivô 6, pivô 9 e pivô 10 uma área adequadamente irrigada de aproximadamente 47%, de 55% e 57% respectivamente.

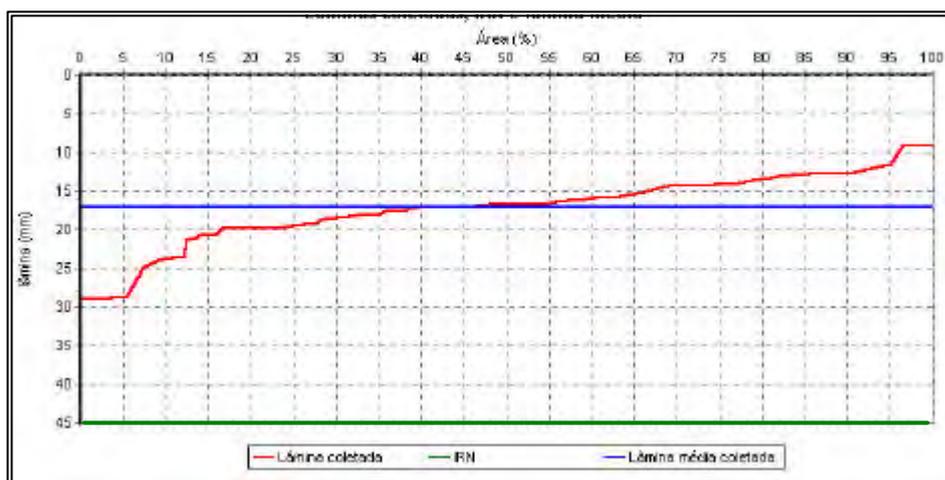
Pode ser observada nestes resultados uma relação direta entre a porcentagem de área adequadamente irrigada obtida e o coeficiente de uniformidade do sistema, uma vez que, o sistema denominado pivô 10 que apresentou o melhor resultado no que diz respeito à área adequadamente irrigada, possui o maior CUC, por sua vez, o pivô 6 com o pior resultado, é dentre os três sistemas, o que possui o CUC mais baixo.



(a)

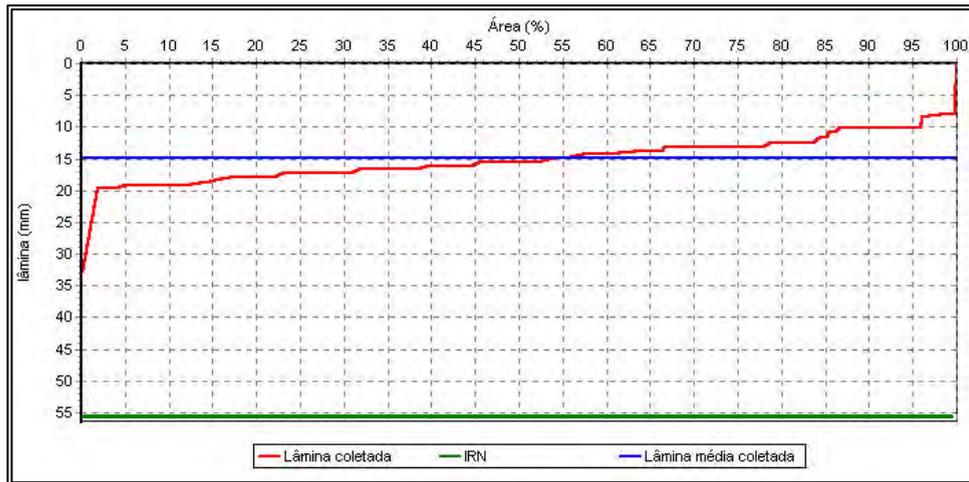


(b)

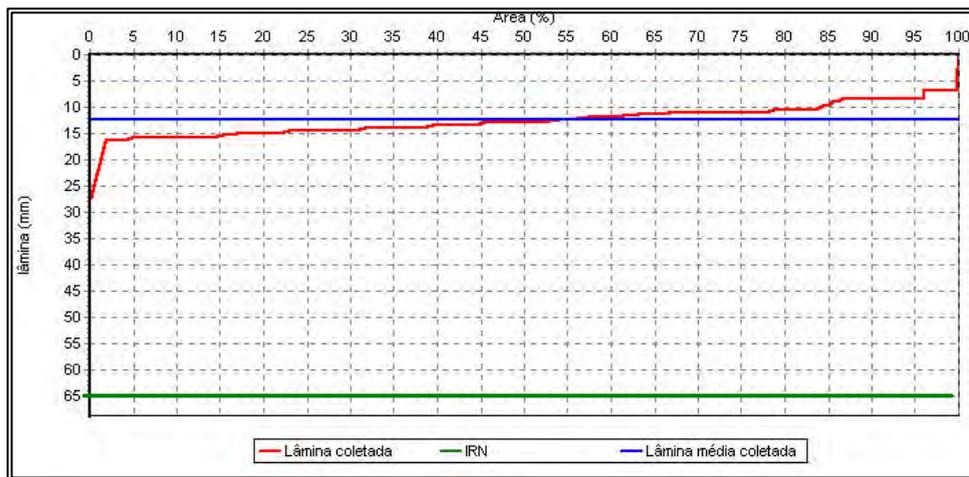


(c)

Figura 9 – Lâmina coletada, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada ponderada em função da porcentagem de área irrigada, para o pivô 6 na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) irrigação.

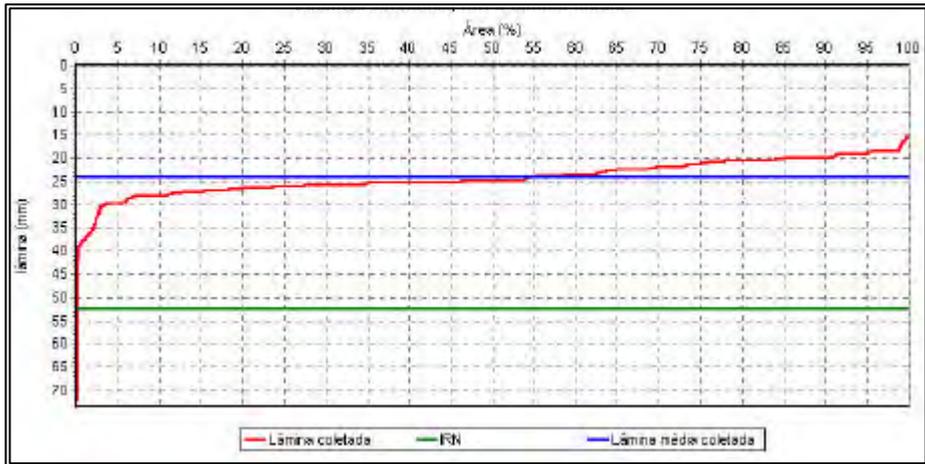


(a)

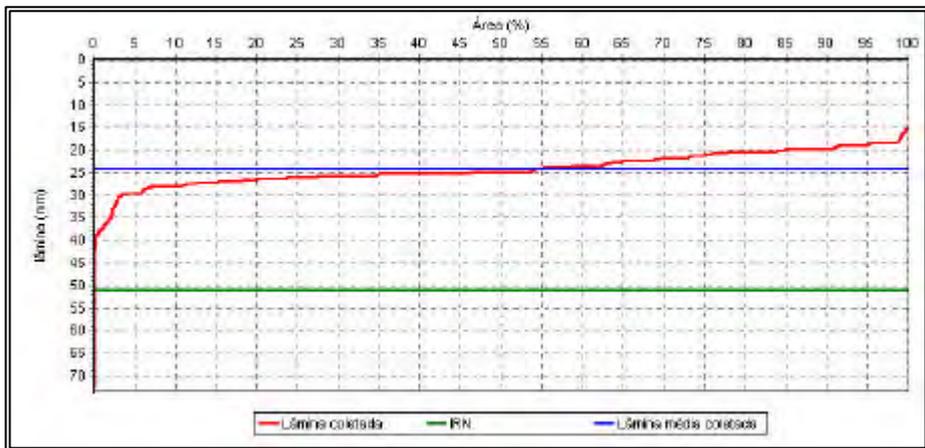


(b)

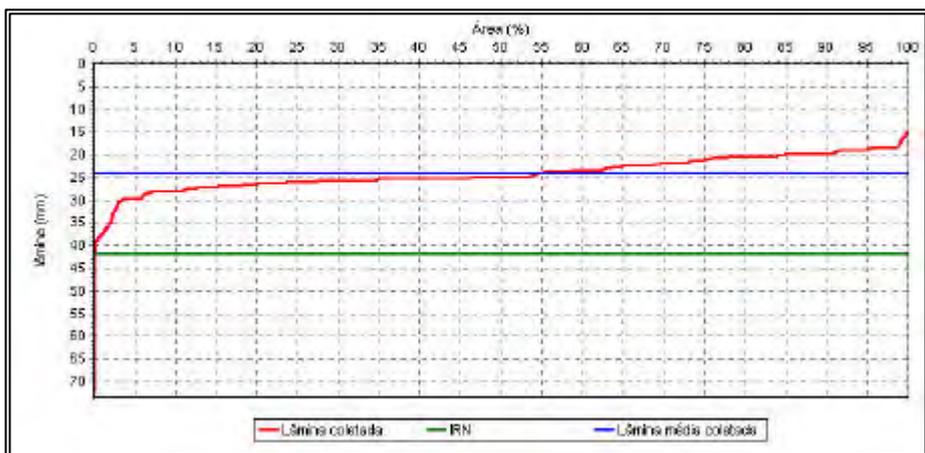
Figura 10 – Lâmina coletada, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada ponderada em função da porcentagem de área irrigada, para o pivô 9 na primeira (a) e segunda (b) irrigação.



(a)



(b)



(c)

Figura 11 – Lâmina coletada, irrigação real necessária (IRN) e lâmina média coletada ponderada em função da porcentagem de área irrigada, para o pivô 10 na primeira (a), segunda (b) e terceira (c) irrigação.

As práticas de manejo de irrigação adotadas pelos cafeicultores da região em estudo que utilizam o sistema por pivô central são, em geral, baseadas em critérios pessoais do irrigante sem nenhum controle de dados climáticos da região e/ou conhecimento dos parâmetros físico hídricos do solo da propriedade. Este fato leva a deficiência do manejo de irrigação com distorções em relação ao momento de se irrigar e na quantidade de água a ser aplicada.

A adoção de métodos de manejo mais modernos, mesmo que simplificados, certamente traria melhoria à qualidade de irrigação.

4.3.2. Análise de manejo utilizando-se o software SISDA 3.0

Neste estudo, foram selecionados os pivôs 1, 3 e 4 para a comparação dos manejos adotados utilizando-se para isto o programa computacional SISDA 3.0.

É importante ressaltar, que os produtores não foram influenciados nas tomadas de decisão durante o período de estudo. Não sendo repassada qualquer informação que pudesse alterar o manejo de irrigação adotado por eles.

Os valores de capacidade de campo foram estimados a partir da curva característica de retenção de água, tendo sido adotada também neste caso a tensão de 0,1 atm para se determinar à umidade correspondente à capacidade de campo. No quadro 10 são apresentadas as análises texturais dos solos das propriedades de cada pivô estudado.

Quadro 10 – Análise textural dos solos das propriedades avaliadas sob o ponto de vista do manejo

Sistema	Camadas (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação textural
Pivô 1	0 – 20	50	23	5	22	Franco argilo arenoso
	20 – 40	40	25	8	27	Franco argilo arenoso
	40 – 60	44	23	5	28	Franco argilo arenoso
Pivô 3	0 – 20	50	33	2	15	Franco argilo arenoso
	20 – 40	45	25	8	22	Franco argilo arenoso
	40 – 60	40	18	10	32	Argilo arenoso
Pivô 4	0 – 20	49	26	1	24	Franco argilo arenoso
	20 – 40	40	31	3	26	Franco argilo arenoso
	40 – 60	39	30	3	28	Franco argilo arenoso

Observa-se no Quadro 10, características texturais bastante homogêneas nas áreas de estudo com a predominância de areia em sua composição.

No Quadro 11 são apresentados os valores dos parâmetros físico-hídricos dos solos destas propriedades. A capacidade de campo variou de 11,3 a 20,2% e o ponto de murcha de 6,1 a 13,0%. Os valores de massa específica encontrados variaram de 1,6 a 1,7 g.cm⁻³, podendo estes serem considerados altos, característica esta comum na região.

Os valores de disponibilidade total de água (DTA) variaram de 0,8 a 1,8 mm.cm⁻¹ estando dentro da faixa de disponibilidade para solos de textura média (BERNARDO, 1995). Estes valores se devem principalmente a alta massa específica destes solos.

Quadro 11 – Valores de capacidade de campo (Cc), ponto de murcha (Pm), massa específica do solo (Me), disponibilidade total de água (DTA) para diferentes camadas amostradas e capacidade total de armazenamento (CTA) em cada sistema por pivô central avaliado, sob o ponto de vista de manejo, durante o período de um ano

Sistema	Camadas (cm)	Cc (%)	Pm (%)	Me (g.cm ⁻³)	DTA (mm.cm ⁻¹)	CTA (mm)
Pivô 1	0 - 20	13,1	7,2	1,6	0,9	82
	20 - 40	16,5	7,4	1,6	1,4	
	40 - 60	19,3	8,8	1,7	1,8	
Pivô 3	0 - 20	11,3	6,1	1,6	0,8	66
	20 - 40	15,3	8,2	1,7	1,2	
	40 - 60	20,2	13,0	1,7	1,2	
Pivô 4	0 - 20	12,0	7,2	1,6	0,8	54
	20 - 40	14,2	7,8	1,6	1,0	
	40 - 60	14,3	9,0	1,7	0,9	

No Quadro 12 apresentam-se os parâmetros da cultura, das três propriedades avaliadas, que foram utilizados no programa computacional SISDA 3.0 para se gerar a simulação do que ocorreu durante o período de estudo, no que diz respeito à disponibilidade de água para as plantas. Neste trabalho a profundidade do sistema radicular foi definida igual a 0,6 metros baseando-se em características do solo da região, da cultura e em informações passadas pelos próprios produtores. O coeficiente da cultura (Kc) foi estipulado de acordo com recomendações do FAO 24, que propõe o valor de 0,8 para cafeeiros em idade adulta em fase de produção.

Quadro 12 – Profundidade do sistema radicular, idade, coeficiente da cultura, espaçamento de plantio, porcentagem de cobertura do solo e número de plantas por hectare, nas três propriedades avaliadas, sob o ponto de vista de manejo, durante o período de um ano

Propriedade	sistema radicular (metros)	Idade (anos)	Coef. da cultura (Kc) -	Espaçamento de plantio (metros)	Cobertura (%)	Plantas por hectare (ud)
Pivô 1	0,6	3	0,8	2,5 x 0,8	30	5000*
Pivô 3	0,6	5	0,8	2,5 x 1,5	80	2700
Pivô 4	0,6	4	0,8	3 x 1,2	80	2800

* Na área em questão apenas 50% das plantas (2500 plantas) estão em fase de produção.

A propriedade denominada Pivô 1 possui 5000 plantas por hectare, porém, deste total, apenas 2500 plantas se encontram em fase de produção, devido ao fato de 50% do stand total da área em questão ter sido replantado, se encontrando ainda na fase vegetativa.

No Quadro 13 serão apresentados resultados gerados pelo programa computacional SISDA 3.0 referentes ao período de um ano, compreendido entre os dias 1/06/99 a 30/06/00.

Quadro 13 – Evapotranspiração diária máxima da cultura, evapotranspiração diária mínima da cultura, evapotranspiração média do período, evapotranspiração total da cultura, somatório das irrigações realizadas, e somatório das precipitações efetivas ocorridas

Parâmetro	unidade	Pivô 1	Pivô 3	Pivô 4
ETc diária máxima	mm	4,5	4,6	4,8
ETc diária mínima	mm	0,7	1,0	0,6
ETc média do período	mm	2,4	2,7	2,6
ETc total do período	mm	870,1	1011,7	961,8
Irrigação realizada	mm	100	196,5	136,0
Precipitação efetiva*	mm	808,1	818,7	822,1

*Precipitação efetiva total menos excesso de água no solo

Pode-se observar no Quadro 13 que, nas propriedades avaliadas, a evapotranspiração diária da cultura variou, nos dias de menor demanda, de 0,6 a 1,0 mm de 4,5 a 4,8 mm nos dias de maior demanda hídrica. Os valores médios de Eto variaram 2,4 a 2,7mm. As irrigações realizadas totalizaram 100 mm na propriedade denominada pivô 1, 196,5 mm na propriedade pivô 3 e 136 mm na propriedade pivô 4. As precipitações efetivas variaram de 808,1 mm a 822,1 mm, durante o período de estudo. Vale a pena ressaltar que estas precipitações foram bem distribuídas durante o período e em quantidade boa, tendo sido este ano considerado pelos produtores, atípico no que diz respeito às chuvas. Devido a este fato, a água fornecida via irrigação para as culturas representou apenas 11,0% do total de entrada de água, na propriedade denominada pivô 1, 19,3% na propriedade denominada pivô 3 e 14,1% na propriedade denominada pivô 4.

As entradas e saídas de água, durante o período do trabalho, foram bem similares nas três propriedades estudadas, com diferenças que podem ser consideradas pequenas já que se trata de um período de 1 ano.

No Quadro 14, apresentam-se os resultados do ocorrido, no que diz respeito à disponibilidade de água para as plantas, durante o período crítico para o cafeeiro que vai do florescimento ao final do enchimento de grãos. Neste caso este período abrange 7 meses, iniciando-se em setembro e indo até o final de março.

Quadro 14 - Déficit médio de água no solo, número de dias com déficit de água no solo superior a 60% (NDDS_{60%}), evapotranspiração da cultura, somatório das irrigações realizadas, somatório das precipitações efetivas ocorridas, e produtividade da cultura obtida em cada propriedade

Parâmetro	unidade	Pivô 1	Pivô 3	Pivô 4
Déficit de água médio	%	39,1	42,6	41,5
NDDS _{60%}	dias	69,0	76,0	73,0
ETc total do período	mm	588,9	694,4	676,7
Irrigação realizada	mm	80,0	108,0	88,0
Precipitação efetiva*	mm	580,8	624,3	623,3
Produtividade da cultura	Sacas /ha	45	65	60

*Precipitação efetiva total menos excesso de água no solo

Através do Quadro 14 pode-se observar, que o déficit médio de água no solo nas três propriedades avaliadas foram semelhantes e não ultrapassaram o fator de disponibilidade de água no solo, que no caso do cafeeiro é de 60%. Porém, em todas as propriedades este déficit foi superior a 60% por mais de dois meses se somarmos todos os dias em que isto ocorreu. Embora este fato não tenha ocorrido de modo contínuo, ou seja, estes dias de déficit superior a 60% foram dispersos ao longo dos sete meses do período, isto demonstra uma falha no manejo de irrigação adotado, uma vez que a cultura se encontrava em uma fase crítica do seu ciclo, no que diz respeito às suas necessidades hídricas.

Ainda no Quadro 14, observa-se que as três propriedades obtiveram boas produtividades, embora a propriedade denominada pivô 1, tenha tido uma produção bem menor em relação às outras duas. Vários podem ser os fatores que influenciaram neste resultado, podendo se destacar o fato desta propriedade ter o menor número de plantas por hectare em produção, além de ter o cafeeiro mais novo, dentre as três propriedades avaliadas. Deve ser ressaltado também que a propriedade denominada pivô 1, é a que tem o seu

sistema de irrigação com o pior desempenho no que diz respeito à uniformidade de aplicação de água, com os dois coeficientes abaixo do mínimo recomendado. Além disto foi nesta propriedade que menos se utilizou o sistema de irrigação durante o período de estudo apesar de que, como foi dito anteriormente, as precipitações foram responsáveis pela maior parte da água fornecida à cultura.

Nas figuras 12,13 e 14, apresentam-se os gráficos com a variação da umidade do solo, das três propriedades avaliadas, ao longo do período de avaliação. Pode se notar, analisando os gráficos, que como foi dito anteriormente que a umidade do solo ficou abaixo do mínimo recomendado por vários dias durante o período crítico da cultura.

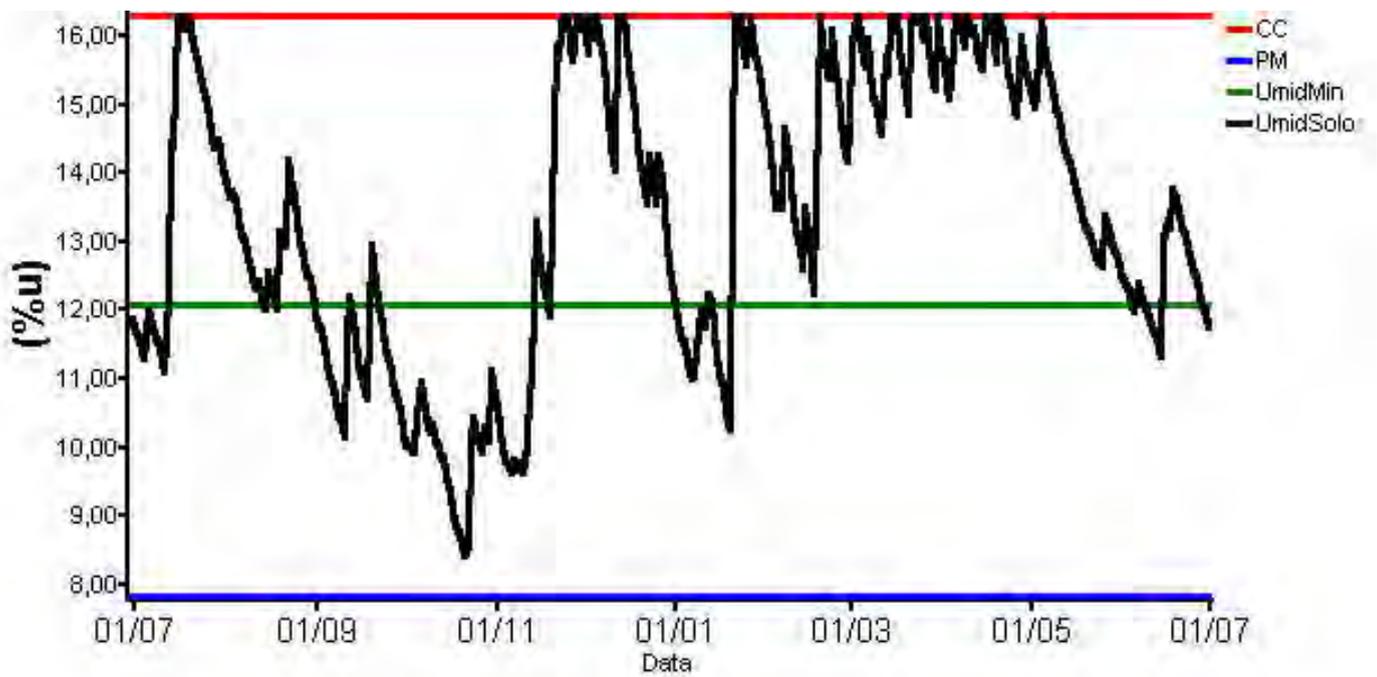


Figura 12 – Gráfico com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM), umidade mínima recomendada, e teor de umidade do solo, ao longo do período de estudo na propriedade denominada Pivô 1.

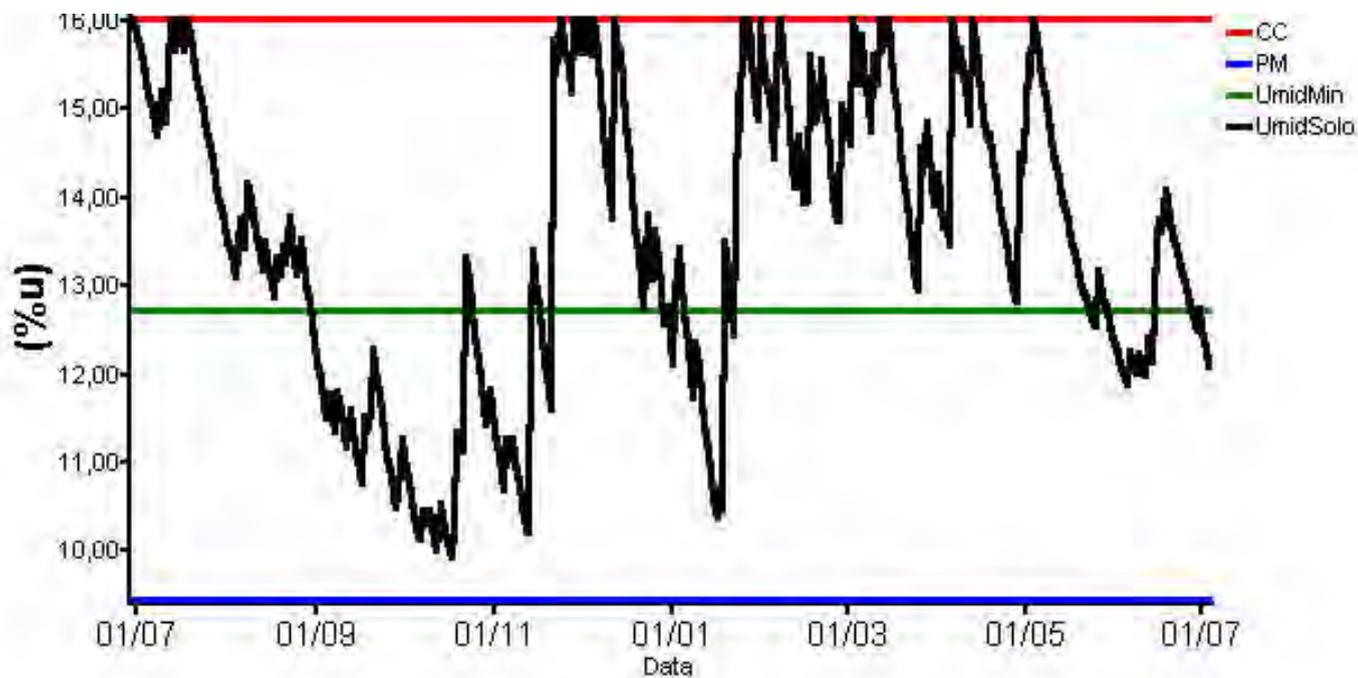


Figura 13 – Gráfico com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM), umidade mínima recomendada, e teor de umidade do solo, ao longo do período de estudo na propriedade denominada Pivô 3.

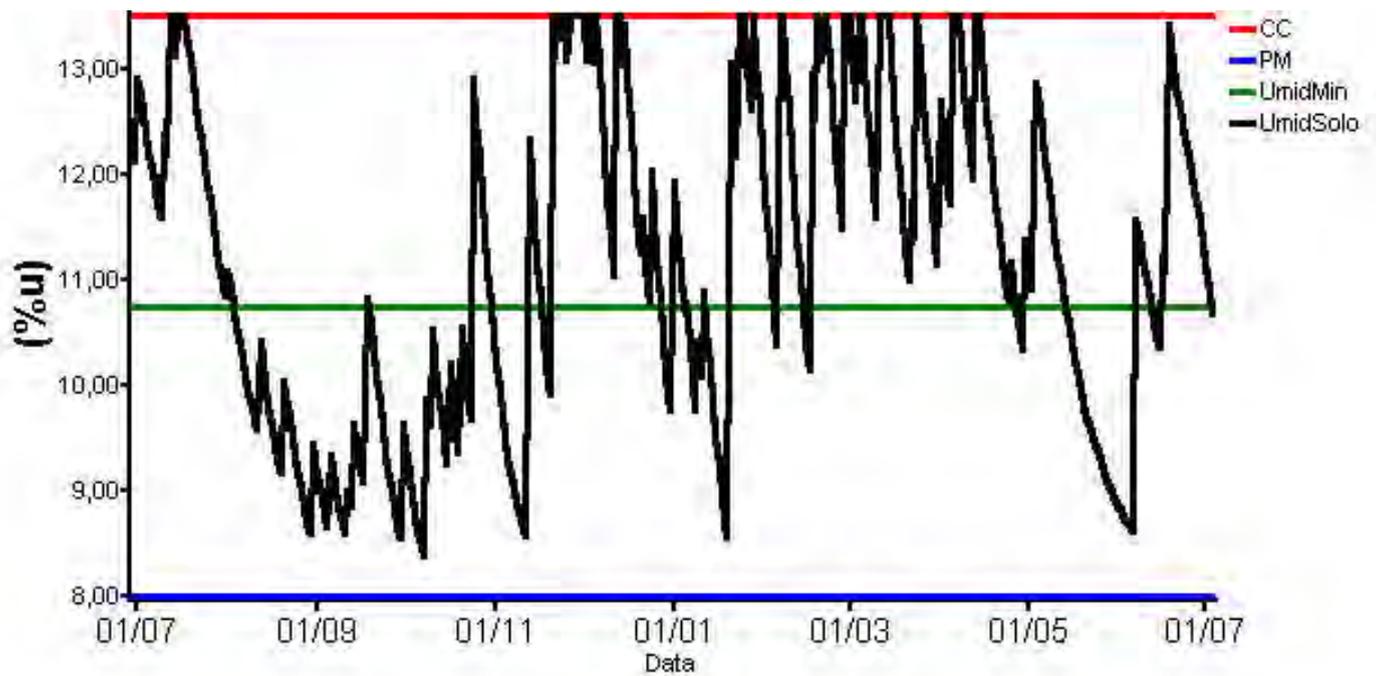


Figura 14 – Gráfico com a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PM), umidade mínima recomendada, e teor de umidade do solo, ao longo do período de estudo na propriedade denominada Pivô 4.

Assim como ocorreu nas avaliações de manejo feitas no momento da irrigação, no estudo feito com o auxílio do programa computacional SISDA 3.0 foram detectadas falhas na condução da irrigação durante o período de acompanhamento, com o déficit hídrico elevado em fases importantes do ciclo da cultura, porém, o regime pluviométrico foi suficiente para garantir uma boa produtividade nas três propriedades.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O trabalho foi conduzido, de julho de 1999 a agosto de 2000, tendo sido avaliados um total de 10 sistemas de irrigação do tipo pivô central, localizados na região Norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia em propriedades produtoras de café conilon representativas da região em questão.

Para caracterizar, sob o ponto de vista de engenharia, os sistemas de irrigação por pivô central nas regiões norte do Espírito Santo e Extremo Sul da Bahia, foram realizadas avaliações em um total de dez sistemas localizados em diversos municípios da região.

Para se fazer um estudo do manejo adotado pelos irrigantes da região foram selecionados três pivôs. Para isso foram feitas em cada propriedade três avaliações consecutivas, a exceção de uma propriedade que só foi avaliada duas vezes, não havendo interferência dos pesquisadores na tomada de decisão, do momento de se irrigar e da quantidade de água a ser aplicada.

Nestas avaliações foram analisados vários parâmetros tais como o momento da irrigação, a lâmina aplicada, a eficiência de aplicação de água, a lâmina armazenada, a lâmina percolada e a porcentagem de área adequadamente irrigada.

Em um estudo complementar do manejo de irrigação adotado, outras três propriedades foram selecionadas e acompanhadas durante o período de um ano para se avaliar o que ocorreu, com a disponibilidade de água para as plantas.

Nestas áreas, registros do tempo de funcionamento dos pivôs, juntamente com os registros de consumo de energia e informações locais

(questionários com produtores), permitiram estimar a lâmina aplicada e o número de irrigações realizadas, no intervalo de um ano.

Os resultados de uniformidade e lâmina média aplicada por irrigação, juntamente com as informações das datas das irrigações realizadas neste período foram inseridos no programa computacional SISDA-3.0 (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola, versão 3.0). Além disto os dados de temperatura, umidade relativa, velocidade de vento e tempo de brilho solar, referentes ao clima e provenientes da estação climatológica mais próxima do local (Sooretama e São Mateus no ES), os dados referentes ao solo (características físico-hídricas) e referentes à cultura (coeficiente da cultura, características do ciclo, porcentagem de cobertura do solo e profundidade do sistema radicular), das propriedades em questão, também foram inseridos no programa gerando, assim, uma simulação do manejo de irrigação adotado pelos produtores e permitindo, com isto, verificar o que ocorreu, no que diz respeito à disponibilidade de água para as plantas, neste período de um ano.

Complementando o estudo, dados de produtividade destas áreas foram obtidos, procurando-se assim estabelecer uma relação entre a disponibilidade de água para a cultura durante o período e a produtividade obtida em cada propriedade.

Os resultados obtidos, nas condições em que os trabalhos foram conduzidos, possibilitaram as seguintes conclusões:

- Os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen, nos dez pivôs avaliados, foram em média, superiores a 81%, enquanto os valores do coeficiente de uniformidade de distribuição foram, em média, superiores a 74%, indicando uma boa uniformidade de distribuição de água nos sistemas avaliados, valendo a pena ressaltar, porém, que em 20% dos casos (2 pivôs) pelo menos um dos coeficientes de uniformidade estava com valores abaixo do mínimo recomendado.

- As irrigações foram feitas na maior parte dos casos com atraso.

- As lâminas de irrigação aplicadas foram bem menores que as lâminas requeridas para se elevar o teor de umidade do solo à capacidade de campo, proporcionando assim uma baixa porcentagem de área adequadamente irrigada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, J. A. C. **Análise do comportamento de uma população de café icatu (H-4782-7) sob condições de irrigação por gotejamento e quebra vento artificial**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982. 87p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ/USP, 1982.
- ASSIS, L. L., CASTRO, P. T. Avaliação de sistema de irrigação por pivô central. **Engenharia Rural**, v. 4, n. 1, p. 74-88, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Sistema de irrigação por aspersão pivô central, caracterização de desempenho - método de ensaio. 1^o Projeto de Normas**. Rio de Janeiro, 1985. 22p.
- BARRETO, G. B., REIS, A. J., DEMMATÊ, B. J., IGUE, T. Experiência de irrigação e modo de formação de café novo. **Bragantia**, v. 31, n.4, p. 41-50, 1972.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 596p.
- BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1999. 224p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) - UFV, 1999.
- 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: 2001. p. 42-48.
- BRIDSON, D. M. Studies in *Coffea* and *Psilanthus* (Rubiaceae subfam. Cinchonoideae) for part 2 of flora of tropical East África: Rubiaceae. **Kew Bulletin**, 36(4): 817-59, 1982.

- CAMARGO, A. P. Necessidades hídricas do cafeeiro. **III Curso Prático Internacional de Agrometeorologia**. 22p. 1989.
- CAMARGO, A. P., MATIELLO, J. B., ANDRADE, I. P. R. Quantificação climática da rega para café conilon (*Coffea canephora*) nas condições de Linhares - ES. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS**, 14, 1987, Campinas - SP. Anais... Rio de Janeiro, RJ. p 20-24.
- CHEVALIER, A. **Lês caféiers du globe. III**. Systématique dès caféiers et faux- caféiers, maladies et insects nuisibles. Paris, Paul Lechevalier, 1947.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by Sprinkling**. Berkley: University of Califórnia, 1942. 124p. (Bull, 670).
- COSTA, L. C. Agrometeorologia. In: MANTOVANI, E. C., COSTA, L. C. (ed.). **WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE MANEJO INTEGRADO DAS CUTURAS E RECURSOS HÍDRICOS**, 1, Resumos. Brasília, 1998, p. 3-21.
- DADALTO, G. G. , PREZOTTI, L. C. Irrigação do café. In: COSTA, E. B.(Coord.). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193p. (irrigation and drainage Paper, 33).
- FURUKAWA, C. **Avaliação de Irrigação por Pivô Central na Região de Rio Verde – GO**. Viçosa: UFV, 1991. 68p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, 1991.
- GUTIERREZ, M. V., MEINZER, F. C. Estimating water use irrigation requirements of coffee in hawaii. **Journal of the American Society of Horticulture Science**. 1994.119(3), p 652-657.

- GYLLEY, J. R. Suitability of reduced pressure center – pivot. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**. ASCE, New York. 110 (1): 22-34. March 1984.
- HEERMANN, D.F., HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center - pivot sprinkler irrigation system. **Transactions of the ASAE**, II (I): 11-15, 1968
- JAMES, L. G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: John Wiley & Sons, 1988. 543p.
- JENSEN, M. E. **Design and Operation of Farm Irrigation Systems**. St. Joseph, Madison, ASAE, 1983. 829p.
- KELLER, J. **Sprinkle Irrigation**. Logan, Utah State University, 1979. s. p.
- KELLER, J., BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.
- KINCAID, D. C. & HEERMANN, D. F. Pressure distribution on a center-pivot sprinkler irrigation system. Trans. Of the ASAE, St. Joseph, Madison. 13 (5): 556-558. 1970.
- MATIELLO, J. B. DANTAS, F. S. Desenvolvimento do cafeeiro e seu sistema radicular, com e sem irrigação, em Brejão (PE). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS**, Campinas, 1987. Anais... Campinas: 1987. p. 165 – 166.
- MATIELLO, J. B. **O café - do cultivo ao consumo**. São Paulo. Globo. 1991. 320p.
- MERRIAM, J. L., SHEARER, M. N., BURT, C. M. Evaluating irrigation systems and practices. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. p. 721-762. (Monograph, 3).

- NJORGE, J. M. A review of some agronomic investigations on arabica coffee in Kenya. **Kenya Coffee**. v. 54, n. 629, p. 553-567, 1989.
- NOGUEIRA, C. Z. O fantasma da energia elétrica. **A Granja**. Porto Alegre, RS. 44 (488): 21. 1988.
- REIS, G. N., MIGUEL, A . E., OLIVEIRA, J. A. Efeito da irrigação, em presença e ausência da adubação NPK, em cafeeiros em produção – Resultados de 3 produções - em Caratinga – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16, Espírito Santo do Pinhal, 1990. **Anais...** Espírito Santo do Pinhal: 1990. p. 19-21.
- ROCHA, E. M. M., MAPURUNGA, S. M. S., COSTA, R. N. T., CASTRO, P. T., AGUIAR, O. S. Uniformidade e eficiência de aplicação da água de irrigação por aspersão convencional na superfície e perfil do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Poços de Caldas, 1998. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. V. 1, P. 325.
- SAAD et. al. Irrigação: porque avaliar o desempenho dos equipamentos. **Item**, 32: 32 – 34, 1988.
- SANTOS, N. C. **Uniformidade de distribuição e eficiência em potencial de aplicação de água em um sistema de irrigação do tipo pivô central, em condições de cerrado**. Viçosa, MG, Imprensa Universitária, 1988. 80p. (Tese M.S.)
- SCALOPPI, E. J. Exigências de energia para irrigação. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.12, n.2, p. 13-17, 1985.
- SILVA, A. E. S., COSTA, E. B. Irrigação do café. In: COSTA, E. B.(Coord.). **Manual técnico para a cultura do café no estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG-ES, 1995.

- SILVA, E. M., AZEVEDO, J. A., GUERRA, A. F., FIGUERÊDO, S. F., ANDRADE, L. M., ANTONINI, J. C. A.. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: FARIA, M. A., SILVA, E. L., VILELA, L. A. A., SILVA, A. M. (Eds.) **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p239- 280.
- 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: 1993. p 2688-2702.
- SOARES, J. M., COSTA, F. F., SANTOS, C. R. Manejo de irrigação em fruteiras. In: FARIA, M. A., SILVA, E. L., VILELA, L. A. A., SILVA, A. M. (Eds.) **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p281-310.
- TARJUELO MARTÍN-BENITO, J. M. **El riego por aspersión y su tecnología**. Madrid: Mundi-Prensa, 1995. 491p.
- ZANINI, J. R., OLIVEIRA, J. C., PAVANI, L. C., PEDROSO, P. A., VALIM, M. R. Efeito da irrigação no desenvolvimento vegetativo de cafeeiros novos. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 23, Campinas, 1994. 30p. (manuscrito).

APÊNDICES

APÊNDICE A

Questionário utilizado para entrevista com os irrigantes

1) Nome: _____

2) Endereço: Rua: _____

_____, Nº _____

_____, Apto _____

Cidade: _____

_____, Estado: _____

_____ Fone: (_____) _____

3) Propriedade(s) onde cultiva café:

Nome	Município	Área cultivada com café (ha)		
		Irigado	Sistema	Não Irrigado

4) Há quantos anos utiliza a irrigação? _____

5) Qual o sistema de irrigação utilizado, e a área irrigada por cada sistema?

() Pivô, _____ ha. () Gotejamento, _____ ha.

() "Tripa", _____ ha.

() Autopropelido ("canhão"), _____ ha. () Outros, _____

_____ ha.

6) Qual a produtividade média em sacas beneficiadas por hectare das lavouras:

Irigadas _____ sc ben./ha. Não irrigadas _____ sc

ben./ha.

8) Em que meses do ano irriga?

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ

9) De quantos em quantos dias você faz a irrigação em uma mesma área, ou seja qual o turno de rega empregado?

() um dia. () 2 dias. () 3 dias. () 5 dias. () 7 dias. () 15 dias. () 20 dias. () 30 dias,

() outro _____ dias.

10) Qual a lâmina de água, em mm (milímetros), aplicada a cada irrigação? _____

11) Em que foi baseado o turno de rega a ser utilizado e a quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação? _____

12) Qual tempo necessário para mudar de posição durante a irrigação? _____

13) Qual a fonte de água utilizada:

() rio () córrego () represa () lago

() poço artesiano

14) Na lavoura de café é feita aplicação de adubos via água de irrigação? () Sim () Não.

15) Na lavoura de café é feita aplicação de defensivos via água de irrigação? () Sim () Não.

16) Em sua(s) fazenda(s) é feito a coleta de algum dados meteorológico?

() Chuva () Temperatura () Umidade relativa () Outros, quais? _____

17) Custos com mão-de-obra:

- Quantas pessoas são necessárias para o manejo de irrigação? _____

_____.

- Qual valor médio do(s) salário(s)? _____

_____.

18)Custo de manutenção do sistema de irrigação:

- Vida útil das peças, reposição de peças:

- Consumo de combustível:

APÊNDICE B

Formulário utilizado para avaliação dos sistemas

Avaliação de Sistemas de Irrigação Pivô Central

- 1 - Local: _____ Cidade: _____ Data: _____
- 2 - Propriedade: _____ Proprietário: _____
- 3 - Cultura: idade: _____ profundidade da zona radicular: _____ (cm)
Tempo irrigado: _____ Altitude em que se encontra a lavoura: _____ (m)
- 4 - Equipamento: Marca: _____
Comprimento _____ (m), D. da Tubulação: _____
Dist. entre Torres _____ (m), Balanço _____ (m),
Tipo de emissores _____, Presença de regulador de pressão (),
Presença de Canhão (), Bomba “Booster” ().
Raio molhado pelo canhão _____ (m).
- 5 - Área irrigada = _____ (ha)
- 6 - Diferença de Nível: L-O _____ (m), N-S _____ (m).
- 7 - Diâmetro: Menor Bocal _____ (mm), Maior bocal _____ (mm),
- 8 - Tempo por volta: _____ hr, para uma dada regulagem do percentímetro (_____ %).
- 9 - Vazão do pivô (de projeto): _____ m³/h.
- 10 - Coletores: Área _____ cm², espaçamento entre col. _____ m.

11 - Determinação da umidade do solo:

Repetição 1

Pos.	N ^o amostra	Camada	Solo úmido + recipiente (g)	Solo seco + recipiente (g)	Recipiente (g)	Umidade atual (% peso)
P1						
P2						
P3						

Repetição 2

Pos.	N ^o amostra	Camada	Solo úmido + recipiente (g)	Solo seco + recipiente (g)	Recipiente (g)	Umidade atual (% peso)
P1						
P2						
P3						

Repetição 3

Pos.	N ^o amostra	Camada	Solo úmido + recipiente (g)	Solo seco + recipiente (g)	Recipiente (g)	Umidade atual (% peso)
P1						
P2						
P3						

12 - Determinação da massa específica do solo:

Repetição 1

Pos.	N ^o amostra	Camada	Solo seco + recipiente (g)	Recipiente (g)	Solo Seco (g)	Volume (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
P1							
P2							
P3							

Repetição 2

Pos.	N ^o amostra	Camada	Solo seco + recipiente (g)	Recipiente (g)	Solo Seco (g)	Volume (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
P1							
P2							
P3							

Repetição 3

Pos.	N ^o amostra	Camada	Solo seco + recipiente (g)	Recipiente (g)	Solo Seco (g)	Volume (cm ³)	Massa específica (g/cm ³)
P1							
P2							
P3							

13 – Coleta da precipitação:

		Raio 01	Raio 02
Data:			
Hora:			
Reg. perc. (%)			
Esp. col. (m)			
Pressão pt (.....)			
Pressão ext(.....)			
Vel. ult. torre	espaço		
	Tempo		
Vel. vento	início		
	meio		
	final		
Direção vento	início		
	meio		
	final		
Direção do raio em rel. ao ponto			
Altitude ponto.			
Altitude ext.			
Evaporação	Inicial		
	final		

Raio 1			Raio 2		
N. Torre	Posição do Coletor	Volume	N. Torre	Posição do Coletor	Volume
	1			1	
	2			2	
	3			3	
	4			4	
	5			5	
	6			6	
	7			7	
	8			8	
	9			9	
	10			10	
	11			11	

	12			12	
	13			13	
	14			14	
	15			15	
	16			16	
	17			17	
	18			18	
	19			19	
	20			20	
	21			21	
	22			22	
	23			23	
	24			24	
	25			25	
	26			26	
	27			27	
	28			28	
	29			29	
	30			30	
	31			31	
	32			32	
	33			33	
	34			34	
	35			35	
	36			36	
	37			37	
	38			38	
	39			39	
	40			40	
	41			41	
	42			42	
	43			43	
	44			44	
	45			45	
	46			46	
	47			47	
	48			48	
	49			49	

	50			50	
	51			51	
	52			52	
	53			53	
	54			54	
	55			55	
	56			56	
	57			57	
	58			58	
	59			59	
	60			60	
	61			61	
	62			62	
	63			63	
	64			64	
	65			65	
	66			66	
	67			67	
	68			68	
	69			69	
	70			70	
	71			71	
	72			72	
	73			73	
	74			74	
	75			75	
	76			76	
	77			77	
	78			78	
	79			79	
	80			80	
	81			81	
	82			82	
	83			83	
	84			84	
	85			85	
	86			86	
	87			87	

	88			88	
	89			89	
	90			90	
	91			91	
	92			92	
	93			93	
	94			94	
	95			95	
	96			96	
	97			97	
	98			98	
	99			99	
	100			100	
	101			101	
	102			102	
	103			103	
	104			104	
	105			105	
	106			106	
	107			107	
	108			108	
	109			109	
	110			110	