





Capítulo 13

Irrigação do Cafeeiro Conilon

José Geraldo Ferreira da Silva e
Edvaldo Fialho dos Reis



1. INTRODUÇÃO

A irrigação da agricultura tem sido uma importante estratégia para otimização da produção mundial de alimentos, gerando desenvolvimento sustentável no campo, empregos e renda, de forma estável. Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas.

No passado, a utilização da irrigação era uma opção técnica de aplicação de água que visava principalmente à luta contra a seca. Hoje, a irrigação, no foco do agronegócio, se insere em um conceito mais amplo de agricultura irrigada, sendo uma estratégia para aumento da produção, da produtividade e da rentabilidade da propriedade agrícola, de forma sustentável, preservando o meio ambiente e criando condições para manutenção do homem no campo através da geração de empregos permanentes e estáveis.

Ultimamente, no Brasil, tem havido muito plantio de café em zonas com restrição hídrica. Por isso, o uso da prática de irrigação em cafezais tem crescido muito nos últimos anos como consequência das variabilidades climáticas observadas nessas regiões cafeeiras e, ainda, em razão de certas mudanças nas temperaturas e distribuições pluviiais, que torna o clima mais seco em regiões que, anteriormente, não apresentavam problemas significativos de suprimento de água para o cafeeiro.

A água de irrigação é um novo insumo para a cafeicultura brasileira, disponível em praticamente todas as propriedades agrícolas. Seu uso racional pode proporcionar um salto na produtividade em pequenas, médias e grandes explorações cafeeiras por fornecer nutrientes existentes no solo e até por conduzir fertilizantes e defensivos necessários à lavoura.

O grau de umidade do solo influencia diversos processos fisiológicos da planta, considerando-se seu efeito direto sobre o crescimento e indireto na absorção dos nutrientes existentes na solução do solo. O cafeeiro, como as demais culturas, necessita de água facilmente disponível no solo em sua fase vegetativa, para promover o crescimento de ramos laterais ou plageotrópicos, e em sua fase reprodutiva (floração, expansão e granação dos frutos) para se desenvolver e se produzir satisfatoriamente.

A irrigação é uma técnica tão significativa para o cafeeiro, que já permite situá-lo entre as principais culturas irrigadas do Brasil. Levantamentos preliminares indicam que 10% da área plantada de café no Brasil é irrigada, estando esta concentrada principalmente no norte do Espírito Santo, no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, em Minas Gerais, e no oeste da Bahia.

Segundo Mantovani (2001), em avaliações preliminares, existem mais de 200.000 ha de cafeeiros irrigados concentrados principalmente nos Estados do Espírito Santo (60 a 65%), Minas Gerais (20 a 25%) e Bahia (10 a 15%). Segundo o autor, apesar da maior concentração de projetos serem nas regiões onde ocorrem restrições hídricas por um período prolongado, já é grande também a implantação de projetos de irrigação em áreas tradicionais de cafeicultura, permitindo maiores produtividade e qualidade final do produto.

O uso da irrigação em cafeeiro é uma tecnologia que vem se mostrando viável ao longo dos tempos, principalmente em regiões onde a distribuição das chuvas tem causado déficit moderado a severo no período que coincide com o abotoamento floral à granação. Isso ocorre, por exemplo, no norte do Estado do Espírito Santo, onde normalmente as chuvas se concentram nos meses de outubro a março.

Considerando, ainda, que o processo de colheita e poda provoca a remoção de um grande número de folhas e que isso ocorre juntamente com o início do período seco no Estado do Espírito Santo, as plantas não conseguem, através de novas brotações, recuperar as folhas perdidas em tempo hábil de garantir uma boa florada, devido ao estresse que se estabelece. Assim, torna-se importante nessa época do ano o uso da irrigação para fornecer água às plantas, objetivando a recuperação delas.

2. NECESSIDADES HÍDRICAS DO CAFEIRO CONILON

Poucos são os estudos relacionando à irrigação do cafeeiro conilon. Assim, muitas das informações apropriadas para o café arábica estão sendo utilizadas na cafeicultura do conilon.

Existem materiais genéticos que proporcionam respostas significativas em produtividade quando irrigados, porém outros pouco respondem. Normalmente, os materiais mais tolerantes à seca respondem menos à irrigação e, obviamente, os mais sensíveis respondem mais. Em observações de campo, comparando materiais genéticos em condições irrigadas e não-irrigadas, verificou-se que as respostas podem variar de 20 a 260% em ganho na produtividade, mantendo-se o mesmo sistema de produção.

Em anos em que as chuvas ocorrem de forma bem distribuída, verifica-se que a lavoura não apresenta ganhos significativos na produtividade quando se compara à lavoura irrigada com uma não-irrigada, ou seja, não responde significativamente à irrigação.

É importante ressaltar que as novas variedades de café conilon estão sendo desenvolvidas procurando-se uma maior tolerância ao déficit hídrico no solo; isso passa a ser de grande importância, uma vez que, assim, apenas uma irrigação suplementar nos períodos mais críticos do ano traz respostas significativas à produtividade. É bom lembrar que, para uma planta obter altos índices de produtividade, é necessário que tenha uma área foliar suficiente para tal, além, é claro, de outros fatores, tais como clima favorável, nutrientes no solo, controle de pragas, doenças e plantas daninhas, poda etc.

Considerando que o cafeeiro conilon é uma cultura tolerante ao estresse hídrico e que se tem procurado selecionar plantas cada vez mais tolerantes a esse estresse, os conceitos da irrigação nesta cultura passam a ser um pouco diferentes, pois se pode trabalhar com o conceito da irrigação deficitária e não total. O maior problema está na questão de como deve ser este manejo. Até que ponto a planta pode sofrer com o déficit hídrico sem, contudo, perder em produtividade, principalmente quando se considera também as questões econômicas e ambientais?

Apesar de o conilon ser considerado como tolerante ao déficit hídrico no solo, tem-se observado que as lavouras irrigadas produzem consideravelmente mais do que as lavouras não-irrigadas, principalmente naqueles anos em que as chuvas ocorrem de forma mal distribuídas.

Deve-se lembrar que, devido à diversidade de materiais genéticos do cafeeiro, o vigor da lavoura e as respostas à suplementação hídrica via irrigação podem ser bem adversas. Existem materiais genéticos que proporcionam respostas significativas à irrigação, porém outros vão apresentar respostas pouco significativas.

Assim, ao pensar em irrigar uma lavoura, primeiro deve-se avaliar o potencial produtivo dela antes de qualquer decisão, pois a irrigação sozinha não resolve o problema de produtividade das lavouras; ela é apenas uma das tecnologias fundamentais do processo produtivo. A irrigação é importante, principalmente para a manutenção da produtividade ao longo dos anos. Esta é a consciência

da maioria dos produtores capixabas, uma vez que boa parte do parque cafeeiro do Estado do Espírito Santo é irrigado. Porém, com relação ao manejo, não existe a consciência de que um bom manejo da irrigação pode contribuir para aumento da produtividade, redução dos custos de produção, e ainda pode reduzir os impactos no meio ambiente.

Isso pode ser comprovado analisando-se o mapa do zoneamento agroecológico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo (DADALTO; BARBOSA, 1997), no qual se verifica que toda a área possível de produção de café robusta é sujeita ao algum déficit hídrico, que pode variar de 50 a 550 mm ano. Assim, pode-se afirmar que praticamente quase toda a região produtora de café robusta do Estado tem alguma limitação de produtividade devido ao déficit hídrico, podendo, nesses casos, ser necessário o emprego da técnica da irrigação.

Santinato, Fernandes e Fernandes (1996), ao discutirem aptidão hídrica do cafeeiro robusta, afirmaram que as regiões cujo déficit hídrico anual varia entre 150 e 200 são consideradas como aptas à cafeicultura, mas podem exigir irrigações ocasionais. Regiões com déficit hídrico também entre 200 e 400 mm podem ser consideradas como aptas, desde que se utilize irrigação suplementar. Já nas regiões com déficit hídrico maior que 400 mm, o plantio do café robusta só será possível com a utilização da irrigação.

Saraiva e Silveira (1995), estudando a variabilidade e os efeitos da irrigação na produção do café conilon nos diferentes estádios fenológicos da cultura, verificaram que os melhores períodos para irrigar o cafeeiro foram aqueles compreendidos entre o abotoamento à floração e da floração ao pegamento dos frutos, correspondendo respectivamente aos períodos de março a agosto e de julho a outubro, período em que o déficit hídrico no Estado do Espírito Santo é acentuado.

Silveira e Carvalho (1996) verificaram que o desenvolvimento inicial do botão floral é retardado, mantendo-se dormente, quando o cafeeiro conilon é irrigado durante o período que corresponde à indução e ao desenvolvimento do botão floral. Com isto, concluíram que os botões florais alcançam o mesmo grau de desenvolvimento, ocasionando uma florada mais uniforme.

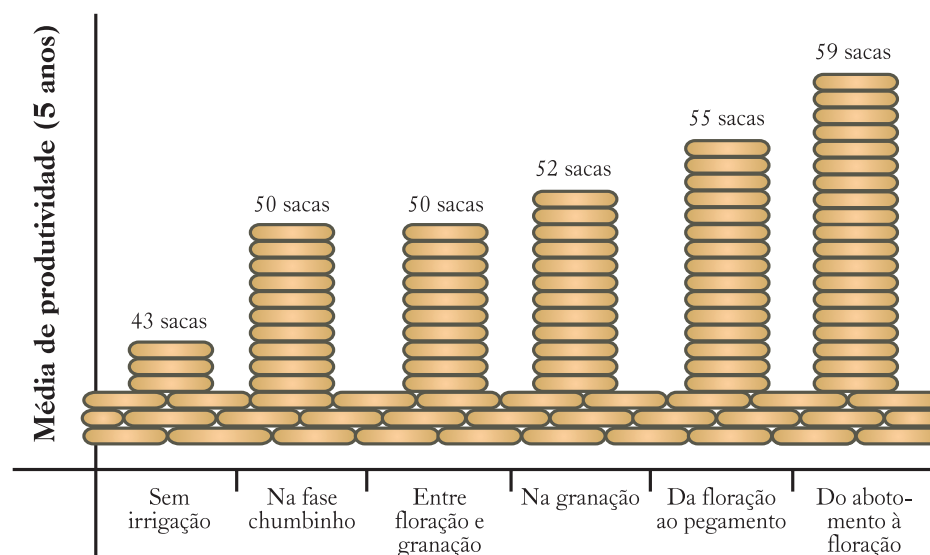


Figura 1. Efeito da irrigação em diferentes fases vegetativas do cafeeiro conilon. (Adaptado de Sales e Pinto, 1998).

Analisando a Figura 1, pode-se observar que a fase mais importante para irrigar o cafeeiro conilon é aquela que vai do abotoamento à floração. Neste caso, obteve-se um ganho de produtividade de aproximadamente 37% em relação ao não-irrigado. Isto vem mostrar a importância do manejo da água no cafeeiro para obtenção de uma florada mais uniforme e assegurar uma produtividade estável ao longo dos anos.

Como vantagens da irrigação do cafeeiro, Mantovani (2001) cita a antecipação em até um ano a primeira colheita, redução do índice de replantio de mudas, maior produção na primeira safra, possibilidade da fertirrigação, ampliação da época de plantio, entre outras vantagens. Porém, deve-se salientar que a irrigação é uma das técnicas fundamentais para o aumento da produtividade, e não a técnica. Aliada à irrigação, é preciso que se faça o controle de plantas daninhas, pragas e doenças, podas, desbrotas, adubações de cobertura e que se utilize material genético compatível com a tecnologia a ser empregada. Todos esses fatores interagem contribuindo para uma alta produtividade e qualidade da produção.

Dentre as características não determinadas, pode-se citar o coeficiente cultural (K_c) do cafeeiro. Santinato, Fernandes e Fernandes (1996), estudando o K_C em lavouras irrigadas no Triângulo Mineiro, nordeste de Minas Gerais e oeste da Bahia, sugerem, como uma primeira aproximação, os valores apresentados no Quadro 1.

Quadro 1. Valores de K_c para o cafeeiro

Idade	Espaçamento entre ruas e entre plantas (m)	K_C
1. Adulta > 3 anos	A) > 3,0 x > 1,0 – 2.500 plantas/ha >	1,0
	B) > 3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas/ha	1,1
	C) 2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0 – 6,666 plantas/ha	1,2
	D) 1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas/ha	1,3
2. Nova 1 a 3 anos	A) > 3,0 x > 1,0 – 2.500 plantas/ha >	0,8
	B) > 3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas/ha	0,9
	C) 2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0 – 6,666 plantas/ha	1,0
	D) 1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas/ha	1,1
3. Nova até 1 ano	A) > 3,0 x > 1,0 – 2.500 plantas/ha >	0,6
	B) > 3,0 x 0,5 a 1,0 – 3.333 plantas/ha	0,7
	C) 2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0 – 6,666 plantas/ha	0,8
	D) 1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0 – 13.333 plantas/ha	0,9

Fonte: Santinato, Fernandes e Fernandes (1996).

2.1 ESTIMATIVA DA NECESSIDADE HÍDRICA DO CAFEIRO

2.1.1 Aspectos básicos do manejo

Considerando o aspecto água, o solo é equivalente a uma caixa d'água para as plantas. Ele armazena parte da água que infiltra através de sua superfície para que seja absorvida pelas plantas posteriormente. A Figura 2 representa esquematicamente o armazenamento de água nos poros do solo, considerando o solo como uma caixa com saídas.

O solo quando está saturado, o que ocorre logo após uma irrigação ou chuva, o excedente é drenado, permanecendo uma parte do espaço poroso do solo vazio, sem água. A umidade remanescente neste ponto é denominada de capacidade de campo (CC). Quando ocorre extração de água, a partir deste ponto, pelas raízes das plantas, a umidade do solo continua reduzindo, até chegar a um ponto que elas não mais conseguem absorver água em quantidade suficiente para manter a planta túrgida. Quando a murcha ocorre e a planta não mais se recupera, sem reposição de água no solo, diz-se que o solo atingiu o ponto de murcha permanente (PM). Isto ocorre a valores de tensão próximos de 15 atm. A água que está retida com tensão entre 1/10 e 15 atm (solos arenosos) e entre 1/3 e 15 atm (solos argilosos) é conhecida como água total disponível para as plantas (CTA), e a água retida com tensão superior a 15 atm é conhecida como “água inativa”. Tais limites variam com o tipo de solo e não devem ser tomados como um ponto fixo de referência, pois eles são afetados pelas interações solo-água-clima-planta, e as variabilidades espacial e temporal do solo as afetam.

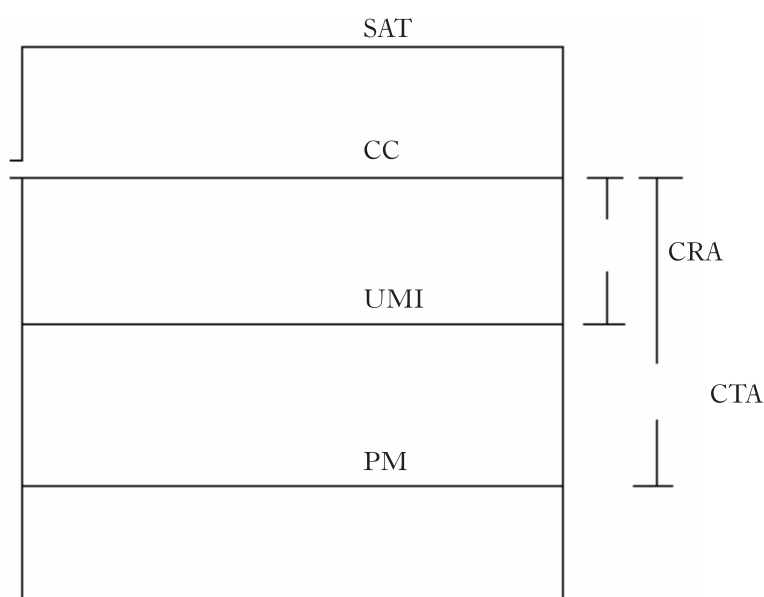


Figura 2. Esquema do solo como uma caixa d'água para as plantas. (Adaptado de Mantovani e Soares, 1988).

Sabe-se que as plantas começam a perder em produtividade a partir de um nível de extração de água do solo. Desta forma, é recomendável que se faça a reposição da água antes que a umidade do solo atinja o PM. Este ponto é chamado de umidade de irrigação (UMI). Este ponto de umidade ideal para repor a água no solo é muito difícil de se obter na prática, pois é variável com o tipo do solo, o valor econômico da cultura, a produtividade esperada, a disponibilidade hídrica, podendo até mesmo ser influenciado pelo tipo do sistema de irrigação.

A Tabela 1 fornece algumas propriedades físicas dos solos em função de sua textura, usuais na elaboração de projetos de sistemas de irrigação. Esses valores devem ser utilizados com muito critério e somente quando não existir outra informação, sendo que o mais correto é obter informações para cada solo, em cada projeto.

A quantidade de água armazenada entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente,

até uma profundidade Z , chama-se capacidade total de água no solo (CTA) e pode ser definida pela equação 1.

$$CTA = \frac{C_c - PM}{100} \rho \cdot Z \cdot \frac{P_m}{100} \quad \text{eq. 1}$$

em que:

DTA = disponibilidade total de água no solo, mm;

C_c = capacidade de campo, % em peso;

PM = ponto de murcha, % em peso;

ρ = massa específica do solo, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$;

Z = profundidade da camada em estudo, mm; e

P_m = percentagem de área molhada, %.

Tabela 1. Características físico-hídricas dos diferentes tipos de solos

Textura Do Solo	Infiltração (cm H^{-1})	Porosidade total (%)	Peso Específico aparente (g cm^{-3})	Capacidade de Campo (%)	Ponto murcha (%)	Água disponível (cm m^{-1})
Arenoso	5,00(2,5-22,5)	38(32-42)	1,65(1,55-1,80)	9(6-12)	4(2-6)	8(6-10)
Franco arenoso	2,50(1,3-7,6)	43(40-47)	1,50(1,40-1,60)	14(10-18)	6(4-8)	12(9-15)
Franco	1,30(0,8-2,0)	47(43-49)	1,40(1,35-1,50)	22(18-26)	10(8-12)	17(14-10)
Franco argiloso	0,80(0,25-1,5)	49(47-51)	1,35(1,30-1,40)	27(23-31)	13(11-15)	19(16-22)
Argilo arenoso	0,25(0,03-0,5)	51(49-53)	1,30(1,25-1,35)	31(27-35)	15(13-17)	21(18-23)
Argiloso	0,05(0,01-0,1)	53(51-55)	1,25(1,20-1,30)	35(31-39)	17(15-19)	23(20-25)

Obs.: Em parênteses encontram-se os intervalos usuais. Os valores de infiltração podem variar mais que o indicado, em função da estrutura e estabilidade dos agregados do solo.

Fonte: Mantovani e Soares (1988).

No caso da irrigação por aspersão, molha-se toda a área do projeto, logo a percentagem de área molhada é 100%, assim sendo $(P_m/100) = 1$.

À medida que a planta extrai a água do solo, o potencial matricial reduz, exigindo que as plantas aumentem o gasto de energia para extraí-la, alterando, assim, a partição dos fotoassimilados que seriam convertidos em produção. Portanto, para que a produtividade da cultura não seja afetada significativamente, somente uma parte do total da água disponível pode ser utilizada pela cultura, conforme equação 2.

$$CRA = CTA \cdot f \quad \text{eq. 2}$$

em que:

CRA = capacidade real de armazenamento de água no solo, mm; e

f = fator de disponibilidade.

O fator de disponibilidade ou fator de risco define a umidade mínima do solo (U_m) a que a cultura pode ser submetida sem afetar significativamente a sua produção. Muitos fatores influenciam os limites efetivos do fator f e afetam o desenvolvimento e a produtividade da cultura. Recomendam-se valores menores para culturas sensíveis ao déficit hídrico, ou que sejam comercializadas em peso

verde (Quadro3). Outro aspecto a ser considerado, segundo diversos autores, é o desenvolvimento quantitativo e qualitativo do sistema radicular da cultura, que implica menor ou maior capacidade de reação da planta para enfrentar uma diminuição na disponibilidade hídrica. Portanto, esse fator deve ser determinado, por meio de pesquisas, para cada região.

Quando esse fator não for conhecido para uma dada região, pode-se utilizar os valores recomendados conforme Tabela 2. Para o mamoeiro, que é uma planta bastante sensível ao déficit de umidade no solo, devem-se utilizar preferencialmente os valores do terceiro grupo.

Tabela 2. Valores do fator de disponibilidade f

Cultura e Profundidade Radicular	Valores de F (%)
Forageiras, grãos e culturas com sistema radicular profundo	50
Pomar e culturas com sistema radicular de profundidade média	40-50
Raízes rasas, frutas e vegetais de preços elevados	24-40

Fonte: Mantovani e Soares (1988).

Para efeito de manejo, alguns autores consideram como regra prática a metade da profundidade radicular da cultura adulta para o primeiro e segundo estágio de desenvolvimento. Entretanto, para cada ambiente de estudo, deve-se conhecer a função de crescimento das raízes da cultura, fazendo-se determinações periódicas no campo, até as plantas atingirem o estágio adulto.

O turno de irrigação ou frequência de irrigação é definido conforme a equação 3.

$$TR = \frac{CRA}{ETc} \quad \text{eq. 3}$$

em que:

TR = turno de rega, em dias;

CRA = capacidade real de armazenamento de água no solo, mm; e

ETc = evapotranspiração da cultura, mm.dia⁻¹.

Deve-se ter sempre em mente que a evapotranspiração varia ao longo do ciclo da cultura, ou seja, o turno de rega varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura. Logicamente, para efeito de projeto, deve-se considerar a evapotranspiração máxima da cultura.

A evapotranspiração de uma cultura (ETc) pode ser estimada por vários métodos. O método mais difundido usa o produto da evapotranspiração de uma cultura de referência (ETo) por um coeficiente de cultura (Kc). Há vários métodos para se estimar a ETo, porém eles devem ser avaliados para cada região.

Nos sistemas convencionais de irrigação, a evapotranspiração é expressa em termos de lâmina diária para toda a área irrigada, porém, na irrigação localizada, normalmente não se molha toda a superfície e nem esta é totalmente sombreada. Portanto, ao calcular a evapotranspiração média na área do projeto, deve-se considerar a percentagem de área sombreada pela planta e/ou percentagem de área molhada, obedecendo à equação 4.

$$ETc = ETp(0,0085Ps + 0,15)Kc.Ks \quad \text{eq. 4}$$

em que:

ETc = evapotranspiração da cultura, mm/dia;

ETp = evapotranspiração potencial, mm/dia;

Ps = percentagem de área sombreada ou molhada, considerar o maior, %;

Kc = coeficiente cultural; e

Ks = coeficiente de solo.

A percentagem de área sombreada pela planta é a relação entre a área da projeção horizontal da copa da planta e a área ocupada pela planta. Normalmente, para a fruticultura, os pomares adultos atingem valor máximo de sombreamento de 80%, mas nos cultivos muito adensados este valor pode ser ainda maior, podendo chegar até 100% de cobertura do solo.

O coeficiente de solo (Ks) funciona como um fator de penalização da ETc quando o turno de irrigação for maior que um dia e é variável com o intervalo entre irrigações e a profundidade do sistema radicular, como indicado na Tabela 3.

Tabela 3. Coeficiente de solo em função do intervalo entre irrigações e a profundidade do sistema radicular

Profundidade das raízes (cm)	Dias após a última irrigação ou chuva						
	1	2	3	4	5	6	7
0 – 20	1,00	0,96	0,93	0,88	0,83	0,78	0,71
0 – 40	1,00	0,98	0,96	0,95	0,92	0,90	0,88
0 – 60	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94	0,93

Fonte: Mantovani e Soares (1988).

Conhecendo-se a capacidade real de armazenamento de água, a quantidade total de água a ser reposta em cada irrigação será dada pela equação 5.

$$ITN = \frac{CRA}{Ef} \quad \text{eq. 5}$$

em que:

ITN = irrigação total necessária, mm;

CRA = capacidade real de armazenamento de água no solo, mm; e

Ef = eficiência do sistema de irrigação, em decimal.

Em irrigação por aspersão esta eficiência pode ser obtida pela equação 6.

$$Ef = Ed.Ec.Eap \quad \text{eq. 6}$$

em que:

Ef = eficiência do sistema de irrigação, em decimal;

Ed = eficiência de distribuição de água, em decimal;

Ec = eficiência de condução de água da fonte até a área irrigada, em decimal; e

Eap = eficiência em potencial de aplicação de água, em decimal.

No caso de irrigação por aspersão, normalmente deixa-se que a planta consuma toda a água disponível, ou seja, a água equivalente à capacidade real de armazenamento do solo. Já no caso da irrigação por gotejamento, raramente esta condição é atingida, uma vez que o intervalo entre irrigações é muito pequeno.

A eficiência dos sistemas de irrigação é influenciada por muitos fatores, tais como qualidade do projeto, manutenção corretiva e preventiva, topografia do terreno, idade do equipamento etc. Desta forma, ela deve ser obtida em condições reais de campo. Como um indicativo de eficiência de irrigação pode-se considerar que, em irrigação por aspersão convencional com movimentação periódica, a eficiência varia entre 70 e 85%; em sistemas de irrigação autopropelido e convencional com canhão hidráulico, a variação da eficiência é entre 60 e 75% e nos sistemas convencionais fixos, a eficiência deve variar entre 70 e 88%.

No caso de irrigação por gotejamento, não existe perdas por arraste pelo vento, e as perdas por evaporação podem ser desprezadas, logo pode-se considerar $E_{ap} = 1$. Como a tubulação normalmente é toda soldável, as perdas na condução são nulas. Desta forma $E_c = 1$, portanto a eficiência de irrigação em irrigação por gotejamento passa a ser igual à uniformidade de aplicação de água.

O volume de água a ser aplicado por planta será então, dado pela equação 7:

$$V_p = ITN \cdot S_p \cdot S_f \quad \text{eq. 7}$$

em que:

- V_p = volume de água a ser aplicado por planta, l;
- ITN = irrigação total necessária, mm;
- S_p = espaçamento entre plantas na linha de plantio, m;
- S_f = espaçamento entre linhas de plantio, m.

2.1.2 Métodos de estimativa da evapotranspiração

A irrigação é atividade agrícola cujo objetivo é o fornecimento de água às culturas, de modo a atender às suas exigências hídricas nas diferentes fases de desenvolvimento, sendo que tais exigências irão depender fundamentalmente das condições climáticas vigentes e da disponibilidade de água no solo.

A irrigação é normalmente utilizada para viabilizar a exploração agrícola em regiões de clima semi-árido, em regiões com secas regulares, ou, ainda, em regiões com secas esporádicas (veranicos), onde se provê estabilidade da produção, minimizando os efeitos adversos provocados pela deficiência hídrica nas culturas e, conseqüentemente, os riscos econômicos associados.

Sendo a condição meteorológica o principal fator condicionante de demanda atmosférica por vapor, a estimativa correta da necessidade hídrica das culturas e, a partir desta, a determinação da quantidade de água a ser reposta ao solo para a manutenção das condições ideais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas tornam-se fundamentais tanto ao planejamento (dimensionamento de projeto), quanto ao manejo da irrigação (quando e quanto irrigar).

Assim sendo, diversos métodos foram desenvolvidos e ainda estão sendo desenvolvidos para melhorar a estimativa das necessidades hídricas das culturas.

Antes de se discutir propriamente os métodos de estimativa da evapotranspiração, é preciso conhecer alguns conceitos elementares:

Evaporação (E) → é o processo pelo qual a água na fase líquida é convertida em vapor e removida da superfície evaporante. Para que este processo ocorra, é necessário que haja fornecimento de energia ao sistema. Na natureza, essa energia é proveniente da energia solar.

Transpiração (T) → é o processo pelo qual ocorre perda de água, na forma de vapor, pelas plantas. Essa transferência de vapor d'água para a atmosfera se dá predominantemente através das folhas. A manutenção da transpiração se dá pela reposição da água perdida, através dos estômatos, pela água absorvida pelas raízes, que é conduzida até as folhas pelo sistema condutor. Além da umidade relativa do ar, outros fatores contribuem para o processo: a radiação solar e a temperatura do ar, responsáveis pela energia necessária à evaporação; e a velocidade do vento, atuando na remoção desse vapor. Outros fatores, como disponibilidade de água no solo, sistema de manejo, salinidade do solo, espécie e fase fenológica, também interferem na taxa de transpiração.

Evapotranspiração (ET) → é o processo de transferência de água para a atmosfera por evaporação do solo e por transpiração das plantas. Em um solo úmido, a partição entre evaporação e transpiração depende da radiação solar que atinge a superfície do solo, o que, por sua vez, depende da cobertura vegetal. Quando a cobertura vegetal é pequena, a evapotranspiração se dá predominantemente pela evaporação da água no solo; porém, com o crescimento da cultura e aumento da cobertura do solo, a transpiração passa a ser o processo predominante.

Evapotranspiração de referência ou potencial (ET_o) → também denominada de potencial (ETP), é a taxa de evapotranspiração que ocorre de uma superfície de referência (padrão), cuja característica que a define é a extensa superfície vegetada com grama, com altura entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo ($IAF = 2,88$), cobrindo totalmente a superfície do solo e bem suprida de água. Nessas condições, ET_o é uma variável dependente exclusivamente das condições meteorológicas, o que a torna também um elemento meteorológico, expressando, desse modo, o potencial de evapotranspiração de um local, em cada época do ano, sem levar em consideração fatores do solo e da planta.

Evapotranspiração da cultura sob condições padrões (ET_c) → também denominada de máxima (ET_m), é a evapotranspiração que ocorre em uma cultura, em qualquer fase de seu desenvolvimento, desde a semeadura/plantio até a maturação, sem a atuação de fatores que possam comprometer seu desenvolvimento, com ocorrência de pragas e doenças, deficiência nutricional e/ou deficiência hídrica. Nessas condições ótimas, a ET_c é uma variável dependente das condições meteorológicas e da área foliar da cultura (IAF). Além desses fatores, outros, como anatomia das folhas, características dos estômatos e o albedo.

Evapotranspiração da cultura sob condições não preconizadas (ET_{c adj}) → é a evapotranspiração que ocorre em culturas que estejam em condição não-padrões, ou seja, sob condições de advecção de calor sensível, de deficiência hídrica, de deficiência nutricional, com ocorrência de pragas ou doenças, ou ainda, de salinidade do solo. Quando as condições de solo e fitotécnicas da cultura são boas mas ela está sob efeito de advecção de calor sensível, a ET_{c adj} passa a ser maior que a ET_c, sendo denominada evapotranspiração de oásis. Já sob condições de baixa fertilidade, de

deficiência hídrica, ou com incidência de pragas e doenças ou sob condições de salinidade, a ET_{cadj} passa a ser menor que a ET_c , sendo chamada de evapotranspiração real.

2.1.2.1 Fatores que afetam a evapotranspiração

Resumidamente podem ser divididos em três categorias:

A – Fatores climáticos

- **Saldo de radiação (R_n)** → principal fonte de energia para o processo da evapotranspiração. Depende da radiação solar incidente e do albedo da vegetação.

- **Temperatura do ar (T)** → o calor sensível contribui com parte da energia necessária ao processo de evapotranspiração, e a temperatura também está diretamente ligada à umidade relativa e ao déficit de saturação do ar.

- **Umidade relativa do ar (UR)** → atua juntamente com a temperatura, determinando o déficit de saturação do ar, um dos componentes do poder evaporante do ar.

- **Vento (U)** → responsável pela remoção do ar saturado junto à superfície evaporante das folhas. Além disso, é responsável pelo transporte de calor de áreas mais secas (advecção de calor sensível). É o outro componente do poder evaporante do ar.

B – Fatores da planta

- **Espécie** → relacionado à arquitetura foliar, à resistência ao transporte de vapor no estômato e a outros aspectos morfológicos que interferem diretamente na evapotranspiração.

- **Coefficiente de reflexão (albedo)** → afeta o saldo de radiação, principal fonte de energia para o processo de evapotranspiração.

- **Área foliar** → relacionada ao tamanho da superfície foliar disponível para o processo de transpiração. Quanto maior a área foliar, maior a exigência hídrica da planta.

- **Altura da planta** → interfere na relação planta-atmosfera. Plantas altas interagem mais com a atmosfera em movimento, extraíndo mais energia do ar.

- **Profundidade do sistema radicular** → relacionado ao volume de solo explorado pelas raízes, objetivando o suprimento de água à planta.

C – Fatores de manejo e do solo

- **Espaçamento/densidade de plantio** → determina o nível de competição entre os indivíduos da mesma espécie. Quanto menor o espaçamento, mais indivíduos e maior consumo de água por área.

- **Tipo de solo** → solos argilosos têm maior capacidade de armazenamento de água do que solos arenosos e, portanto, a capacidade de atender às exigências hídricas das culturas por mais tempo, além do processo de transmissão de água dentro do solo ser menor no solo arenoso.

- **Disponibilidade de água no solo** → afeta diretamente a evapotranspiração quando o volume armazenado cai além do limite crítico, reduzindo-a.

- **Cobertura morta** → reduz a perda de água por evaporação e, conseqüentemente, a evapotranspiração.

• **Impedimentos físicos e/ou químicos** → limitam o crescimento do sistema radicular da cultura, reduzindo o volume de água disponível para uso pelas plantas, ou seja, limita o volume de solo explorado pelas raízes.

Entre os vários métodos de estimativa da ET_0 (evapotranspiração potencial), será dada ênfase apenas aos métodos de Camargo (1971); de Hargreaves e Samani (1985) e o Tanque Classe “A” (DOORENBOS; PRUITT, 1977), porém deve-se deixar claro que existem vários outros métodos de estimativa. A opção por esses métodos se deu devido à facilidade de utilização deles e da disponibilidade de informação meteorológica no Estado do Espírito Santo para sua aplicação.

2.1.2.2 Método de Camargo

Este método foi proposto por Camargo (1971), sendo uma simplificação do método de Thornthwaite (1948). Assim, apresenta as mesmas vantagens (faz uso apenas da temperatura média do ar) e desvantagens (não leva em conta o poder evaporante do ar) que o método original de Thornthwaite, no qual ele se baseia. A vantagem adicional é que este não utiliza as normais de temperatura do ar. Este método foi desenvolvido e testado em condições de clima úmido, portanto apresenta subestimativa em condições de clima seco, por não levar em consideração o poder evaporante do ar. A ET_0 é estimada diretamente a partir da equação 8:

$$ET_0 = 0,01 Q_o \cdot T_{med} \cdot ND \quad \text{eq. 8}$$

em que:

Q_o = irradiância solar extraterrestre (Quadro 5), expressa em mm de evaporação equivalente;

T_{med} = temperatura média do período considerado, em °C;

ND = número de dias do período considerado.

2.1.2.3. Método de Hargreaves e Samani

Método desenvolvido por Hargreaves e Samani (1985) para as condições de clima semi-árido da Califórnia. É recomendado pela FAO como uma opção para estimativa de ET_0 , quando há somente disponibilidade de dados de temperatura do ar local. Normalmente, apresenta superestimativa em condições de clima úmido. Assim como o método de Camargo, não é de aplicação universal e, portanto, deve ser calibrado para outras condições climáticas.

Sua fórmula para estimativa diária da ET_0 é a seguinte:

$$ET_0 = 0,0023 Q_o (T_{max} - T_{min})^{0,5} (T_{med} + 17,8) \quad \text{eq. 9}$$

em que:

T_{max} = temperatura máxima do ar, em °C;

T_{min} = temperatura mínima do ar, em °C;

T_{med} = temperatura média do ar, em °C;

Q_o = irradiância solar extraterrestre, expressa em mm de evaporação equivalente (Tabela 4).

Tabela 4. Irradiância solar extraterrestre (Q_0), expressa em mm.dia⁻¹, para o 15º dia de cada mês, para latitude do Hemisfério Sul

Lat S	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
0°	14.5	15.0	15.2	14.7	13.9	13.4	13.5	14.2	14.9	14.9	14.6	14.3
2°	14.8	15.2	15.2	14.5	13.6	13.0	13.2	14.0	14.8	15.0	14.8	14.6
4°	15.0	15.3	15.1	14.3	13.3	12.7	12.8	13.7	14.7	15.1	15.0	14.9
6°	15.3	15.4	15.1	14.1	13.0	12.6	12.5	13.5	14.6	15.1	15.2	15.1
8°	15.6	15.6	15.0	14.0	12.7	12.0	12.2	13.2	14.5	15.2	15.4	15.4
10°	15.9	15.7	15.0	13.8	12.4	11.6	11.9	13.0	14.4	15.3	15.7	15.7
12°	16.1	15.8	14.9	13.5	12.0	11.2	11.5	12.7	14.2	15.3	15.8	16.0
14°	16.3	15.8	14.9	13.2	11.6	10.8	11.1	12.4	14.0	15.3	15.9	16.2
16°	16.5	15.9	14.8	13.0	11.3	10.4	10.8	12.1	13.8	15.3	16.1	16.4
18°	16.7	15.9	14.7	12.7	10.9	10.0	10.4	11.8	13.7	15.3	16.2	16.7
20°	16.7	16.0	14.5	12.4	10.6	9.6	10.0	11.5	13.5	15.3	16.2	16.8
22°	16.9	16.0	14.3	12.0	10.2	9.1	9.6	11.1	13.1	15.2	16.4	17.0
24°	16.9	15.9	14.1	11.7	9.8	8.6	9.1	10.7	13.1	15.1	16.5	17.1
26°	17.0	15.9	13.9	11.4	9.4	8.1	8.7	10.4	12.8	15.0	16.5	17.3
28°	17.1	15.8	13.7	11.1	9.0	7.8	8.3	10.0	12.6	14.9	16.6	17.5
30°	17.2	15.7	13.5	10.8	8.5	7.4	7.8	9.6	12.2	14.7	16.7	17.6

2.1.2.4 Método do Tanque Classe “A”

O Tanque Classe A (DOORENBOS; PRUITT, 1977) é o método que tem alcançado maior aplicação no manejo de áreas irrigadas, em razão das facilidades operacionais e de se considerar, inicialmente, que o processo de evaporação de um tanque (EVt) está sujeito às mesmas variáveis da ET de uma cultura, corrigindo-se as diferenças por meio de um coeficiente específico, K_p (Tabela 5) em razão das condições climáticas locais e da instalação do tanque. Esse coeficiente transforma a EVt em ET_0 , que posteriormente é multiplicada pelo K_c para determinar a ET da cultura irrigada.

Tabela 5. Valores de coeficiente de conversão do Tanque Classe “A” (K_t) para estimativa da evapotranspiração potencial

Vento (Km/dia)	Exposição A				Exposição B			
	Tanque circundado por grama				Tanque circundado por solo nu			
	Posição do Tanque R(m)*	UR%			Posição do Tanque R(m)*	UR%		
		Baixa <40%	Média 40-70%	Alta <70%		Baixa <40%	Média 40-70%	Alta <70%
Leve <175	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1.00	0,75	0,85	0,85	1.00	0,50	0,60	0,70
Moderado 175-425	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1.000	0,70	0,80	0,80	1.000	0,45	0,55	0,60
Forte 425-700	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,75
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1.000	0,65	0,70	0,75	1.000	0,40	0,45	0,55
Muito forte >700	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,65
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1.000	0,55	0,60	0,65	1.000	0,35	0,40	0,45

* Refere-se à distância média de área coberta, em relação ao tanque.

É bom lembrar que essas informações diárias são úteis para o manejo da irrigação. Para elaboração de projeto o que interessa é a máxima demanda da cultura.

$$ET_o = Evt.K_t \quad \text{eq. 10}$$

onde:

ET_o = Evapotranspiração potencial, mm;

Evt = evaporação do tanque classe A, mm;

K_t = coeficiente de tanque.

Allen et al. (1994) analisaram as dificuldades operacionais da utilização da cultura padrão e suas medidas de ET em lisímetros e propõem a utilização de um novo padrão, definido pela equação de Penman-Monteith. Devido às boas estimativas de ET_o dessa equação (ALLEN et al., 1989; JENSEN et al., 1990) e às exigências e dificuldades para se obter resultados precisos com os lisímetros, os autores indicam que a idéia de utilizar a equação de Penman-Monteith como padrão é promissora e necessária.

Para a utilização dessa equação, torna-se necessário a utilização de estações meteorológicas. Atualmente, essas estações já são uma realidade, devido ao seu baixo custo e à facilidade de comunicação,

podendo ser totalmente automatizadas.

No Estado do Espírito Santo, o Incaper já está disponibilizando diariamente esses dados aos usuários, no seguinte endereço: <http://www.incaper.es.gov.br/clima/index.htm>.

3. SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

As situações econômicas e sociais inerentes a cada região e as diversas condições de solo, água, clima e culturas a serem exploradas possibilitam o uso de diferentes sistemas de irrigação, que podem ser agrupados em três métodos abrangentes: irrigação por superfície, irrigação por aspersão e irrigação localizada.

Mantovani (2001) afirma não haver ainda uma resposta sobre qual o melhor método de irrigação, mas que uma série de fatores define qual o sistema mais adequado para uma determinada situação. Afirma ainda que o cafeicultor dispõe hoje de uma oferta de métodos e marcas de equipamentos de irrigação, comparada a qualquer produtor dos países mais avançados na área agrícola.

A irrigação do cafeeiro tem sido realizada preferencialmente com uso de sistemas pressurizados por aspersão ou localizados. Dentre esses sistemas, destacam-se: aspersão convencional, pivô central, malha, microaspersão e gotejamento.

É importante que o cafeicultor tenha conhecimento das diversas possibilidades para que possa definir de maneira adequada o melhor sistema e equipamento para sua lavoura. Esta definição deve levar em consideração vários aspectos, como área, topografia, a quantidade e qualidade da água, tipo de solo, clima, capacidade de investimento, o nível tecnológico dos produtos, espaçamento da cultura, mão-de-obra disponível, assistência técnica, entre outros.

3.1 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Na irrigação por aspersão convencional a água é aspergida sobre a superfície do terreno, assemelhando-se a uma chuva, por causa do fracionamento do jato de água em gotas. Esses sistemas são geralmente constituídos de tubulações fixas na linha principal e portáteis nas linhas laterais, com características que as tornem de fácil transporte, instalação e montagem, de tal modo que as operações sejam exequíveis manualmente. É um sistema de manejo simples, de baixo custo, e por esse motivo muito utilizado em pequenas e médias propriedades.

As principais vantagens desse sistema são adaptabilidade aos diversos tipos de solo e topografia, possibilidade de bom controle da lâmina de água a ser aplicada, economia de mão-de-obra e água (maior eficiência) à aplicação de fertilizantes e tratamentos fitossanitários e um baixo custo de implantação. Como principais limitações podem-se destacar elevados custos iniciais de operação e manutenção; distribuição de água muito afetada pelos fatores climáticos, principalmente pelo vento; favorecimento ao desenvolvimento de algumas doenças; risco de selamento da superfície do solo; e impropriedade para água com alto teor de sais.

Dependendo do comprimento da linha lateral, sua mudança de posição pode requerer de vinte minutos à uma hora, acarretando uma diminuição do tempo útil de irrigação além da mobilização de boa parte da mão-de-obra disponível para executar o serviço.

A irrigação por aspersão convencional pode utilizar diferentes tipos de aspersores, que variam de tamanho (pequeno, médio ou canhão), número de bocais (1ou 2), material (plástico, ferro), vazão, tamanho de gotas etc. A Figura 3 ilustra uma vista de um sistema com várias linhas de irrigação em funcionamento.

O fato de tal sistema ser muito comum no meio rural tem implicado na importação de vários problemas, como instalação de sistema sem um adequado projeto de engenharia, manejo inadequado do sistema quanto à regulagem de pressão e vazão nos aspersores, mistura de aspersores nas linhas da irrigação, entre outros. É um método exigente em mão-de-obra para mudança das tubulações dos aspersores, sendo que um bom projeto pode otimizar o seu uso pela escolha adequada do aspersor, utilização de linhas de espera, adequada distribuição dos sistemas no campo, utilização de acessórios adequados etc.

Na implantação desse sistema para irrigação do cafeeiro, tem sido comum a utilização de sistemas denominados portáteis, ou seja, sistemas em que a motobomba e a tubulação adutora, principal e laterais, além dos aspersores, são movimentadas de um ponto ao outro da fazenda. Tal sistema, apesar do menor custo inicial, tem trazido inúmeros inconvenientes a uma irrigação de qualidade. O fato da total mobilidade tem trazido uma demora na irrigação de várias áreas, comprometendo sua produtividade, em razão da dificuldade de transportar os equipamentos rapidamente de uma área a outra, em outras palavras, perde-se muito tempo na preparação do sistema.



Figura 3. Parte de um sistema de irrigação por aspersão convencional portátil.

Um exemplo dessa ocorrência foi observado em diversas áreas da Zona da Mata mineira em que um veranico acentuado nos meses de janeiro e fevereiro de 2001 não foi adequadamente evitado em várias áreas irrigadas, função da inércia operacional de retirar o conjunto de irrigação dos galpões e montá-los no momento adequado. Na dificuldade e no trabalho necessário para montar todo o sistema de irrigação, atrasavam muito o início da irrigação, comprometendo a produção e a qualidade final do produto (peneira e bebida).

Diante dos aspectos levantados, recomenda-se a implantação de sistemas de irrigação por aspersão convencional do tipo semi-portátil, ou seja, a motobomba e as tubulações mais difíceis de montagem

rápida (adutora e principal) são fixas, e a linha lateral e os aspersores se movimentam. Tal montagem encarece um pouco o custo do projeto (20 a 30%), mas garante uma irrigação no momento certo, de qualidade e com menos emprego de mão-de-obra.

Os sistemas de irrigação por aspersão convencional caracterizam-se pela exigência de mão-de-obra na mudança das linhas e dos aspersores, o que, em muitos sistemas de produção, torna-se um fator de limitação. Diversas estratégias podem ser utilizadas para minimizar ou eliminar o problema, sendo que cabe ao projetista a escolha da mais adequada para uma determinada situação. Dentre as possibilidades mais comuns podemos citar as seguintes:

- utilização de canhão hidráulico (maior espaçamento);
- utilização de mangueiras e tripés;
- utilização de sistemas fixos enterrados (malha).

O sistema de canhão hidráulico (Figura 4) é uma variação do sistema anterior, em que a modificação é a utilização de aspersores maiores, que possibilitam maior espaçamento entre linhas laterais e aspersores, e, com isto, menor utilização de mão-de-obra, possibilitando irrigação de áreas maiores. Tais sistemas exigem maior consumo de energia em razão da maior pressão necessária para funcionamento do aspersor, embora tenham surgido, nos últimos anos, aspersores canhões mais eficientes, que trabalham com pressões mais baixas.



Figura 4. Detalhe de um canhão hidráulico utilizado na irrigação por aspersão convencional.

A utilização de mangueiras flexíveis (Figura 5) para facilitar a movimentação das linhas de aspersores é um sistema simples, pouco implantado no Brasil, porém bastante utilizado em alguns países da África e na Espanha, e apresenta-se com grande potencial de uso na cafeicultura irrigada de montanha.

Trata-se da utilização de mangueiras flexíveis, que são utilizadas conectadas à linha lateral em uma extremidade e ao aspersor, sustentado por um tripé, na outra, de tal modo que, com uma posição montada de linha lateral, é possível fazer três posições de irrigação: à direita da linha lateral montada,

sobre a linha lateral e à sua esquerda. Para isso, as mangueiras a serem utilizadas no processo devem ter o comprimento correspondente ao espaço entre as linhas laterais (com uma certa folga para facilitar o posicionamento).

As grandes vantagens do sistema com mangueiras flexíveis são:

- diminuição do número de mudanças da linha lateral, havendo possibilidade, em alguns casos, principalmente quando o produtor possuir linhas de espera (sobra), de o sistema tornar-se semifixo;
- redução no tempo de mudança de posição dos aspersores e diminuição da necessidade de mão-de-obra para executar tais mudanças;
- possibilidade de irrigação durante a noite, uma vez que, em muitos locais, a energia apresenta tarifas reduzidas, possibilitando, assim, uma diminuição nos custos de produção e uma ampliação do tempo diário de irrigação.
- facilidade de adaptação do sistema com mangueiras a um sistema de aspersão convencional comum.

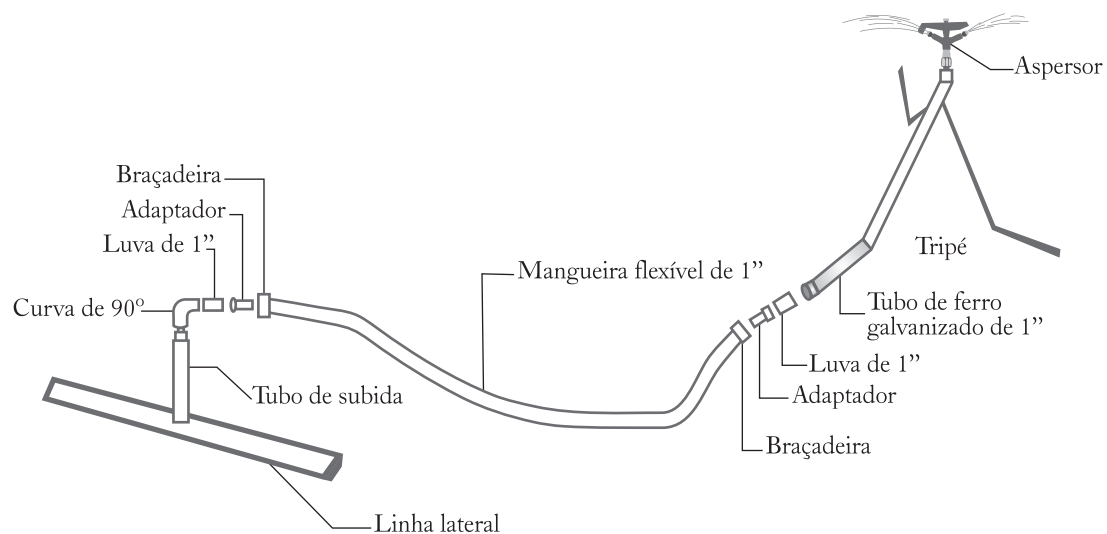


Figura 5. Esquema de um sistema de irrigação com mangueira, conexão na linha lateral, mangueira, tripé e aspersor.

Uma observação final referente à utilização de mangueiras refere-se ao manejo delas em condições de terrenos com elevada declividade. Neste caso, é possível que a estabilidade do tripé possa ficar comprometida, devendo o usuário alterar o formato dele para adaptar a esta situação.

A irrigação por aspersão do tipo malha refere-se a um tipo de projeto que se caracteriza pela utilização de tubulações de PVC de baixo diâmetro, que são enterradas e interligadas em um sistema denominado malha. Em cada um dos pontos de instalação dos aspersores, é fixado um tubo de subida, como pode ser observado nas Figuras 6 e 7.



Figura 6. Detalhe do aspersor em funcionamento e vista de cafezal irrigado pelo sistema de aspersão em malha.

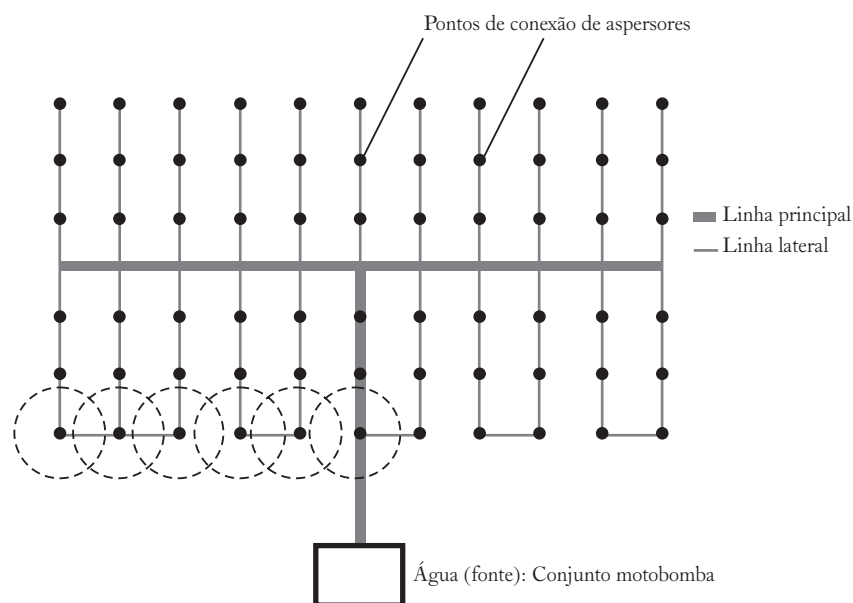


Figura 7. Esquema de um sistema de irrigação do tipo malha.

No Brasil, a aspersão em malha teve sua divulgação nos últimos anos na irrigação de pastagem. Tem se adaptado muito bem ao cafeeiro, irrigando inicialmente áreas pequenas, e atualmente tem sido utilizado para áreas médias e grandes, devido às seguintes vantagens (DRUMOND; FERNANDES, 2004):

- adaptação a diferentes tipos de terreno;
- baixo custo de implantação quando comparado a outros sistemas;
- baixo consumo de mão-de-obra (sistema fixo que só se movimenta o aspersor, um homem opera uma área de 75 a 100 ha);
- Facilidade de operação e manutenção.

Como todo sistema, também apresenta desvantagens, como:

- Impossibilidade de automação;
- Abertura de um grande número de valetas.

3.1.1 Sistemas de irrigação por aspersão mecanizados

Os sistemas de irrigação por aspersão mecanizados foram desenvolvidos, a princípio, com o objetivo de reduzir a mão-de-obra na movimentação das tubulações. Estes sistemas possuem um mecanismo de propulsão, que asseguram a movimentação enquanto aplicam água no terreno. Atualmente, existem diversos tipos de sistemas mecanizados.

No sistema com movimentação linear, a linha lateral contendo os aspersores é dotada de mecanismos propulsores que asseguram sua movimentação contínua ou intermitente na área irrigada. Os sistemas dotados de movimentação contínua são classificados de acordo com a direção do deslocamento, isto é, sistemas com deslocamento linear e sistemas com deslocamento radial (pivô central).

Os sistemas autopropelidos caracterizam-se por apresentar um aspersor (grande, médio ou pequeno) instalado em uma estrutura metálica (carrinho) com rodas pneumáticas, que se desloca linearmente, irrigando faixas de terreno. Uma mangueira flexível resistente à pressão, tração e atrito com a superfície do solo, faz a conexão entre a estrutura e os hidrantes para o suprimento de água. A água sob pressão aciona o sistema de propulsão (turbina, pistão), promovendo o enrolamento de um cabo de aço ancorado a uma extremidade da faixa irrigada. O aspersor, conhecido como canhão hidráulico, requer alta pressão para funcionamento e, portanto, elevado consumo de energia.

O sistema pivô central tem sido amplamente utilizado na irrigação do cafeeiro, com destaque para as regiões do Triângulo e Alto Paranaíba em Minas Gerais, norte do Espírito Santo e oeste da Bahia (Figura 8). Irriga áreas superiores a 50 ha e apresenta custos competitivos, otimizando a utilização



Figura 8. Vista de um pivô central utilizado para irrigar lavoura de café.

da mão-de-obra. Sua utilização tem sido eficiente em muitas áreas onde a irrigação por aspersão convencional não se adapta adequadamente. Sendo de relativa facilidade de manejo, tem possibilitado a produção de uma grande diversidade de culturas, pois a aplicação de água pode ser feita na quantidade e frequência que melhor se ajustem ao sistema solo-planta-atmosfera e maximize a produção. Ao longo dos anos, o equipamento pivô central tem passado por aperfeiçoamentos tecnológicos, tornando-se uma máquina confiável e de simples operação. No entanto, como qualquer outra máquina, necessita de uma rotina sistemática de manutenção. Os sistemas pivô central têm a capacidade de irrigar, em apenas uma revolução, áreas de até 130 ha ou mais. Preferencialmente, estas áreas devem possuir relevo plano ou levemente ondulado. Há, contudo, equipamentos projetados para que possam operar em áreas de relevo irregular, com declives de até 20%.

3.1.2 Componentes de um sistema de irrigação por aspersão

Um sistema de irrigação por aspersão geralmente é constituído por tubulações, aspersores, motobomba e acessórios.

As tubulações normalmente são de alumínio, aço zincado, aço galvanizado ou PVC rígido, com comprimento padrão de 6 m e diâmetro variando entre 2" e 8". Outros materiais, tais como ferro fundido e cimento amianto, podem ser utilizados em linhas fixas enterradas. Com a função de conduzir a vazão necessária desde a motobomba até os aspersores, as tubulações, segundo a disposição no terreno, classificam-se em: linhas laterais – geralmente são providas de acoplamentos rápidos, conduzem a água até os aspersores; linhas secundárias – de alumínio, PVC ou aço zincado, alimentam as linhas laterais a partir da linha principal; linha principal – em PVC, aço zincado ou alumínio, conduz a água da motobomba até as linhas secundárias.

Os aspersores constituem as peças principais do sistema, responsáveis pela distribuição da água sob o terreno na forma de chuva. Os aspersores rotativos podem ser de giro completo (360°) ou do tipo setorial, sendo estes últimos utilizados em áreas periféricas do campo ou sob condições especiais. Quanto ao ângulo de inclinação, apresentam jato de inclinação normal entre 25° e 30° e 6° no caso de subcopa; apresentam-se com um, dois ou três bocais cujo diâmetro varia de 2 a 30 mm. De acordo com a pressão de funcionamento, classificam-se em: baixa pressão (< 250 KPa), média pressão (250 KPa a 500 KPa) e alta pressão (> 500 KPa). Os aspersores de média pressão constituem os mais utilizados e apresentam raio de alcance de 12 a 36 metros. Devem funcionar dentro dos limites de pressão especificados pelo fabricante. A escolha é baseada, principalmente, na precipitação por eles fornecida (função da pressão, do diâmetro do bocal e do espaçamento). A disposição no campo mais comum é a retangular, podendo ser quadrada ou triangular. O espaçamento (múltiplo de 6 metros) no campo pode ser definido pelas condições de velocidade do vento, sendo na linha de 30 a 50% do diâmetro do círculo molhado e de até 65% entre linhas.

A motobomba mais utilizada, em geral, em irrigação por aspersão convencional são as bombas centrífugas de eixo horizontal. Elas têm a função de captar a água na fonte e suprir o sistema de aspersores. Acoplado à bomba existe um motor, normalmente elétrico ou a diesel, para transferir potência. O conjunto deverá ser dimensionado para fornecer vazão suficiente ao sistema à altura manométrica requerida. A altura de elevação da água, desde o manacial até a área irrigada, constitui um dos principais fatores envolvidos no consumo de energia, e à medida que aumenta essa altura, mais elevados deverão ser os níveis de eficiência dos sistemas de irrigação, para resultar em um consumo energético satisfatório.

Os acessórios mais comuns são tampão final, haste de subida do aspersor, engate rápido para aspersores com válvula de saída, curvas, válvulas de linha, cotovelos de derivação, manômetros, registros de gaveta, derivação em "T", válvula de retenção, borrachas de vedação etc.

3.2 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

Trata-se do sistema que melhor ajusta-se à irrigação do cafeeiro. Normalmente é utilizada distribuindo-se a tubulação de polietileno ao lado da linha de plantio, sobre a superfície do solo (Figura 9).

A irrigação localizada compreende a aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada, em alta frequência e baixo volume, mantendo o solo na zona radicular das plantas sob alto regime de umidade. A área mínima molhada deve ser de aproximadamente 1/3 da área sombreada (ou projeção da copa das plantas). A área de solo molhado exposto à atmosfera fica bem reduzida e, conseqüentemente, é menor a perda de água por evaporação direta do solo. A água aplicada por esses sistemas penetra no solo e se redistribui, formando um bulbo molhado, cuja forma e tamanho dependem da vazão aplicada, do tipo de emissor, da duração da irrigação e do tipo de solo. A infiltração ocorre em todas as direções, porém no sentido vertical é mais pronunciado quando o solo apresenta características arenosas.



Figura 9. Vista de um cafezal irrigado pelo sistema de irrigação localizada.

A principal diferença entre os sistemas de irrigação localizada e outros sistemas é que nos primeiros o balanço entre evapotranspiração e água aplicada é mantido em períodos compreendidos entre 24 e 72 horas (maior frequência de aplicação). O gotejamento e a microaspersão são os principais representantes dos sistemas de irrigação localizada em uso comercial. Existem outros tipos de sistemas, de uso mais restrito, como tubos gotejadores, tubos porosos e tubulações perfuradas a laser.

É um sistema que exige filtragem da água para evitar o entupimento dos emissores. Os filtros são instalados no cabeçal de controle, onde também são instalados acessórios de controle de vazão e pressão, sistema de injeção de fertilizantes e outros acessórios de controle (Figura 10).

A irrigação localizada oferece uma grande potencialidade de benefícios à planta, entretanto, por ser um método mais sofisticado de operação e manejo, apresenta limitações operacionais e de manejo, que dependem de fatores técnicos, econômicos e agrônômicos.



Figura 10. Estação de controle de sistema de irrigação localizada.

Dentre as principais características inerentes ao sistema de irrigação localizada, podem-se citar as seguintes:

- Economia e eficiência de aplicação de água: as razões atribuídas à economia de água incluem a irrigação de apenas uma fração da área cultivada (principalmente em plantas arbóreas), a redução da evaporação na superfície do solo, o reduzido risco de escoamento superficial e a controlada perda por percolação profunda. Comparando-se com sistemas de aspersão, a economia de água pode atingir 20 a 30%, porém fica claro que a quantidade de água necessária à cultura é a mesma, independentemente do processo de aplicação ou sistema. Uma vez que permite um maior controle da lâmina de água aplicada e serem bastante reduzidas às perdas, resulta em elevada eficiência na aplicação e no uso da água.

- Maior produção e melhor qualidade do produto: o conteúdo de água em uma fração do volume de solo onde está o sistema radicular permanece alto e com pequenas variações, em consequência do suprimento de água em baixas quantidades e alta frequência. Com isso, evita-se a ocorrência de estresse hídrico na planta e, portanto, favorece o desenvolvimento da cultura com incremento da produção e melhor qualidade do produto.

- Menor risco do efeito de sais para as plantas: a minimização do risco da salinidade para as plantas por sistemas localizados pode ser atribuída a fatos como diluição da concentração de sais na solução do solo em consequência da alta frequência de irrigação que mantém a umidade elevada na zona radicular, eliminação dos danos causados às folhas pela irrigação por aspersão com água salina e movimento dos sais além da região de atividade das raízes.

- Facilidade e eficiência na aplicação de fertilizantes: os sistemas localizados oferecem maior flexibilidade na fertirrigação e tornam mais eficiente o uso dos nutrientes, pois os fertilizantes são aplicados diretamente na água de irrigação, de forma frequente e em pequenas doses diretamente na zona radicular, minimizando, assim, a lixiviação além dessa zona.

- Reduzida mão-de-obra e baixo consumo de energia: os sistemas podem ser facilmente automatizados, facilitando a operação quando a mão-de-obra é limitada ou de alto custo. Uma vez que operam com pressões e quantidades menores de água que em outros tipos de irrigação pressurizados, apresentam reduzido custo de energia para bombeamento.
- Adapta-se a diferentes tipos de solos e topografia: como a aplicação de água é em pequena quantidade, a irrigação localizada adapta-se melhor a diferentes tipos de solo e topografia, além de facilitar as operações ou práticas culturais, permitindo a fácil movimentação de máquinas e trabalhadores.
- Sensibilidade ao entupimento: considerado o principal problema da irrigação localizada, a ocorrência de entupimento dos orifícios de saída de água dos emissores pode afetar a distribuição da água e, com isso, a produção da cultura. A baixa pressão de serviço, o pequeno diâmetro dos orifícios e a reduzida velocidade da água facilitam o entupimento, causado por processos físicos, químicos e biológicos. A manutenção preventiva (incluindo filtração da água e tratamento químico para lavagem das tubulações) é uma alternativa efetiva para evitar obstruções. Outros problemas tão importantes quanto à obstrução incluem rompimento nas tubulações, falhas em acessórios e equipamentos, animais roedores e insetos.
- Desenvolvimento do sistema radicular: devido à formação de um volume constante de solo umedecido (bulbo úmido), o sistema radicular tende a concentrar-se nesta região, diminuindo a estabilidade das plantas, podendo ocorrer tombamento delas em regiões sujeitas a ventos fortes.
- Custos: os sistemas de irrigação localizada são fixos e requerem grande quantidade de tubulações e acessórios. Conseqüentemente, os custos iniciais e anuais são altos, podendo ser comparados aos custos de implantação de sistemas fixos de irrigação por aspersão. Os custos podem variar consideravelmente, dependendo da cultura, da quantidade necessária de tubulações, dos equipamentos de filtragem e de fertilização e do grau de automação desejado. Geralmente, os sistemas localizados são mais econômicos quando utilizados em culturas de maiores espaçamentos. Os custos iniciais de sistemas localizados no Brasil podem variar de R\$ 2.000 a R\$ 5.000 por hectare, e os custos anuais de manutenção podem atingir R\$ 200/ha.

3.2.1 Descrição de um sistema de irrigação localizada

Um sistema completo de irrigação localizada é composto das seguintes partes: emissores (gotejadores, microaspersores, microtubos), tubulações (linhas laterais, de derivação e principais) para distribuição da água e cabeçal de controle (conjunto motobomba, sistema de filtragem, injetores de fertilizantes, sistema de controle de pressão e vazão), além de acessórios e conexões indispensáveis para operação e manejo do sistema no campo.

Os emissores são os dispositivos que controlam a saída da água desde as linhas laterais, em pontos discretos e contínuos. Distinguem-se em miniaspersores (difusores ou microaspersores), gotejadores, mangueiras ou tubulações de gotejadores (tubo gotejador, mangueira porosa, mangueira perfurada). As características fundamentais que devem apresentar um emissor e que definem sua escolha consistem em vazão uniforme e constante, reduzida sensibilidade a obstruções, elevada uniformidade de fabricação, resistência à agressividade química e ambiental, estabilidade da relação pressão-vazão, reduzida perda de carga nos sistemas de conexão, resistência ao ataque de insetos e/ou

roedores e baixo custo de aquisição. Os emissores, dentro do custo total de um sistema, correspondem de 5 a 10 %.

Em sistemas de irrigação localizada, as tubulações são normalmente de polietileno (baixa e média densidade) e de PVC (linha principal), de acordo com a ordem de funcionamento (Figura 11). Devem ser muito bem dimensionadas, atendendo às condições hidráulica e de operação requeridas. No custo do sistema, correspondem de 60 a 70% do valor total. As linhas laterais são tubulações de última ordem no sistema, sobre as quais são conectados os emissores. Devem ser dimensionadas de forma a permitir que os emissores distribuam a água com um adequado grau de uniformidade, minimizando a variação de vazão ao longo do seu comprimento. Normalmente são de polietileno flexível de baixa densidade, com diâmetros internos de 13 ou 16 mm, normalmente comercializado. As linhas de derivação são tubulações que alimentam as linhas laterais. Hidraulicamente são iguais a essas, pois são de múltiplas saídas. São dimensionadas e devem permitir uma pressão adequada no início de cada lateral, derivando a vazão necessária para cada uma delas. As linhas secundárias são estas linhas que abastecem as de derivação. O dimensionamento deve-se basear em critérios econômicos, cujos diâmetros mais comuns são de 20 a 80 mm. Podem ser de polietileno ou PVC. A linha principal é a que conduz a água da motobomba, passando pelo cabeçal de controle, até as linhas secundárias. Podem ser de PVC ou até mesmo de polietileno de alta densidade, dependendo das condições de pressão a qual será submetida.



Figura 11. Sistema de irrigação localizada na cultura do café.

Denomina-se cabeçal de controle ao conjunto de elementos que permite o tratamento da água de irrigação, sua filtragem, medição, controle de pressão e aplicação de fertilizantes. Sua composição pode variar em muitos casos. Por exemplo, há instalações em que os fertilizantes são aplicados a partir do cabeçal de controle, entretanto, em algumas instalações, as aplicações são realizadas nas unidades de irrigação. Muitas vezes a água apresenta alguns problemas de qualidade que limitam o seu uso em sistemas localizados, podendo provocar a obstrução dos emissores. Em alguns casos, antes da filtragem, é necessário tratamento químico para eliminação de algas, utilizando oxidantes, como hipoclorito de sódio. Outro caso é a aplicação de ácidos para evitar a formação de precipitados de cálcio. Os filtros de areia são elementos típicos e indispensáveis para a eliminação de algas, impurezas orgânicas e vegetais

e retenção de partículas minerais. Sempre é conveniente a instalação de dois filtros, para facilitar a limpeza sem parada de todo o sistema. Os filtros de tela são sempre necessários logo após o equipamento de fertirrigação, para eliminar impurezas minerais que atravessam os filtros de areia e provenientes dos adubos dissolvidos. A maioria dos filtros disponíveis no mercado são providos de mecanismo que facilitam a limpeza. O equipamento de fertirrigação, obrigatoriamente, não poderá ser instalado antes dos filtros de areia.

Drumond e Fernandes (2004) apresentam um levantamento detalhado dos custos de implantação de equipamentos de irrigação, que são apresentados no Quadro 2. Observa-se que os custos podem variar de R\$ 1.200,00 para o sistema de tripa móvel e de até R\$ 6.000,00 para sistema de irrigação por gotejamento autocompensante numa lavoura de café adensado.

Quadro 2. Custo de implantação (R\$/ha) para os principais sistemas de irrigação utilizados para o cafeeiro

Sistema de Irrigação	Custo de Implantação (R\$/ha)
Pivô Central	3.000,00
Pivô Central LEPA	3.750,00
Gotejo Auto. Adensado	6.000,00
Gotejo Conv. Adensado	5.000,00
Gotejo Convencional	3.450,00
Aspersão em Malha	1.600,00
Aspersão Convencional	2.200,00
Mangueira móvel	1.200,00

4. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; BURMAN, R. D., Operational estimates of reference evapotranspiration. *Agronomy Journal* 81:650-662, 1989.

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; PERRIER, A., An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin* 43(2), 1994.

CAMARGO, A. P., Balanço hídrico no Estado de São Paulo. *Boletim Técnico* n. 116, 1971, IAC. 24 p.

DOORENBOS, J. PRUITT, W. O., Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper N. 24 (ver) FAO, Rome, Italy, 144 p. 1977.

DRUMOND, L. C. D., FERNANDES, A. L.T. *Utilização da aspersão em malha na cafeicultura familiar*. Grifo Editora e Gráfica, 2004. 88 p.

HARGREAVES, G. H. SAMANI, Z. A., Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. Chicago, Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting (Paper 85-2517), 1985.

MANTOVANI, E. C., A irrigação do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO E PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari, MG. Mantovani, E. C.; Souza, L. O. C.; Soares, A. R. (Ed.). *Revista Engenharia na Agricultura* (Boletim Técnico 4).

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

THORNTHWAITE, C. W., Na approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

DADALTO, G. G.; BARBOSA, C. A. *Zoneamento Agroecológico para a Cultura do Café no Espírito Santo*. Vitória, ES: SEAG, 1997. 28p.

JENSEN, M. E.; BRUMAN, R. D.; ALLEN, R. G. *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York, ASCE. 1990. 332p. (Manuals and report 70).

MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A., Manejo de irrigação In: MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. (Org.). *Workshop Internacional sobre manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos*, Brasília, 02 a 04 junho, 1988. 49-76P.

SALES, E. F. *Convivendo com a seca no Estado do Espírito Santo*. Vitória, ES: Emcapa 1998. 28 p. (Emcapa. Documentos, 97)

SARAIVA, J. S. T.; SILVEIRA, J. S. M. Irrigação do café. In: COSTA, E. B. da (Coord.) *Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo*. Vitória, ES: SEAG, 1995 p. 111-120.

SILVEIRA, J. S. M.; CARVALHO, C. H. S. Efeito da época de irrigação sobre o desenvolvimento do botão floral e floração do café conilon, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia, SP. *Anais...* Águas de Lindóia. 196, p. 100-102.