

ÉLIO DE ALMEIDA CORDEIRO

**DIAGNÓSTICO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA
DO MAMOEIRO NA REGIÃO NORTE DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

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

T

C794d
2006

Cordeiro, Élio Almeida, 1957-

Diagnóstico e manejo da irrigação na cultura do
mamoeiro na região norte do Estado do Espírito Santo
/ Élio Almeida Cordeiro. – Viçosa : UFV, 2006.
xiii, 100f. : il. ; 29cm.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 91-100.

1. Irrigação agrícola. 2. Irrigação agrícola - Equipa-
mento e acessórios - Avaliação. 3. Água - Distribuição.
4. IRRIGA (Programa de computador). 5. Mamão -
Espírito Santo (Estado). 6. Mamão - Irrigação.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.


CDD 22.ed. 631.587

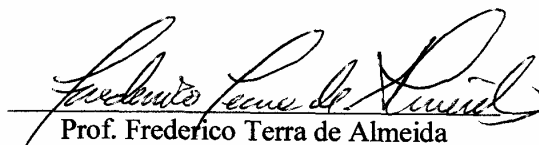
ÉLIO DE ALMEIDA CORDEIRO


**DIAGNÓSTICO E MANEJO DA IRRIGAÇÃO NA CULTURA
DO MAMOEIRO NA REGIÃO NORTE DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

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


APROVADA: 17 de fevereiro de 2006.


Prof. José Geraldo Ferreira da Silva
(Conselheiro)


Prof. Frederico Terra de Almeida


Prof. Bráulio Gonçalves Leal


Prof. Antônio Alves Soares


Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Orientador)

Aos meus pais, Cesário (*in memoriam*) e Francisca.

Dedico.

À minha esposa, Maria do Carmo, e aos meus filhos, Erick e Eduardo.

Ofereço.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela presença constante em todas as horas de dificuldades e fraquezas.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Everardo Chartuni Mantovani, pela orientação e pela amizade.

Aos professores conselheiros Márcio Mota Rams e José Geraldo Ferreira da Silva, pela ajuda e contribuição na condução deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, professores Frederico Terra de Almeida, Brauliro Gonçalves Leal e Antônio Alves Soares, pela contribuição e pelo aprimoramento deste trabalho.

Aos meus pais; a minha gratidão é pequena diante da grandeza do que eles fizeram por mim.

À minha família, por ter abraçado este sonho junto comigo e por ter suportado minha ausência em momentos importantes, pelas palavras de incentivo e pelo gesto de compreensão quando acontecia o desânimo.

Aos amigos e mestres, pelas horas dedicadas em dividir seus conhecimentos, despidendo-se do sentimento de egoísmo, somando e partilhando cada conquista.

BIOGRAFIA

ÉLIO DE ALMEIDA CORDEIRO, filho de Cesário Soares Cordeiro e Francisca de Almeida Cordeiro, nasceu na cidade de Seropédica-RJ, em 9 de março de 1957.

Em 1981, iniciou o curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, graduando-se em setembro de 1981.

De 1982 a 1983, foi professor do Centro de Treinamento Agropecuário do Estado do Amapá, convênio UFRRJ – MA – Secretaria de Educação do Amapá.

De 1984 a 1996, foi professor de ensino de 1^o e 2^o Graus da Secretaria de Educação do Estado do Amapá. Em 1996, transferiu-se para a Escola Agrotécnica Federal de Santa Teresa-ES.

Em 2000, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, na área de concentração em Irrigação e Drenagem, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2002.

Em 2002, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa, na área de concentração em Irrigação e Drenagem, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2006.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 1.....	4
AVALIAÇÃO DO MANEJO E DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADOS EMPREGADOS NA CULTURA DO MAMOEIRO NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO	4
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. A irrigação na cultura do mamoeiro no norte do Estado do Espírito Santo.....	6
2.2. Eficiência de irrigação	8
2.3. Uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação	9
2.4. Uniformidade de aplicação de água x produtividade.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Localização e caracterização dos sistemas avaliados.....	20
3.1.1. Sistemas de irrigação por microaspersão	22
3.1.2. Sistemas de irrigação por pivô central.....	22
3.1.3. Sistemas de irrigação por gotejamento e por microspray	23
3.2. Uniformidade de aplicação de água	24

	Página
3.3. Avaliação de irrigação	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação avaliados	27
4.1.1. Sistemas de irrigação por microaspersão	27
4.1.2. Sistemas de irrigação por pivô central.....	29
4.1.3. Sistemas de irrigação por gotejamento.....	30
4.2. Avaliação do manejo da irrigação.....	31
4.2.1. Irrigação por microaspersão.....	31
4.2.2. Irrigação por pivô central.....	38
4.2.3. Irrigação por gotejamento	42
5. RESUMO E CONCLUSÕES	45
CAPÍTULO 2.....	47
<p>AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA PRODUTIVI- DADE DA CULTURA DO MAMOEIRO IRRIGADO COM AS IRRIGAÇÕES COM BASE NA EXPERIÊNCIA DO AGRICUL- TOR COMPARADA COM IRRIGAÇÕES REALIZADAS COM O AUXÍLIO DO <i>SOFTWARE</i> IRRIGA-GESAI</p>	
	47
1. INTRODUÇÃO.....	47
2. REVISÃO DE LITERATURA	50
2.1. A cultura do mamoeiro	50
2.2. Sistema radicular	52
2.3. Exigências edafoclimáticas	55
2.3.1. Clima	55
2.3.2. Solo	57
2.3.3. Necessidade hídrica	59
2.4. Uso do <i>software</i> IRRIGA para o manejo da água	61
3. MATERIAL E MÉTODOS	65
3.1. Localização da área experimental e caracterização do solo	65

	Página
3.2. Preparo do solo, semeadura e plantio	66
3.3. Delineamento experimental.....	67
3.4. Parcela experimental.....	67
3.5. Irrigação e adubação.....	68
3.6. Avaliação do crescimento das plantas	69
3.7. Avaliação da produção.....	70
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1. Características climáticas e irrigações realizadas nos tratamentos.	71
4.2.1. Altura de planta e diâmetro de caule	74
4.2.2. Número de folhas	77
4.3. Avaliação da produção.....	78
4.3.1. Número de flores e frutos.....	78
4.3.2. Produção.....	81
5. RESUMO E CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

RESUMO

CORDEIRO, Élio de Almeida, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2006. **Diagnóstico e manejo da irrigação na cultura do mamoeiro na região norte do Estado do Espírito Santo.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Conselheiros: Márcio Mota Ramos e José Geraldo Ferreira da Silva.

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma fruteira típica de regiões tropicais e subtropicais, e o Brasil se destaca como o maior produtor de mamão, com 26% da oferta mundial. O Estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor, com área plantada de 11.500 ha e produção de 530.000 t, destacando-se como o maior exportador, com 24.509 t exportadas em 2003. A má distribuição de chuvas na região produtora do Estado do Espírito Santo torna a irrigação imprescindível ao cultivo do mamoeiro. Recente trabalho realizado por técnicos do INCAPER revelou que 87% das propriedades que produzem mamão irrigam com base na experiência do agricultor. O presente trabalho foi desenvolvido em duas etapas: na primeira foram realizadas avaliações de sistemas de irrigação e manejo em 29 propriedades e teve como objetivo realizar um diagnóstico da irrigação na cultura do mamoeiro na região norte do Estado do Espírito Santo, no período de 3 de setembro de 2004 a 26 de julho de 2005, tendo sido avaliados 17 sistemas de irrigação por microaspersão, sete por pivô central, quatro por gotejamento e um

por microspray. Os coeficientes de uniformidade determinados foram: coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente estatístico de uniformidade (CUE). Para avaliação da irrigação, foram retiradas amostras de solos antes da irrigação, em todas as propriedades avaliadas, nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, para determinação da umidade atual de água no solo, curva de retenção de água no solo e densidade aparente do solo. Os resultados obtidos foram: em 27% dos sistemas de irrigação os valores de CUC encontrados foram superiores a 90%; 69% dos sistemas apresentaram valores de CUD considerados razoáveis a excelentes, e os valores de CUE foram considerados aceitáveis a excelente para 79% dos sistemas. Os resultados das avaliações realizadas nos sistemas de irrigação mostraram que em 10% das propriedades as irrigações realizadas foram adequadas. Nos outros sistemas as irrigações foram excessivas ou não foram suficientes para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. A análise dos resultados permitiu as seguintes conclusões: as melhores uniformidades de aplicação de água foram observadas para sistemas de microaspersão; para os sistemas de pivô foram, em geral, razoáveis, e os piores resultados foram para sistemas de irrigação por gotejamento. Na maioria dos casos, as irrigações foram feitas após o momento adequado, e a lâmina de irrigação aplicada foi menor do que a lâmina necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. As irrigações realizadas apenas com base na experiência do produtor não permitem quantificar de forma adequada a lâmina de irrigação a ser aplicada. Pode-se aumentar a produtividade da cultura do mamoeiro com um programa de manejo de irrigação. Na segunda etapa, instalou-se um experimento no município de Linhares-ES, com o objetivo de avaliar o desenvolvimento e a produtividade da cultura do mamoeiro com e sem manejo de irrigação. O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, com dois tratamentos de manejo de irrigação em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. No primeiro tratamento as irrigações foram realizadas seguindo a recomendação do técnico responsável pela irrigação da fazenda, com base em observação do campo (Trat. campo). No segundo

tratamento, o manejo diário da irrigação, utilizando valores obtidos pelo *software* Irriga-Gesai (Trat. ETc), foi baseado em dados de temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação e radiação solar coletados em uma estação meteorológica automática instalada próximo ao experimento. Os parâmetros avaliados foram: altura de planta, diâmetro de caule, número de folhas, número de flores, número de frutos por planta, número de frutos colhidos, peso médio de frutos e produtividade da cultura para cada tratamento. As irrigações realizadas no tratamento de campo não atenderam à demanda hídrica da cultura. Em várias ocasiões o déficit de água no solo ultrapassou o limite de 80% da disponibilidade total de água no solo, comprometendo a produtividade. Todos os parâmetros avaliados apresentaram melhores resultados no Trat. ETc. O total de frutos colhidos no Trat. campo foi de 6.099 e no Trat. ETc foi de 6.622. O peso médio de frutos colhidos no Trat. campo foi de 357 g e no Trat. ETc de 390 g. A produtividade média por planta no Trat. campo foi de 973 g e no Trat. ETc de 1.141 g e a produtividade no Trat. campo foi de 74,92 t ha⁻¹; contra 87,62 t ha⁻¹ no Trat. ETc. As irrigações com base apenas na experiência de campo não atendem satisfatoriamente às necessidades hídricas da cultura, portanto podem provocar déficit de água no solo e reduzir a produtividade da cultura. O manejo adequado da irrigação proporciona melhor desenvolvimento da planta, conseqüentemente melhor produção e maior produtividade.

ABSTRACT

CORDEIRO, Élio de Almeida, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2005. **Diagnosis and handling of the irrigation in the culture of the papaya tree in the north area of Espírito Santo State.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Committee members: Márcio Mota Ramos and José Geraldo Ferreira da Silva.

The papaya tree (*Carica papaya* L.) it is a typical fruit bowl of tropical and subtropical areas and Brazil stands out as the largest world producer of papaya, with 26% of the world offer. Espírito Santo State is the second largest producing with a planted area of 11,500 there is and a production of 530,000 t, standing out as the largest exporter with 24,509 t exported in 2003. The bad distribution of rains in the area producing of Espírito Santo State turns the indispensable irrigation to the cultivation of the papaya tree. Recent work accomplished by technicians of INCAPER revealed that 87% of the properties that produce papaya irrigate based on the farmer's experience. The present work was developed in two stages; in the first stage evaluations of irrigation systems and handling were accomplished in 29 properties and it had as objective to accomplish a diagnosis of the irrigation in the culture of the papaya tree in the North area of Espírito Santo State, in the period of September 3, 2004 to July 26, 2005, being appraised seventeen irrigation systems for microaspersão, seven for

central pivot, four for leak and a micro spray. The uniformity coefficients were: coefficient of uniformity of Christiansen (CUC), coefficient of distribution uniformity (CDU) and the statistical Coefficient of uniformity (ECU). For evaluation of the irrigation, they were retired samples of soils before the irrigation, in all the appraised properties, in the layers 0-20, 20-40 and 40-60 cm of depth, for determination of the current humidity of water in the soil, its curves of retention of water in the soil and apparent density of the soil. The obtained results were: in 27% of the irrigation systems the values of found CUC went superior to 90%, 69% of the systems presented values of reasonable considered CDU the excellent ones and the values of CUE were considered acceptable the excellent for 79% of the systems. The results of the evaluations accomplished in the irrigation systems showed that in 10% of the properties the accomplished irrigations were appropriate. In the other systems the irrigations were excessive or it was not enough to elevate the humidity of the soil to the field capacity. The analysis of the results allowed the following conclusions: the best uniformities of application of water were observed for micro aspersion systems, for the pivot systems they were, in its majority, reasonable and the worst results went to irrigation systems for dripping. In most of the cases, the irrigations were made after the appropriate moment and the sheet of applied irrigation went smaller than to necessary sheet to elevate the humidity of the soil to the field capacity. The irrigations accomplished counting with the experience of the producer don't just allow to quantify in an appropriate way the irrigation sheet to be applied. It can increase the productivity of the culture of the papaya tree with a program of irrigation handling. In the second stage, it settled an experiment in the municipal district of Linhares-ES with the objective of evaluating the development and the productivity of the culture of the papaya tree with and without irrigation handling. The experiment was set up in outline of subdivided portions, with two treatments of irrigation handling in completely randomized design, with six repetitions. In the first treatment the irrigations were accomplished following the responsible technician's recommendation for the irrigation of the farm, based on observation of the field (Trat. Field). In the second treatment, the daily handling

of the irrigation values obtained by the software being used Irriga-Gesai (Trat. ETc), it was based on data of medium temperature, relative humidity, speed of the wind, precipitation and solar radiation collected in a close installed automatic meteorological station to the experiment. The appraised parameters were: plant height, stem diameter, number of leaves, number of flowers, number of fruits for plant, number of picked fruits, weigh medium of fruits and productivity of the culture for each treatment. The irrigations accomplished in the field treatment didn't assist the demand hydric of the culture, in several occasions the deficit of water in the soil surpassed the limit of 80% of the total readiness of water in the soil, committing the productivity. All the appraised parameters presented better results in Trat. ETc. The total of fruits picked in Trat. Field was of 6,099 and in Trat. ETc it was of 6,622. The medium weight of fruits picked in Trat. Field was of 357 g and in Trat. ETc of 390 g. The medium productivity for plant in Trat. Field was of 973 g and in Trat. ETc of 1,141 g and the productivity in Trat. Field was of 74.92 t ha⁻¹ against 87,62 t ha⁻¹ in Trat. ETc. The irrigations with base just in the field experience they don't assist the needs hydrics of the culture satisfactorily, they can provoke deficit of water in the soil and to reduce the productivity of the culture. The adapted handling of the irrigation provides better development of the plant providing better production and larger productivity.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma ampla variação edafoclimática, e esta diversidade favorece o cultivo de um grande número de plantas frutíferas nas diferentes regiões do País, destacando-se como o terceiro maior produtor de frutas do mundo, depois da China e Índia. A produção mundial de frutas em 2002 foi de 622,5 milhões de toneladas, equivalente a US\$ 1,620 bilhão, das quais o Brasil respondeu por 38,1 milhões de toneladas, destacando-se a produção de laranja, banana, coco, caju e a de mamão, com uma produção de 1,7 milhão de toneladas (FAO, 2005). A fruticultura no Brasil apresenta-se como um segmento com ampla perspectiva de crescimento, devido às favoráveis condições oferecidas, especialmente pela Região Nordeste.

As exportações brasileiras de frutas frescas, em 2002, foram de 668,9 mil toneladas, proporcionando uma receita de US\$ 241 milhões, das quais 28,5 mil toneladas de mamão, que geraram uma receita de US\$ 21 milhões (SECEX/DTIC, 2005). Segundo Martins (2003), embora o mamão esteja entre as seis frutas mais exportadas pelo Brasil e suas exportações terem aumentado nos últimos anos, o volume exportado ainda é pouco significativo: menos de 4,3% do total de frutas exportadas e inferior a 2% do que o País produz.

As regiões produtoras de mamão no mundo estão localizadas em uma faixa compreendida entre os trópicos de Câncer e Capricórnio. Dentre os maiores

produtores, o Brasil destaca-se em primeiro lugar, com uma produção de 1.440.000 t. O mamão é cultivado em todo o território brasileiro, sendo o Estado da Bahia o maior produtor, seguido pelo Espírito Santo (ALVES, 2003).

O cultivo do mamão responde, significativamente, ao uso da irrigação suplementar nas regiões com precipitações inferiores a 1.500 mm por ano, ou mesmo com precipitações superiores, mas distribuídas irregularmente. Em regiões com precipitações inferiores a 1.000 mm por ano, o uso da irrigação é fundamental ao cultivo racional e econômico do mamoeiro (BERNARDO, 1996).

O mamoeiro é uma planta muito exigente em água, mas não tolera excesso. Portanto, em regiões onde existem veranicos prolongados, a cultura não apresenta rendimentos satisfatórios, tornando obrigatório o uso da irrigação. O efeito do veranico é ainda mais grave quando se têm solos leves e rasos, como é o caso da região produtora do norte do Estado do Espírito Santo (SILVA e COELHO, 2003).

Aproximadamente 70% da água captada é utilizada na agricultura, o que torna imprescindíveis a implantação de sistemas de irrigação eficientes e a utilização de métodos que quantifiquem as reais necessidades hídricas das culturas, para que não haja desperdício. Essa quantificação permite projetar sistemas de irrigação mais adequados, o que, conseqüentemente, reduz o consumo de água e energia. Um dos principais problemas na irrigação é quantificar, de forma adequada, o volume de água a ser aplicado e o momento certo da irrigação para evitar que a cultura venha a sofrer com o estresse hídrico, e assim ocorrer perda de produtividade.

No diagnóstico realizado por extensionistas do INCAPER, em 2003, em 285 propriedades que cultivam a cultura do mamoeiro, verificou-se que todas as lavouras eram irrigadas, que a frequência de irrigação foi definida em 87% dos casos pela experiência do produtor e que menos de 2% usavam tensiômetro na propriedade (MARTINS, 2003).

O manejo racional de qualquer projeto de irrigação requer a maximização da produção e da eficiência de uso da água, assim como a minimização dos

custos de mão-de-obra e de capital, de forma a tornar lucrativa a utilização da irrigação. Assim, a agricultura irrigada tem como objetivo aumentar a rentabilidade, via aumento da produção, através da incorporação à agricultura de terrenos que, sem a irrigação, não poderiam ser cultivados.

Com vistas a contribuir no sentido de melhorar a rentabilidade do mamão irrigado no norte do Espírito Santo e também para maior eficiência no uso da água na região, desenvolveu-se este trabalho em dois capítulos.

No capítulo 1 dedicou-se à avaliação do ponto de vista da engenharia e do manejo dos principais sistemas pressurizados de irrigação empregados na cultura do mamoeiro irrigado na região norte do Estado do Espírito Santo. Foram analisados a uniformidade de aplicação de água, a eficiência de irrigação e o manejo da irrigação.

No capítulo 2 objetivou-se avaliar e comparar o desenvolvimento e a produtividade da cultura do mamoeiro submetido a dois manejos diferentes de irrigação: um com a frequência e as lâminas de irrigações definidas pela experiência do agricultor e o outro realizado com o manejo de irrigação recomendado tecnicamente.

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DO MANEJO E DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADOS EMPREGADOS NA CULTURA DO MAMOEIRO NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

1. INTRODUÇÃO

O alto custo de implantação dos sistemas de irrigação, aliado à relação direta existente entre o custo de operação da irrigação e a quantidade e disponibilidade de água a ser aplicada, conduz cada vez mais à necessidade de otimizar tanto o uso da água através do manejo adequado da irrigação, quanto os demais insumos de produção. Dentre os fatores complementares da produção agrícola, a água e a adubação são os que limitam mais intensamente a produção, considerando que a disponibilidade de um bom material genético e de um controle satisfatório de pragas e doenças. Deste modo, a aplicação racional da irrigação e da adubação é fundamental para o aumento da produção e do retorno econômico na agricultura.

O manejo racional de qualquer projeto de irrigação requer a maximização da produção e da eficiência de uso da água, assim como a minimização dos custos de mão-de-obra e de capital, de forma a tornar lucrativa a utilização da irrigação, ou seja, fazer a agricultura irrigada com o objetivo de aumentar o ganho juntamente com o aumento da produção, quer em quantidade, ou com a

finalidade de incorporar à agricultura terrenos que, sem a irrigação, não poderiam ser cultivados.

A água em excesso ou em deficiência leva a prejuízos econômicos relevantes. Além da perda de água, quando aplicada em excesso, pode ocorrer o carreamento de nutrientes para zonas do solo não-exploradas pelas raízes. No caso de aplicação deficiente, podem ocorrer prejuízos produtivos nos períodos críticos e riscos de concentração de sais em zonas do perfil do solo onde as raízes são mais ativas.

O uso eficiente dos recursos hídricos, principalmente pela agricultura irrigada, é de fundamental importância, por ela ser o seu principal consumidor. A eficiência no uso da água na irrigação pode ser dividida em dois componentes: uniformidade de aplicação, que reflete a perda por percolação, e perdas que podem ocorrer durante a operação do sistema.

A uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um parâmetro de grande importância. A baixa uniformidade da lâmina de água aplicada na área irrigada conduz a resultados insatisfatórios, com redução da eficiência de aplicação de água. Aplicando-se a lâmina recomendada com um sistema de irrigação com baixa uniformidade, algumas plantas não terão disponível o volume de água suficiente para seu pleno desenvolvimento. Para compensar a menor disponibilidade é necessário aumentar o volume aplicado, o que fará com que as outras regiões da área irrigada recebam excesso de água, que se perderá por percolação profunda (CAPRA e SCICOLONE, 1998).

O cultivo do mamoeiro no Estado do Espírito Santo se concentra na região norte, com lavouras irrigadas com microaspersão, pivô central e gotejamento, que operam, na sua grande maioria, sem manutenções periódicas e sem qualquer técnica de manejo de irrigação.

Considerando essas situações, realizou-se este trabalho, que teve como objetivos avaliar a uniformidade de aplicação de água e a eficiência de irrigação nos principais sistemas de irrigação utilizados por produtores de mamão na região norte do Estado do Espírito Santo e avaliar o manejo da irrigação adotado pelos produtores, comparando as lâminas aplicadas por eles com as lâminas necessárias nas irrigações realizadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A irrigação na cultura do mamoeiro no norte do Estado do Espírito Santo

A quantidade de água existente na natureza com qualidade adequada aos diferentes usos é limitada e a sua disponibilidade vem diminuindo, por causa do aumento populacional e das atividades industriais, com a expansão das áreas agrícolas irrigadas, e da degradação do meio ambiente. Esses fatores estão intimamente interligados, visto que o aumento da população mundial conduz necessariamente à produção de alimentos, bens e serviços em maior escala.

A irrigação é uma técnica eficiente para aumentar a produção de alimentos e fibras, entretanto demanda um grande volume de água. Segundo Christofidis (2001), cerca de 69% de toda a água derivada de rios, lagos e aquíferos é utilizada na agricultura, evidenciando a necessidade de projetar e instalar sistemas de irrigação eficientes e de utilizar estratégias adequadas de manejo da água, que quantifiquem as reais necessidades hídricas das culturas para que não haja desperdício, o que, conseqüentemente, reduzirá o consumo de água e de energia.

Estima-se que, em média, a eficiência de irrigação é de 37% em nível mundial, devendo-se ressaltar que grande parcela da perda ocorre por percolação.

Muito do volume perdido torna-se severamente degradado em sua qualidade, ao arrastar nutrientes e pesticidas. O uso de sistemas projetados e manejados adequadamente resulta em melhoria na eficiência de irrigação, aumentando significativamente a disponibilidade da água para outros fins, inclusive para irrigação, principalmente em situações de competição pelo uso da água.

O cultivo do mamão responde significativamente ao uso da irrigação suplementar, em virtude da necessidade de atender à demanda de umidade no solo, nas regiões com precipitações inferiores a 1.500 mm por ano, ou mesmo com precipitações superiores, mas distribuídas irregularmente. Em regiões com precipitações inferiores a 1.000 mm por ano, o uso da irrigação é fundamental ao cultivo racional e econômico do mamoeiro (BERNARDO *et al.*, 1996).

Aiyelaagbe *et al.* (1986) mostraram que o mamoeiro é extremamente sensível ao déficit de umidade no solo, sendo este o fator mais importante para o crescimento da cultura.

A distribuição das chuvas na região norte do Estado do Espírito Santo é concentrada no período de outubro a março, ocorrendo um período seco de maio a setembro, o que evidencia a necessidade de irrigação na cultura do mamoeiro.

O diagnóstico realizado por extensionistas do INCAPER, em 2003, em 285 propriedades que cultivam a cultura do mamoeiro, mostrou que todas as lavouras são irrigadas, predominando sistemas de irrigação localizada e pivô central (MARTINS, 2003).

Para determinar em que condições o sistema de irrigação está operando, é necessária sua avaliação, que consiste em uma análise feita no sistema, em que são avaliados os parâmetros de desempenho, com base em observações de campo, que incluem medidas de umidade do solo antes da irrigação, medidas de vazão, uniformidade de aplicação, tempo de irrigação, entre outras (MERRIAM e KELLER, 1978).

2.2. Eficiência de irrigação

A eficiência pode ser definida como a razão entre a quantidade de água estocada na zona radicular e a quantidade de água aplicada, sendo fator-chave para determinar o tempo e a programação de irrigação. É um conceito usado extensivamente em projetos e no manejo de irrigação, porém esse parâmetro sozinho não reflete a adequação da irrigação, uma vez que em condições de irrigação muito deficiente ele pode atingir altos valores, levando o irrigante a uma interpretação errônea acerca do desempenho do sistema de irrigação (BERNARDO *et al.*, 2005).

A eficiência de um sistema de irrigação pode ser dividida em dois componentes: uniformidade de aplicação, que refletirá a perda por percolação; e perda por evaporação e arraste pelo vento. Para que a eficiência alcance valores altos, é necessário que as perdas durante a operação do sistema de irrigação sejam as menores possíveis e a uniformidade de aplicação seja a maior possível. Se a uniformidade é ruim ou as perdas na aplicação são grandes, a eficiência pode ser baixa (KELLER e BLIESNER, 1990).

A perda de água na aplicação de uma lâmina de irrigação nos sistemas de aspersão é influenciada por vários elementos climáticos, como velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar (MERRIAN e KELLER, 1978). Outros elementos como a radiação solar e o déficit de pressão de vapor e ainda fatores como a pressão de operação dos aspersores, a distribuição e o tamanho de gotas, a distância de percurso da gota no ar e a intensidade de aplicação de água ao solo também interferem no processo (SEGINER e KOSTRINSKY, 1975).

As perdas por condução podem ser minimizadas, evitando-se vazamentos nas tubulações. As perdas por evaporação e arraste pelo vento podem ser reduzidas, evitando-se a irrigação em condições de vento forte e em horários de maior demanda evaporativa, ficando a eficiência de irrigação dependente, principalmente, da uniformidade de aplicação.

2.3. Uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação

Uniformidade de aplicação é definida por Burt *et al.* (1997) como uma medida de uniformidade com a qual a água de irrigação é distribuída no campo. É um dos parâmetros básicos do manejo da irrigação, e sua importância aumenta quando se usa o sistema de irrigação para aplicação de produtos químicos. Uma das condições básicas para a distribuição adequada de produtos químicos via água de irrigação é que a água seja aplicada de forma homogênea em toda a superfície irrigada.

Aplicando-se a lâmina recomendada para um sistema de irrigação com baixa uniformidade, ocorrerá distribuição diferenciada de fertilizantes e outros produtos químicos (HERNANDEZ, 1994). Algumas plantas não terão disponível no solo o volume de água suficiente para seu pleno desenvolvimento, o que proporcionará desenvolvimento irregular da cultura e comprometerá o uso da técnica, sendo necessário aumentar o volume de água aplicado, fazendo com que outras regiões do solo recebam água em excesso para atender às necessidades das plantas, que se perderá por percolação (LOPES *et al.*, 1992; CAPRA e SCICOLONE, 1998).

Para aumentar a uniformidade de aplicação de água e otimizar a uniformidade de aplicação dos produtos químicos, pode-se reduzir o espaçamento entre os aspersores, diminuir o tempo de aplicação e proceder à quimigação em horário noturno (RAMOS e MANTOVANI, 1994).

Hans *et al.* (1983), citados por Hernandes (1994), avaliando a uniformidade de aplicação da água e de fertilizante por meio de irrigação por gotejamento, com diferentes métodos de injeção (venturi, tanque de injeção e bomba injetora), concluíram que a quantidade de fertilizante distribuída por um emissor e a uniformidade de aplicação do fertilizante não variaram com o método de injeção utilizado, nem com a posição do emissor, e que as variações observadas dependeram estritamente da uniformidade de aplicação da água.

A maioria dos sistemas de irrigação por aspersão pode ser projetada e operada para aplicar água com uniformidade igual ou superior a 85%,

dependendo do local e do sistema, podendo ser encontrados valores menores. Na aspersão convencional, a uniformidade pode ser elevada, dependendo do espaçamento entre os aspersores, e geralmente esses valores devem se situar em patamares superiores a 80% (RAMOS e MANTOVANI, 1994).

Um fator que interfere na uniformidade de distribuição é a pressão de operação. Aspersores que operam com pressões muito altas pulverizam excessivamente o jato de água, diminuindo o raio de alcance e causando encharcamento próximo ao aspersor. Aspersores que operam com pressões baixas resultam em inadequada pulverização do jato de água, tornando o perfil de distribuição muito irregular (BERNARDO, 1995).

Quando se tenta ressaltar os fatores ambientais que interferem na uniformidade de distribuição de água, constata-se que a ação do vento é fator preponderante, proporcionando uma distorção no perfil do aspersor, que dependerá de sua velocidade e do tamanho das gotas de água. Quanto maior a velocidade do vento e menor o tamanho das gotas, maior será a distorção na distribuição da água, em comparação com aquela para condição de vento fraco (GOMIDE, 1978; SOLOMON *et al.*, 1985; OLITTA, 1986).

Os sistemas de irrigação localizada têm potencial para apresentar eficiência de aplicação maior que a de outros métodos, como o de aspersão ou de superfície. Segundo Wu e Gitlin (1983), a uniformidade de aplicação depende da variação da vazão ao longo da linha lateral, sendo afetada, principalmente, pelo projeto hidráulico do sistema de irrigação, pela variação de fabricação do emissor, pela temperatura e pela obstrução parcial ou total do emissor. Essa variação é determinada entre a vazão máxima e a mínima do sistema, dada pela equação 1:

$$q_{\text{var}} = \frac{q_{\text{máx}} - q_{\text{mín}}}{q_{\text{máx}}} \quad (1)$$

em que

q_{var} = variação de vazão;

$q_{\text{máx}}$ = vazão máxima do emissor, $L h^{-1}$; e

$q_{\text{mín}}$ = vazão mínima do emissor, $L h^{-1}$.

Em um sistema de irrigação localizada praticamente não há perdas na condução da água no percurso desde o ponto de captação até a saída dos emissores. Fundamentalmente, as perdas existentes ocorrem no solo molhado, por percolação, e em menor escala, por evaporação e escoamento sobre a superfície do terreno (GOMES, 1999).

Existirão perdas inevitáveis por percolação, principalmente em solos de textura grossa, mesmo que o emissor forneça a vazão de projeto requerida pela cultura. No entanto, as maiores perdas por percolação ocorrem por conta dos emissores que proporcionam vazões superiores às de projeto, já que não se pode alcançar uma uniformidade absoluta das vazões dos emissores nas unidades de irrigação.

A variação de vazão entre emissores, provocada pelo processo de fabricação, também é um dos fatores que causam redução na uniformidade de aplicação de água, quantificada pelo coeficiente de variação de fabricação (CV). Contudo, a uniformidade pode ser melhorada pelo aumento do número de emissores por planta (KELLER e KARMELI, 1975). Hoje dispõe-se de um grande número de modelos de emissores. Devem ser selecionados modelos que apresentem um CV menor possível, ou modelos de emissores autocompensantes que, em geral, apresentam baixos coeficientes de variação de fabricação. Na Tabela 1 está a classificação dos emissores quanto à uniformidade.

Tabela 1 – Valores de CV em função da uniformidade

CV	Uniformidade
> 0,4	Inaceitável
0,4-0,3	Baixa
0,3-0,2	Aceitável
0,2-0,1	Muito boa
0,1-0	Excelente

Fonte: Pizarro (1990).

O entupimento de emissores é um dos principais problemas da irrigação localizada, principalmente na irrigação por gotejamento, em que os diâmetros dos emissores e a velocidade da água são menores que em sistemas de microaspersão. As obstruções provocam grandes variações de vazão nos gotejadores e não afetam igualmente todos os emissores de uma instalação, introduzindo um novo fator de variação, que se soma à variação de fabricação e ao projeto hidráulico. Como conseqüência ocorre redução na uniformidade de distribuição de água e também de fertilizantes, no caso de uso da fertirrigação (NAKAYAMA e BUCKS, 1986).

A obstrução dos emissores está diretamente relacionada à qualidade da água de irrigação. Portanto, os sólidos em suspensão, a composição química e a atividade microbiológica ditam o tipo de tratamento de água necessário para prevenção das obstruções (NAKAYAMA e BUCKS, 1986).

Para evitar o entupimento de gotejadores e, conseqüentemente, a redução na uniformidade de aplicação de água, algumas medidas preventivas são recomendadas, como filtragem adequada, abertura periódica dos finais de linhas e, em alguns casos, tratamento químico.

Um bom sistema de filtragem é componente essencial para um sistema de irrigação por gotejamento. A seleção do tipo, do tamanho e da capacidade do filtro depende da qualidade da água e das características do emissor. Na Tabela 2 está a relação entre o diâmetro do emissor e a sua sensibilidade à obstrução. O grau de filtragem recomendado pelo fabricante deve ser seguido, porém, quando esta recomendação não está disponível, uma regra prática, segundo Gilbert e Ford (1986), é filtrar partículas que possuem um diâmetro superior ou igual a um décimo da abertura do emissor.

Tabela 2 - Diâmetro do emissor e sensibilidade à obstrução

Diâmetro Mínimo (mm)	Sensibilidade
0,7	Alta
0,7 – 1,5	Média
> 1,5	Baixa

Fonte: Pizarro (1990).

Pequenas partículas podem atravessar os filtros e, como são suficientemente leves, são transportadas com facilidade pela água quando a velocidade é alta. Contudo, a velocidade decresce ao longo da linha lateral, possibilitando a sedimentação dessas partículas no seu final e nos emissores, provocando obstruções parcial ou total. A instalação de válvulas automáticas ou as aberturas manuais periódicas no final de linha ajudam a remover essas partículas. Segundo Smajstrla e Boman (1999), a frequência de lavagem dependerá da qualidade da água de irrigação; em alguns casos, há necessidade de lavagem das linhas após cada irrigação. Vermeiren e Jobling (1980) recomendam a abertura das extremidades das tubulações pelo menos uma vez por mês. A velocidade mínima recomendada é de $0,30 \text{ m s}^{-1}$ (ASAE, 2000), para permitir o deslocamento e o transporte das partículas.

A avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é uma etapa fundamental, e deve ser implementada antes da adoção de qualquer estratégia de manejo de irrigação. Os resultados dessa avaliação permitirão definir as necessidades de ajuste do equipamento ou os índices relacionados à eficiência e à uniformidade de irrigação a serem utilizados no manejo.

Vários métodos estão disponíveis para avaliar a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação. Um dos mais utilizados na irrigação por aspersão é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), estabelecido por Christiansen (1942), descrito pela equação 2:

$$\text{CUC} = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{XL} \right] \quad (2)$$

em que

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

X_i = lâmina observada no coletor i , mm;

\bar{X} = lâmina média, considerando todos os coletores, mm; e

n = número de coletores.

Na equação proposta por Christiansen, cada coletor representa áreas do mesmo tamanho, porque foi desenvolvido para sistemas de aspersão convencional. Entretanto, esse fato não ocorre em sistemas de irrigação por pivô central, em que os coletores são colocados com espaçamentos eqüidistantes ao longo de um ou mais raios do pivô, portanto cada coletor representa uma área maior, partindo-se do ponto central do pivô para a extremidade. Desta forma, Heermann e Hein (1968) redefiniram o coeficiente de uniformidade de Christiansen para sistemas do tipo pivô central, ponderando as lâminas coletadas em relação à área representada por cada coletor (equação 3). Este coeficiente é recomendado pela norma ASAE S436.1 para avaliação da uniformidade de distribuição de água aplicada pelos sistemas de irrigação por pivô central, nos Estados Unidos.

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\frac{\sum_{i=1}^n S_i X_i - \frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}}{\sum_{i=1}^n S_i}}{\sum_{i=1}^n X_i S_i} \right] \quad (3)$$

em que

S_i = distância do centro do pivô ao ponto i .

Segundo Bernardo (1995), esse coeficiente pode ser também utilizado para o cálculo do coeficiente de uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento, substituindo os valores das lâminas pela vazão dos gotejadores, obtendo-se resultados bastante confiáveis, porém requer a medição da vazão de todos os gotejadores do sistema, o que demanda muito tempo e muita mão-de-obra. Esta equação (4) pode ser representada como:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - q_a|}{nq_a} \right] \quad (4)$$

em que

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

q_a = vazão média dos emissores, $L h^{-1}$.

Um outro coeficiente especificamente aplicado em irrigação por gotejamento é a porcentagem de uniformidade de emissão de Keller e Karmeli (1975). Segundo Lopes *et al.* (1992), atualmente o uso desse coeficiente é mais freqüente, pois compara a média de 25% das observações de valores mais baixos com a média total. É denominado “coeficiente de uniformidade de distribuição”, por alguns autores, ou

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_a} \quad (5)$$

em que

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$q_{25\%}$ = média dos 25% menores valores observados; e

q_a = vazão média dos gotejadores.

Considerando os aspectos operacionais e de precisão no processo de avaliação, Merriam e Keller (1978) sugeriram o uso de, no mínimo, 16 pontos de coleta da vazão dos gotejadores, distribuídos em quatro linhas laterais e em quatro pontos ao longo das linhas selecionadas. Essa metodologia foi modificada por Denículi *et al.* (1980), e consiste na coleta da vazão dos gotejadores, em oito posições e em quatro laterais, ou seja, na primeira lateral, na situada a um terço da origem, na situada a dois terços e na última linha. Em cada linha lateral, são selecionados oito emissores (o primeiro, a um, dois, três, quatro, cinco e seis sétimos do comprimento e o último).

A Tabela 3 apresenta a classificação recomendada pela norma ASAE EP 458 (ASAE Standards, 1996), para os valores de coeficiente de uniformidade de distribuição.

Tabela 3 – Classificação dos valores de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

Classificação	CUD (%)
Excelente	90-100
Boa	80-90
Razoável	70-80
Ruim	<70

O coeficiente de uniformidade de distribuição também foi ajustado por Heermann e Hein (1968), para ser utilizado em sistemas de irrigação por pivô central (equação 6):

$$CUD = 100 \left[\frac{\sum_{i=p}^q X_i S_i}{\sum_{i=p}^q S_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right] \quad (6)$$

em que

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

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

Segundo Bernardo *et al.* (2005), o coeficiente estatístico de uniformidade (CUE), proposto por Wilcox e Swailes, o CUC e o CUD são os três coeficientes mais utilizados para expressar a uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação por aspersão, sendo representado pela equação 7. O CUC é o coeficiente mais utilizado, o CUD é adotado principalmente para sistemas de

irrigação instalados em culturas de alto valor econômico, porém esse coeficiente majora consideravelmente a lâmina a ser aplicada quando o sistema apresenta baixa uniformidade, e o CUE representa a variação ocorrida nas vazões dos emissores avaliados.

$$CUE = 100 \left[1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2}{(n-1)X_m^2}} \right] = 100 \left[1 - \frac{S}{X_m} \right] = 100 - CV \quad (7)$$

em que

S = desvio-padrão dos dados de precipitação;

X_m = média das precipitações, mm;

X_i = precipitação observada em cada pluviômetro, mm;

n = número de pluviômetro; e

CV = coeficiente de variação.

O CUE pode ser utilizado para determinação da uniformidade em sistemas de irrigação localizada, bastando a substituição das lâminas, na conceituação original, pela vazão dos emissores. Bralts e Kesner (1983) sugerem a seguinte classificação para valores do CUE:

Tabela 4 – Classificação dos valores de coeficiente estatístico de uniformidade (CUE)

Classificação	CUE (%)
Excelente	90-100
Muito Bom	80-90
Razoável	70-80
Ruim	60-70
Inaceitavel	<60

A análise conjunta dos três coeficientes permite a melhor avaliação da uniformidade.

2.4. Uniformidade de aplicação de água x produtividade

Segundo Calheiros *et al.* (1996), as pesquisas têm demonstrado que a uniformidade de irrigação influencia diretamente o rendimento das culturas e os custos do sistema. De modo geral, o aumento na uniformidade de distribuição de água implica o aumento do custo do sistema. Por outro lado, resulta na maior produtividade da cultura e, conseqüentemente, na maior receita com a produção. Entretanto, esse efeito varia de cultura para cultura, e uma análise econômica deve ser feita para verificar a viabilidade do aumento da uniformidade. Quando não existe limitação de água, a baixa uniformidade dos sistemas tem sido compensada com irrigações, com aplicações de lâminas de água maiores do que as necessárias.

A água em excesso ou em deficiência pode levar a prejuízos econômicos relevantes. Quando aplicada em excesso, além da sua perda, pode ocorrer o carreamento de nutrientes para zonas do solo não-exploradas pelas raízes, reduzindo a produtividade. A aplicação deficiente nos períodos críticos pode provocar redução na produtividade e riscos de concentração de sais no solo nas zonas onde as raízes ativas se concentram. O volume aplicado de água deve completar as precipitações insuficientes, otimizando a umidade do solo, e deve evitar perdas vegetativas e produtivas da cultura sem alterar as propriedades físico-químicas do solo.

Davis e Fry, citados por Faccioli (2002), realizaram experiências com alfafa, irrigada por aspersão convencional com coeficiente de uniformidade alto e baixo. Inicialmente eles testaram um sistema de aspersão com espaçamento de 9 por 15 m e obtiveram um valor de CUC igual a 87%. Posteriormente, ampliaram o espaçamento para 18 por 18 m e o coeficiente de uniformidade caiu para 63%, que é considerado um índice insuficiente. No entanto, devido às condições favoráveis do solo e ao bom desenvolvimento do sistema radicular da alfafa, o rendimento da cultura obtido no segundo tratamento, com CUC de 63%, foi pouco inferior ao rendimento obtido no primeiro.

Freitas (2000) estudou o efeito da uniformidade de distribuição de água e de lâminas de irrigação na produtividade da cultura do milho. O autor trabalhou com dois níveis de CUC, um alto (84%) e outro baixo (67%), e com cinco lâminas de irrigação, 50, 75, 100, 125 e 150% da lâmina de irrigação recomendável para atender às necessidades hídricas da cultura. Para os tratamentos com 100% de reposição da lâmina recomendável e CUC de 84 e 67%, o autor observou a influência da uniformidade de distribuição na produtividade da cultura, sendo essa de 6.413 e 4.675 kg ha⁻¹, respectivamente.

Santos, citado por Pereira (2002), mostrou que a melhor produtividade do tomate (próximo a 102 t ha⁻¹) foi alcançada com a aplicação de 470 mm de água, usando um sistema de irrigação por gotejamento cuja uniformidade de distribuição era 90%, enquanto a produtividade máxima decresceu para 85 t ha⁻¹, usando 500 mm de água com uma uniformidade de aplicação de 60%. No caso de plantas perenes, o autor adverte que as relações entre a uniformidade e a lâmina aplicada não são tão diretas, em decorrência das características fisiológicas mais complexas e de outros fatores como a profundidade do sistema radicular.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização dos sistemas avaliados

Este trabalho foi realizado em 29 propriedades de produtores de mamão localizadas na região norte do Estado do Espírito Santo, no período de 3 de setembro de 2004 a 26 de julho de 2005. Foram avaliados 17 sistemas de irrigação por microaspersão, sete por pivô central, quatro por gotejamento e um microspray. A seleção dos equipamentos e sua localização basearam-se em levantamento realizado por técnicos da INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural), em 2002, seguindo critério quanto à área cultivada no município com a cultura e principais sistemas utilizados, exceto os de irrigação por aspersão.

Na Tabela 5 está a distribuição, por município, dos sistemas de irrigação utilizados na cultura do mamoeiro e a área equivalente.

Tabela 5 – Distribuição dos sistemas de irrigação utilizados na cultura do mamoeiro na região norte do Estado do Espírito Santo

Município		Aspersão	Gotejamento	Microaspersão	Pivô Central	Autopropelido	Tape	Total
Jaguareé	Sistema	5	7	26	6	5	1	50
	Área	75	157	260	273	102	16	883
Linhares	Sistema	5	17	50	7	3	11	93
	Área	91	1.045	1.021	226	32	101	2.516
Sooretama	Sistema	6	3	14	0	0	3	26
	Área	179	38	440	0	0	52	709
Pinheiros	Sistema	1	3	6	24	5	0	39
	Área	7	148	147	1.701	94	0	2.097
Aracruz	Sistema	1	3	31	1	3	6	45
	Área	2,2	165	330	35	15	27	574,2
Montanha	Sistema	13	1	0	3	0	0	17
	Área	512,5	6	0	140	0	0	658,5
São Mateus	Sistema	3	1	6	5	0	0	15
	Área	30,5	13	78	195	0	0	316,5
Boa Esperança	Sistema	2	1	5	3	2	0	13
	Área	65	8,7	48	133	32	0	286,7
Mucurici	Sistema	0	0	0	3	0	3	6
	Área	0	0	0	170	0	61	231
Pedro Canário	Sistema	5	1	1	0	2	0	9
	Área	147	12	42	0	58	0	259
Conceição da Barra	Sistema	3	0	0	0	0	0	3
	Área	67	0	0	0	0	0	67
Rio Bananal	Sistema	1	1	0	0	0	1	3
	Área	5,5	11	0	0	0	5,5	22
João Neiva	Sistema	0	1	1	0	0	0	2
	Área	0	15	16	0	0	0	31
Total (sistemas)		45	39	140	52	20	25	321
Total (área)		1.181,7	1.618,7	2.382	2.873	333	262,5	8.650,9
Sistemas	%	14	12	44	16	6	8	
Área	%	14	19	28	33	4	3	

3.1.1. Sistemas de irrigação por microaspersão

Na Tabela 6 estão a localização, o tempo de uso e a área irrigada dos 17 sistemas de microaspersão avaliados. A escolha de avaliar os sistemas de irrigação por microaspersão nos municípios de Jaguaré, Sooretama e Linhares foi devido à predominância desses sistemas nesses municípios. Os equipamentos avaliados foram os mais variados possíveis, tanto em relação ao tempo de uso quanto à área irrigada. Os produtores também possuíam variados graus de tecnificação.

Tabela 6 – Localização, tempo de uso e área irrigada dos sistemas de microaspersão avaliados

Equipamento Microaspersão	Localização	Tempo de Uso (meses)	Área Irrigada (ha)
1	Linhares	22	40
2	Linhares	15	12
3	Linhares	09	130
4	Linhares	11	15
5	Linhares	18	23
6	Sooretama	4,5	11
7	Linhares	36	24
8	Linhares	09	10
9	Sooretama	18	27
10	Sooretama	24	11
11	Sooretama	09	27
12	Sooretama	19	7,5
13	Linhares	12	30
14	Sooretama	24	13
15	Jaguaré	14	28
16	Sooretama	3,5	25
17	Sooretama	15	12

3.1.2. Sistemas de irrigação por pivô central

Os sistemas de irrigação de pivô central selecionados para avaliação estão localizados no município de Pinheiros, visto que a maior concentração desses sistemas (pivôs de 1 a 6), irrigando a cultura do mamão, encontra-se nesse

município. As características técnicas de projeto estão na Tabela 7. A área irrigada pelos equipamentos variou de 33,53 a 86,54 ha. Foi avaliado um pivô localizado no município de Linhares, porém suas características não estão apresentadas no Quadro 4. Esse pivô foi redimensionado, e não foi possível obter os dados técnicos.

Tabela 7 – Ano de implantação, raio da última torre (Rut), raio total irrigado (Rt), área, tempo por volta a 100% (h/v 100), velocidade de deslocamento a 100% (vd 100), lâmina aplicada a 100%, tempo de operação (To), lâmina bruta (lbrut) e vazão do sistema (Q)

Nº Pivô	Ano de Impl.	Rut (m)	Rt (m)	Área (ha)	h/v 100 (proj)	vd 100 (proj.) (m/h)	Lapl 100 (mm)	To (horas)	lbrut (mm)	Q (m ³ /h)
1	2003	473	524	86,5	10,33	263,9	4,33	21	8,8	362,6
2	2004	289	326	33,5	7,47	247,0	3,02	21	8,5	135,7
3	2000	459	511	82,0	10,03	287,5	3,73	21	7,8	373,0
4	2003	293	337	35,8	14,64	125,7	5,06	24	8,3	123,7
5	2003	439	490	75,6	10,45	264,0	4,98	21	10,0	360,5
6	2003	281	336	35,6	6,70	263,9	4,70	21	14,7	250,0

3.1.3. Sistemas de irrigação por gotejamento e por microspray

Os sistemas de irrigação por gotejamento e por microspray avaliados estão localizados nos municípios de Linhares e Jaguaré. Na Tabela 8 estão o fabricante, a vazão nominal, o tempo de uso e a área irrigada para cada equipamento.

Tabela 8 – Caracterização dos sistemas de irrigação por gotejamento avaliados

Sistemas	Fabricante	Vazão Nominal (L.h ⁻¹)	Tempo de Uso (meses)	Área Irrigada (ha)
Gotejamento 1	netafin	2,2	24	50
Gotejamento 2	netafin	2,2	7	90
Gotejamento 3	plasto	1,8	16	28
Gotejamento 4	netafin	2,2	18	10
Microspray 5	carburundum	13,0	20	40

3.2. Uniformidade de aplicação de água

As avaliações da uniformidade de distribuição de água dos sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento foram feitas com base na metodologia proposta por Merriam e Keller (1978), modificada por Denículi *et al.* (1980). Para medição das vazões dos microaspersores e gotejadores selecionados foi coletado o volume de água aplicado pelo emissor, durante 3 minutos.

Utilizando os dados de vazão coletados, determinou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (equação 4), no qual os valores de precipitações foram substituídos pelos de vazão dos emissores. O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) foi determinado por meio da equação 5, apresentada por Keller e Karmeli (1975), e o coeficiente estatístico de uniformidade (CUE), pela equação 7. As medições de pressão foram feitas apenas nos finais das linhas laterais, utilizando um manômetro graduado de 0 a 6 bar.

Nos sistemas pivô central, a determinação da uniformidade de distribuição de água foi baseada na metodologia proposta por Merriam e Keller (1978), e consistiu em coletar as precipitações por meio de pluviômetros colocados ao longo de dois raios. A disposição das duas linhas de coletores foi feita ao longo da estrada de acesso ao centro do pivô, dispostas em paralelo e espaçadas entre si de 0,5 m, pelo fato de a cultura do mamoeiro ser de porte alto, não possibilitando a melhor disposição, que seria aquela em que a linha de coletores fosse colocada em posições onde as diferenças de elevações no terreno fossem máximas.

Os coletores dispostos ao longo das linhas foram numerados em ordem crescente, a partir do centro, afastados entre si por 5 m e apoiados em suportes de 40 cm de altura. As avaliações nos sistemas de irrigação por pivô central foram realizadas no período noturno, permitindo economia com o desconto no preço da energia elétrica obtido nesse horário, com a instalação das linhas durante o dia e a leitura dos volumes precipitados medidos com o auxílio de uma proveta graduada, após a passagem do pivô pelas linhas de coletores.

A velocidade de deslocamento da última torre foi calculada com a distância de 10 m, medida ao longo da trilha da roda da torre, e com o tempo médio de percurso.

A uniformidade de distribuição de água foi estimada, utilizando-se os dados de precipitação de cada um dos raios, por meio dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC_p) (equação 3). O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD_p) foi determinado pela equação 6 e o coeficiente estatístico de uniformidade (CUE), pela equação 7.

3.3. Avaliação de irrigação

A coleta de amostras de solos para avaliação do manejo de irrigação nos sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento foi realizada em nove pontos de três linhas laterais: no início, no meio e no final da primeira linha lateral, na lateral situada no meio e na última linha lateral. As amostras de solo foram retiradas com o auxílio de um trado tipo holandês, antes da irrigação, a aproximadamente 20 cm distante do caule da planta nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, totalizando 27 amostras, sendo a umidade obtida pelos valores médios de cada camada, determinada pelo método-padrão de estufa.

Nos sistemas de irrigação por pivô foram retiradas amostras de solos em três pontos, escolhidos em direção radial, de forma que cada um dos pontos representasse um terço da área coberta pelo equipamento. Em cada um desses pontos foram retiradas amostras de solo nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, em três locais, sendo o primeiro a aproximadamente 20 cm do caule de uma planta, sobre o camalhão, o segundo entre o camalhão e o carreador, e o terceiro no carreador, antes do local compactado pela passagem de máquinas agrícolas.

Foram retiradas subamostras em cada um dos locais amostrados em cada profundidade, que depois foram misturadas, a fim de formar uma amostra composta por camada, para obtenção da curva de retenção de água no solo, com uso do extrator de Richards. O procedimento empregado foi o mesmo nos três sistemas de irrigação.

As amostras indeformadas de solo para determinação da massa específica do solo (ϕ_s) foram retiradas nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Nos sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento os pontos amostrados foram no início da primeira linha, no meio da linha central e no final da última linha, totalizando nove amostras, sendo a massa específica obtida pelos valores médios de cada camada. Nos pivôs, os pontos amostrados foram os mesmos onde foram retiradas as amostras para determinação da umidade, porém sobre o camalhão.

A profundidade do sistema radicular do cultivo para determinação da lâmina real de irrigação necessária foi definida a partir de valores citados na literatura e observações de campo, tendo sido utilizado o valor de 0,40 m. A lâmina real de irrigação necessária para os sistemas de irrigação por pivô central e microaspersão foi determinada pela equação 8:

$$IRN = (C_c - U_a)10^{-1} \phi_s Z \quad (8)$$

em que

IRN = irrigação real necessária, mm;

C_c = teor de umidade na capacidade de campo, % em peso;

U_a = teor de umidade do solo antes da irrigação, % em peso;

ϕ_s = massa específica do solo, $g\ cm^{-3}$; e

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

Nos sistemas de irrigação por gotejamento e por microspray, a lâmina real de irrigação necessária foi obtida ao multiplicar o resultado encontrado pela equação 8 pela porcentagem de área molhada (P_w).

A intensidade de aplicação para os sistemas de irrigação localizada foi obtida ao multiplicar a vazão média pelo número de emissores por planta e ao dividir o resultado pela área ocupada pela planta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação avaliados

4.1.1. Sistemas de irrigação por microaspersão

Os valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), uniformidade de distribuição (CUD) e estatístico (CUE) estão na Tabela 9. Observa-se que sete dos 17 sistemas avaliados, 41,2% do total, apresentaram valores de CUC superiores a 90%, valores recomendados para culturas com alto valor comercial, se for considerada para microaspersão a mesma recomendação feita para sistema de irrigação por pivô central (BERNARDO *et al.*, 2005). Constatou-se que em 47% dos sistemas o valor de CUC variou de 80 a 90% e que em apenas dois este valor foi inferior a 80%. Portanto, a grande maioria dos sistemas avaliados apresenta bons resultados de uniformidade para o coeficiente de uniformidade de Christiansen. Considerando que esses sistemas estão operando no máximo a 36 meses e que sua manutenção é constante, com um operário realizando um trabalho sistemático de desobstrução dos microaspersores, esses resultados ficaram aquém do esperado.

Analisando o valor de CUD obtido nesses sistemas, verifica-se que somente 53% deles apresentaram valores considerados bom a excelente para sistemas de irrigação por microaspersão. Deve-se ressaltar que esse coeficiente, segundo Pizarro (1990), utiliza critérios mais exigentes.

Tabela 9 – Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de uniformidade estatística (CUE) e respectivas classificação dos coeficientes, dos sistemas de microaspersão avaliados

Sistema Microaspersão	CUC (%)	CUD (%)	Classificação	CUE (%)	Classificação
1	69,3	39,3	ruim	59	inaceitável
2	94,0	90,4	excelente	92	excelente
3	84,9	82,3	bom	82	muito bom
4	94,8	92,3	excelente	93	excelente
5	92,6	90,6	excelente	91	excelente
6	87,4	76,5	razoável	79	aceitável
7	94,3	90,4	excelente	92	excelente
8	89,7	82,9	bom	86	muito bom
9	71,6	65,9	ruim	67	baixo
10	87,4	76,1	razoável	83	muito bom
11	82,2	64,3	ruim	73	aceitável
12	92,1	84,2	bom	86	muito bom
13	86,8	76,0	razoável	81	muito bom
14	88,5	79,5	razoável	81	muito bom
15	80,6	67,4	ruim	75	aceitável
16	95,5	91,9	excelente	93	excelente
17	95,5	92,9	excelente	94	excelente

O sistema de irrigação localizada pode apresentar baixos valores de uniformidade, devido a variações de vazão ao longo da linha, em função, principalmente, do tempo de uso e do processo de entupimento do emissor. Portanto, é importante considerar outros coeficientes que permitam identificar melhor essa variação, como o coeficiente estatístico. Observa-se que 70% dos sistemas apresentaram valores de CUE classificados como muito bom a excelente. Somente dois sistemas, micros 1 e 9, foram classificados como inaceitável e baixo. Esses sistemas apresentaram baixos valores tanto de CUC como de CUD.

Os baixos valores dos coeficientes de uniformidades apresentados no sistema micro 1 podem ser explicados pela concentração de ferro de 25 mg L⁻¹, muito acima do recomendado, que é de até 0,5 mg L⁻¹. Quanto ao sistema micro 9, a baixa uniformidade pode ser atribuída à pressão de serviço, verificada durante a

avaliação. Parte desse sistema estava funcionando com pressão de 0,6 atm, quando deveria funcionar com 2,0 atm

4.1.2. Sistemas de irrigação por pivô central

Analisando os valores de CUC para os sistemas de irrigação por pivô central (Tabela 10), pode-se observar que somente um sistema avaliado apresentou valor superior a 90%, o que é recomendado para culturas com alto valor comercial (BERNARDO *et al.*, 2005). Mais de 50% dos sistemas apresentaram valores de CUC entre 80 e 90%, o que pode ser classificado como bom, e dois sistemas apresentaram valores inferiores a 80%. Esperavam-se resultados melhores, considerando que esses equipamentos têm no máximo três anos de utilização e as avaliações foram realizadas à noite, em momentos em que a velocidade do vento era baixa, fatores esses que interferem na uniformidade.

Os valores de CUD encontrados em cinco dos sete sistemas de irrigação por pivô central avaliados (Tabela 10) apresentaram resultados classificados como razoável a bom. Os outros dois sistemas foram classificados como ruim, pelos valores apresentados. Da mesma forma, os valores de CUE foram classificados como aceitável a muito bom para a maioria dos sistemas; nenhum dos sistemas avaliados apresentou CUE excelente.

Tabela 10 – Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente de uniformidade estatístico (CUE) e respectivas classificação dos coeficientes

Sistema Pivô	CUC (%)	CUD (%)	Classificação	CUE (%)	Classificação
1	87,7	77,6	Razoável	83,3	Muito bom
2	88,9	80,8	Bom	81,9	Muito bom
3	90,1	81,9	Bom	83,5	Muito bom
4	69,5	78,3	Razoável	79,6	Aceitável
5	87,0	74,3	Razoável	82,5	Muito bom
6	83,6	67,2	Ruim	79,6	Aceitável
7	75,2	56,6	Ruim	67,6	Baixo

4.1.3. Sistemas de irrigação por gotejamento

Na Tabela 11 estão os valores de CUC, CUD e CUE e as respectivas classificações dos valores de CUD e CUE dos sistemas de irrigação por gotejamento e por microspray avaliados.

Tabela 11 – Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) e respectivas classificação dos valores de CUD e CUE, dos sistemas de gotejamento e microspray avaliados

Sistema	CUC (%)	CUD (%)	Classificação	CUE (%)	Classificação
Gotejamento 1	77,5	64,4	Ruim	66,8	Ruim
Gotejamento 2	88,8	78,8	Razoável	86,4	Muito bom
Gotejamento 3	57,4	15,9	Ruim	46,6	Inaceitável
Gotejamento 4	74,3	49,0	Ruim	60,9	Ruim
Microspray 5	77,9	75,2	Razoável	69,5	Ruim

Os valores de CUC encontrados para os cinco sistemas avaliados variaram de 88,8 a 57,4%, o que reflete as péssimas condições dos sistemas. Os valores de CUD foram classificados como razoável ou ruim. Uma das principais características da irrigação localizada é a possibilidade de obter altos valores de uniformidades. Essa característica é fundamental, não apenas pelo alto custo de implantação desses sistemas, mas também pelo uso da fertirrigação, além do fato de eles possuírem menos de 24 meses de uso. Os resultados do CUE também foram, em sua maioria, ruins, evidenciando a variação de vazão ocorrida nos sistemas avaliados. Os baixos índices de uniformidade encontrados devem-se ao entupimento de emissores, provocado pelo uso de água com elevados teores de ferro; este fato também foi observado na região, por Souza (2000) e Cordeiro (2002).

4.2. Avaliação do manejo da irrigação

4.2.1. Irrigação por microaspersão

Na Tabela 12 está a classificação textural dos solos das propriedades que utilizam o sistema de irrigação por microaspersão. Observa-se que os solos das propriedades que utilizam esse sistema de irrigação foram classificados, na camada de 0-40 cm, como franco-argilo-arenoso, franco-arenoso e areia-franca, o que reflete o elevado teor de areia nesses solos. O manejo de irrigação nesses solos deve ser mais cuidadoso, considerando a baixa capacidade de retenção de água e também a presença de uma camada adensada a aproximadamente 30 cm de profundidade.

Na Tabela 13 estão os percentuais de umidade do solo equivalentes às tensões de 0,10, 0,33 e 15 atm, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, massa específica do solo (ρ_s) e umidade atual de água no solo (U_a), nas propriedades que utilizam sistemas de irrigação por microaspersão e tiveram seus solos classificados como franco-argilo-arenoso na camada de 0-20 cm (Tabela 12). A literatura recomenda, para capacidade de campo (KELLER e BLIESNER, 1990; PIZARRO, 1990), valores de umidade equivalentes às tensões de 0,10 e 0,33 atm para solos arenosos e argilosos, respectivamente. Considerando essa classificação, foram utilizadas para capacidade de campo dos solos apresentados na Tabela 13, valores de umidade equivalentes à tensão de 0,33 atm, para uma profundidade radicular de 40 cm, visto que esta é a profundidade efetiva para a cultura do mamoeiro na região.

Na Tabela 14 estão os valores de intensidade de aplicação, tempo de irrigação e irrigação real necessária para capacidade de campo equivalente a 0,1 e 0,33 atm e irrigação realizada. Os valores apresentados nas Tabelas 13 e 14 serão analisados conjuntamente.

Observa-se que a U_a nos solos dos sistemas micro 1 e 8 encontra-se ligeiramente abaixo da capacidade de campo, que é de 13,48 e 14,38%, respectivamente (Tabela 13), o que requer uma irrigação real necessária de 4,20 e

Tabela 12 – Classificação textural dos solos das propriedades que utilizam sistema de irrigação por microaspersão

Sistema por Microaspersão	Classificação Textural		
	Camadas de solo (cm)		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
1	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso
2	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo arenoso	Argila
3	Franco-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso
4	Areia-franca	Franco-arenoso	Franco-argilo-arenoso
5	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
6	Franco-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
7	Franco-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
8	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
9	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
10	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso	Argilo-arenoso
11	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso
12	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-argilo-arenoso
13	Areia-franca	Franco-arenoso	Franco-argilo-arenoso
14	Franco-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso
15	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
16	Franco-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso
17	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso

4,83 mm. Como a irrigação realizada foi de 2,94 e 3,57 mm (Tabela 14), respectivamente, pode-se considerar boa essa irrigação, principalmente sabendo-se que as propriedades não adotam nenhum método para controle de umidade, além da prática dos irrigantes.

Nos sistemas micro 5, 10 e 15 havia necessidade de irrigar 18,02, 16,10 e 18,30 mm, respectivamente (Tabela 13), entretanto foram irrigados apenas 2,2, 2,58 e 1,96 mm, respectivamente (Tabela 14). Com essa irrigação a umidade do solo ficou cerca de 60% da disponibilidade total de água no solo (DTA), para os sistemas micro 5 e 10, e 40% para o sistema micro 15. Quando a cultura possui alto valor econômico, recomenda-se usar apenas 20% da DTA, ou seja, deve permanecer no solo umidade equivalente a 80% da DTA.

Tabela 13 – Retenção de umidade dos solos, massa específica do solo (ρ_s), capacidade de campo (Cc) equivalente as tensões de 0,10 e 0,33 atm e umidade atual (Ua), nas propriedades que utilizam sistema de irrigação por microaspersão

Sistema por Microaspersão	Retenção de Umidade do Solo				Cc (%) média 0-40	j s Média	Ua
	Tensão	Profundidade (cm)				0-40 cm	0-40 cm
	(atm)	0-20	20-40	40-60	(g cm ⁻³)	(%)	
1	0,10	16,86	14,25	18,92	15,56	1,60	13,02
	0,33	14,08	12,87	14,00	13,48		
	15	10,03	8,40	9,57			
2	0,10	26,3	29,01	29,20	29,01	1,69	14,09
	0,33	12,67	12,94	19,50	12,81		
	15	9,01	9,65	11,37			
5	0,10	30,15	26,59	28,32	28,37	1,65	12,39
	0,33	15,22	14,62	17,97	14,92		
	15	9,15	8,66	10,59			
8	0,10	14,81	19,18	22,67	17,00	1,58	13,69
	0,33	13,07	15,69	17,53	14,38		
	15	7,64	10,61	12,33			
9	0,10	17,75	19,15	27,33	18,45	1,56	15,99
	0,33	13,90	16,14	19,12	15,02		
	15	8,05	9,60	12,14			
10	0,10	21,83	16,06	27,11	18,95	1,63	14,20
	0,33	15,10	17,62	21,68	16,36		
	15	9,74	11,52	13,50			
11	0,10	14,30	13,67	20,81	13,99	1,29	9,02
	0,33	9,31	5,62	14,14	7,47		
	15	5,64	5,28	8,64			
15	0,10	15,86	21,50	26,94	18,68	1,65	9,64
	0,33	10,69	13,04	16,14	11,87		
	15	6,53	8,89	11,10			
17	0,10	12,54	17,85	23,60	15,20	1,62	11,08
	0,33	10,47	11,73	15,64	11,10		
	15	6,82	7,96	10,05			

Tabela 14 – Intensidade de aplicação, tempo de irrigação, irrigação real necessária (IRN) e irrigação realizada nas propriedades que utilizam sistema de irrigação por microaspersão

Sistema por microaspersão	Intensidade de Aplicação	Tempo de Irrigação	IRN Cc 0,1 atm	IRN Cc 0,33 atm	Irrigação Realizada
	(mm h ⁻¹)	(h)	(mm)	(mm)	(mm)
1	1,47	2,0	23,36	4,20	2,94
2	2,77	1,0	107,07	*9,18	2,77
5	2,2	1,0	113,73	18,02	2,2
8	1,79	2,0	23,23	4,83	3,57
9	1,65	2,0	21,46	*8,49	3,30
10	3,88	0,67	35,39	16,10	2,58
11	2,97	1,0	31,14	*9,77	2,97
15	1,96	1,0	74,23	18,30	1,96
17	1,74	2,0	27,92	0,15	3,47

* Esses valores correspondem ao excesso de água no solo antes da irrigação.

Quanto aos solos dos sistemas micro 2, 9 e 11, observa-se que a umidade no dia da avaliação, 14,09, 15,99 e 9,02%, respectivamente, está acima da capacidade de campo, 12,81, 15,02 e 7,49, respectivamente (Tabela 13), o que indica que houve chuva intensa ou irrigação excessiva, porém nenhum dos dois fatos ocorreu. Quando o manejo de irrigação dessas propriedades foi avaliado, havia vários dias que não ocorria precipitação e nem irrigação nesses locais. Podia-se observar também durante a retirada de amostra do solo, que este não estava saturado. Como a umidade do solo foi determinada pelo método-padrão de estufa, em laboratório confiável, pode-se supor que os valores adotados como capacidade de campo estejam incorretos.

Adotando-se para capacidade de campo valores de umidade equivalente à tensão de 0,10 atm, a necessidade de irrigação será de 107,07, 21,46 e 31,14 mm (Tabela 13) para os sistemas micro 2, 9 e 11, respectivamente, o que equivale a um tempo de irrigação de 38h40, 6h30 e 10h30 (Tabela 14). Não se justifica uma lâmina tão alta, principalmente para o sistema micro 2, visto que durante as avaliações constatou-se que o solo não estava tão seco a ponto de exigir uma lâmina de 107,07 mm. Fica evidente que os valores de capacidade de campo não são equivalentes a uma tensão de 0,10 nem de 0,33 atm, mas sim a um valor intermediário.

Para o sistema micro 17, determinou-se a capacidade de campo de 11,10%. Como a U_a no dia da avaliação era de 11,08%, a irrigação de 3,47 mm não deveria ter sido realizada. Portanto, o manejo de irrigação nessa propriedade também não está adequado, a não ser que o valor da capacidade de campo não seja equivalente à tensão de 0,33 atm, como nos casos citados anteriormente.

Na Tabela 15 estão os percentuais de umidade do solo equivalentes às tensões de 0,10, 0,33 e 15 atm, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, massa específica do solo (ρ_s) e umidade atual de água no solo (U_a), nas propriedades que utilizam sistemas de irrigação por microaspersão e que tiveram seus solos classificados como franco-arenoso na camada de solo de 0-20cm e franco-argilo-arenoso na camada de 20-40 cm. Devido à variação da textura do solo nas duas camadas, utilizou-se para capacidade de campo a média dos valores de umidade equivalente à tensão de 0,10 atm para profundidade do solo de 0-20 cm e 0,33 atm, para profundidade de 20-40 cm.

Na Tabela 16 estão os valores de intensidade de aplicação, tempo de irrigação, irrigação real necessária (IRN) e irrigação realizada. A IRN foi calculada para uma profundidade de solo de 40 cm, exceto para o sistema micro 16, onde foi adotada a profundidade de 20 cm, visto que a cultura estava com 3,5 meses de idade. Os valores apresentados nas Tabelas 15 e 16 serão analisados conjuntamente.

Observa-se na Tabela 15 que os valores de umidade no dia da avaliação, para os sistemas micro 3, 6, 7 e 14, foram de 10,44, 12,84, 10,79 e 7,24%, respectivamente, logo a IRN seria de 30,58, 69,04, 21,21 e 45,09 mm (Tabela 16), o que demanda um tempo de irrigação de aproximadamente 23, 28, 12 e 17 horas, respectivamente. Esses tempos de irrigação são extremamente altos para sistema de alta frequência, como a irrigação localizada, e muito superiores à irrigação realizada, que variou de 45 minutos a 1 hora. Verifica-se que nesses sistemas foram utilizados cerca de 46, 72, 43 e 79% da DTA, quando a recomendação é utilizar, para cultura de alto valor econômico, aproximadamente 20%.

Tabela 15 – Retenção de umidade dos solos, massa específica do solo (ρ_s), capacidade de campo (Cc) equivalente às tensões de 0,10 e 0,33 atm e umidade atual (Ua) para profundidade média de 0-40cm nos sistemas micro 3 a 14 e 0-20 cm no sistema micro 16, nas propriedades que utilizam sistema de irrigação por microaspersão

Sistema por Microaspersão	Retenção de Umidade do Solo				Cc (%) média 0-40 cm	j s Média 0-40 cm (g cm ⁻³)	Ua (%)
	Tensão	Profundidade (cm)					
	(atm)	0-20	20-40	40-60			
3	0,10	17,09	25,41	30,12	14,33	1,67	10,44
	0,33	8,85	11,56	15,37			
	15	5,77	6,25	11,45			
6	0,10	26,31	30,11	33,76	21,60	1,72	12,84
	0,33	14,02	16,88	24,32			
	15	8,95	9,95	12,60			
7	0,10	13,69	19,08	20,45	13,91	1,6	10,79
	0,33	8,30	14,13	15,90			
	15	4,18	9,22	10,83			
14	0,10	15,24	14,14	21,19	13,22	1,67	7,24
	0,33	8,90	11,19	14,39			
	15	5,09	6,25	9,62			
16	0,10	12,47	16,29	22,35	12,47	1,55	12,40
	0,33	8,76	10,65	13,60			
	15	5,69	6,76	8,69			

Tabela 16 – Intensidade de aplicação (IA), tempo de irrigação (TI), irrigação real necessária (IRN) e irrigação realizada nas propriedades que utilizam sistema de irrigação por microaspersão

Sistema por Microaspersão	IA (mm h ⁻¹)	TI (h)	IRN (mm)	Irrigação Realizada (mm)
3	1,95	0,67	30,58	1,3
6	2,42	1,0	69,04	2,42
7	1,74	1,0	21,21	1,74
14	2,60	1,0	45,09	2,60
16	1,71	1,0	0,24	3,43

No sistema micro 16 a U_a está muito próximo da C_c , não havendo necessidade de irrigação, entretanto foram aplicados 3,43 mm. Essa irrigação pode ser explicada pelo maior cuidado que é dado à cultura nos primeiros meses após o plantio.

Os percentuais de umidade do solo equivalentes às tensões de 0,10, 0,33 e 15 atm, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, massa específica do solo (ρ_s) e umidade atual de água no solo (U_a), nas propriedades que utilizam sistemas de irrigação por microaspersão e que tiveram seus solos classificados como areia-franca ou franco-arenoso na camada de solo de 0-20 cm e franco-arenoso na camada de 20-40 cm (Tabela 12) estão na Tabela 17. Para a capacidade de campo desses solos foram utilizados valores de umidade equivalentes à tensão de 0,10 atm, para uma profundidade radicular de 40 cm.

Na Tabela 18 estão os valores de intensidade de aplicação, o tempo de irrigação real necessária para capacidade de campo equivalente a 0,1 e 0,33 atm e a irrigação realizada.

Pelos resultados das avaliações da irrigação nos sistemas micro 4 e 13, verifica-se que também nessas propriedades utilizou-se um percentual da DTA superior ao recomendado, como já constatado em outras propriedades. Observa-se na Tabela 17 um percentual de umidade atual de 9,51 e 7,35%, respectivamente, para esses dois solos, o que equivale a uma IRN 44,15 e 13,08 mm (Tabela 18), correspondendo a 62 e 40% da DTA. A irrigação realizada nessas propriedades não foi suficiente para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. No sistema micro 12, por outro lado, o solo estava próximo à capacidade de campo, não havendo necessidade da irrigação realizada nesse dia, que foi de 5,39 mm, caracterizando um desperdício de água nessa propriedade.

Os resultados das avaliações realizadas nos sistemas de irrigação por microaspersão mostraram que em 53% das propriedades as irrigações realizadas não foram suficientes para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Em 17% a irrigação foi excessiva e em outros 17%, pelos resultados da curva de retenção, o solo estava com umidade acima da capacidade de campo, sendo irrigado indevidamente. Apenas em 13% as irrigações realizadas foram adequadas.

Tabela 17 – Retenção de umidade dos solos das propriedades que utilizam sistema de irrigação por microaspersão

Sistema por Microaspersão	Retenção de Umidade do Solo					j s Média 0-40 cm (g cm ⁻³)	Ua 0-40 cm (%)
	Tensão	Profundidade (cm)					
	(atm)	0-20	20-40	40-60	Média 0-40 cm		
4	0,10	14,27	17,27	21,85	15,77	1,67	9,51
	0,33	6,71	9,59	12,89	8,15		
	15	5,58	5,80	7,30	5,69		
12	0,10	10,21	10,44	17,33	10,33	1,69	10,24
	0,33	6,59	8,52	12,80	7,56		
	15	4,51	5,54	7,61	5,03		
13	0,10	8,69	10,01	16,93	9,35	1,42	7,35
	0,33	5,89	7,71	5,14	6,80		
	15	3,63	5,14	6,92	4,39		

Tabela 18 – Intensidade de aplicação, tempo de irrigação, irrigação real necessária (IRN) e irrigação realizada nas propriedades que utilizam sistema de irrigação por microaspersão

Sistema por Microaspersão	Intensidade de Aplicação (mm h ⁻¹)	Tempo de Irrigação (h)	IRN Cc 0,1 atm (mm)	Irrigação Realizada (mm)
4	2,59	2,0	44,15	5,17
12	2,70	2,0	0,59	5,39
13	2,87	1,0	13,08	2,87

4.2.2. Irrigação por pivô central

Os sistemas de irrigação por pivô central avaliados estão instalados em solos com a mais variada classificação textural (Tabela 19). Essa variação permite uma análise mais ampla da irrigação nessas propriedades, visto que a textura do solo está diretamente relacionada com a capacidade de retenção de água no solo e com o manejo de irrigação.

Os valores referentes aos percentuais de umidade do solo equivalentes às tensões de 0,10, 0,33 e 15 atm, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, capacidade de campo (Cc) e massa específica do solo (ρ_s), nos solos onde estão instalados os sistemas de irrigação por pivô avaliados, estão na Tabela 20.

Tabela 19 – Classificação textural dos solos das propriedades que utilizam sistema de irrigação por pivô central

Sistema Pivô Central	Classificação Textural		
	Camadas de Solo (cm)		
	0-20	20-40	40-60
1	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
2	Argila	Argila	Argila
3	Areio-franco	Areio-franco	Franco-argilo-arenoso
4	Argila-arenosa	Argila-arenosa	Argila
5	Areia-franca	Areia-franca	Areia-franca
6	Areia	Areia-franca	Franco-arenoso
7	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso

Tabela 20 – Retenção de umidade dos solos das propriedades que utilizam sistema de irrigação por pivô central e massa específica do solo (ρ_s)

Sistema Pivô Central	Retenção de Umidade do Solo				Cc (%) média 0-40 cm	j s Média 0-40 cm (g cm ⁻³)
	Tensão (atm)	Profundidade (cm)				
		0-20	20-40	40-60		
1	0,10	12,27	12,96	21,51	10,85	1,30
	0,33	11,03	10,66	18,38		
	15	7,87	7,65	13,86		
2	0,10	24,17	24,26	27,18	22,84	1,28
	0,33	21,78	23,90	24,97		
	15	15,80	17,42	17,92		
3	0,10	7,62	8,20	12,66	7,91	1,50
	0,33	6,46	6,53	10,60		
	15	3,84	4,15	6,96		
4	0,10	19,24	22,37	24,09	18,89	1,38
	0,33	18,10	19,68	21,22		
	15	12,32	14,51	15,85		
5	0,10	7,04	7,36	9,30	7,20	1,38
	0,33	5,84	5,43	7,79		
	15	2,91	3,45	5,35		
6	0,10	7,26	7,85	11,89	7,56	1,39
	0,33	5,56	6,47	10,17		
	15	3,55	4,19	7,75		
7	0,10	13,47	17,64	18,27	9,34	1,65
	0,33	7,83	10,84	14,64		
	15	5,20	7,79	10,37		

Para determinação da Cc dos solos denominados pivôs 1, 2, 4 e 7, classificados como franco-argilo-arenoso, argila e argilo-arenosa, foram utilizados valores de umidade equivalentes à tensão de 0,33 atm, e para os pivôs 3, 5 e 6, solos classificados como areia-franca e areia, utilizou-se o valor de 0,10 atm. Devido à variação textural, ocorreu grande variação da capacidade de campo, com valores entre 22,84 e 7,20%, o que resulta em solos com grande capacidade de retenção de água e outros com baixa capacidade. A densidade aparente variou de 1,28 a 1,65 g cm⁻³.

Na Tabela 21 estão os valores de intensidade de aplicação (IA), umidade atual (Ua) e irrigação real necessária (IRN) sobre o camalhão (P1), entre o camalhão e o carreador (P2) e no carreador (P3), nas propriedades que utilizam sistema de irrigação por pivô central. A IRN foi determinada para os três pontos onde foi coletada amostra de solo, para determinação de umidade atual do solo, com o objetivo de avaliar os efeitos da irrigação por pivô na cultura do mamoeiro cultivada sobre camalhões. Entretanto, para avaliação da irrigação serão considerados os percentuais de umidade das amostras coletadas sobre o camalhão, pelo fato de o ponto estar localizado a aproximadamente 40 cm de distância do caule da planta, onde há maior concentração do sistema radicular.

Tabela 21 – Lâmina aplicada (La), umidade atual (Ua) e irrigação real necessária (IRN) sobre o camalhão (P1), entre o camalhão e o carreador (P2) e no carreador (P3) nas propriedades que utilizam sistema de irrigação por pivô central

Sistema Pivô Central	La (mm)	Ua (%)			IRN (mm)		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3
1	7,56	8,27	8,09	12,97	15,27	16,34	*12,60
2	9,22	12,04	12,95	16,03	61,95	56,71	39,08
3	9,04	7,00	7,39	10,65	6,06	3,49	*18,23
4	7,28	14,96	15,58	17,03	31,10	26,19	14,73
5	11,29	5,05	6,03	8,89	13,64	7,47	*10,72
6	12,96	7,05	6,44	10,05	3,33	7,40	*16,61
7	4,05	7,32	10,04	12,93	13,27	*4,66	*23,63

* esses valores correspondem ao excesso de água no solo antes da irrigação.

Os teores de umidade, em geral, aumentam de P1 para P3, conseqüentemente reduz os valores da IRN. Essa diferença pode ser atribuída ao escoamento de parte da água aplicada pelo pivô sobre o camalhão em direção ao carreador. Como existe uma camada adensada a pouca profundidade e o solo no carreador encontra-se compactado pelo trânsito de máquinas agrícolas, o teor de umidade tende a aumentar.

As irrigações realizadas nos pivôs 1, 3 e 7 não atenderam à IRN. Havia necessidade de aplicar 15,27, 31,10 e 13,27 mm de água nesses pivôs, respectivamente, e foram aplicados 7,56, 7,28 e 4,05 mm, portanto as irrigações foram deficitárias. Porém, observando-se o teor de umidade em P3 nos pivôs 1 e 7, verifica-se que seu valor é superior à capacidade de campo desses solos. Nesses pontos, acrescentou-se um volume de água ao excesso já existente.

O pivô 2 apresenta uma IRN de 61,95 mm e foi aplicada uma lâmina de 9,22 mm, o que possibilitou concluir que também ocorreu irrigação deficitária. Entretanto, observando os valores de umidade em P1, P2 e P3, verifica-se que eles são menores do que os valores do ponto de murcha, que é o teor de umidade equivalente a 15 atm (Tabela 20). A irrigação nesse pivô, portanto, não pode ser avaliada porque ocorreu um erro na determinação do ponto de murcha ou da umidade do solo.

Nos pivôs 3 e 6, as irrigações foram realizadas antes do momento adequado. Foram aplicados 9,04 e 12,96 mm quando a IRN era 6,06 e 3,33 mm, caracterizando irrigações excessivas nesses pivôs. No pivô 5 foram aplicados 11,29 mm, valor próximo do necessário, que era de 13,64 mm. Entre as avaliações de irrigações realizadas nos sistemas de irrigação por pivôs, este último foi o que apresentou o melhor resultado.

Nos sistemas de irrigação por pivô central, 57% das irrigações ficaram aquém do necessário, em 28% foram aplicadas lâminas excessivas e somente em 15% a irrigação foi adequada.

4.2.3. Irrigação por gotejamento

A classificação textural apresentada na Tabela 22 refere-se aos solos das propriedades em que foram avaliados sistemas de irrigação por gotejamento e microspray. Na camada de 0-20 cm, em sua maioria, foram classificados como franco-argilo-arenosos e apenas um como argilo-arenoso.

Tabela 22 – Classificação textural dos solos das propriedades que utilizam sistema de irrigação por gotejamento e por microspray

Sistema	Classificação Textural		
	Camadas de Solo (cm)		
	0-20	20-40	40-60
Gotejamento 1	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso	Argila
Gotejamento 2	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso	Argilo-arenoso
Gotejamento 3	Argilo-arenoso	Argilo-arenoso	Argila
Gotejamento 4	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Argilo-arenoso
Microspray 5	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso	Franco-argilo-arenoso

Os valores referentes aos percentuais de umidade do solo equivalente às tensões de 0,10, 0,33 e 15 atm, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, capacidade de campo (Cc) e massa específica do solo (ρ_s) para os solos onde estão instalados os sistemas de irrigação por gotejamento e por microspray avaliados estão na Tabela 23, e também os valores referentes à densidade aparente e umidade do solo momento antes de ser efetuada a irrigação. Para determinação da Cc desses solos, classificados como franco-argilo-arenoso e argilo-arenoso, utilizaram-se valores de umidade equivalentes à tensão de 0,33 atm.

Os teores de água equivalentes à capacidade de campo variaram de 12,70 a 21,07%. O menor valor é referente a um solo classificado como franco-argilo-arenoso e o maior a um solo de textura argilo-arenosa. A densidade aparente variou de 1,32 a 1,60 g cm⁻³. Os teores de umidade do solo apresentados na Tabela 23 equivalem a 63, 52, 72, 60 e 41% da disponibilidade total de água no solo; estes valores são inferiores ao recomendado para a cultura do mamão, 80% da DTA.

Tabela 23 – Retenção de umidade dos solos das propriedades que utilizam sistema de irrigação por gotejamento e por microspray

Sistema	Retenção de Umidade do Solo (%)				CC média 0-40	j _s Média 0-40 cm (g cm ⁻³)	U _a 0-40 cm (%)
	Tensão	Profundidade (cm)					
	(atm)	0-20	20-40	40-60			
Gotejamento 1	0,10	24,95	29,20	34,93	15,42	1,60	13,57
	0,33	13,84	17,01	20,87			
	15	9,04	12,33	15,24			
Gotejamento 2	0,10	18,01	19,29	21,50	17,71	1,55	14,95
	0,33	16,41	19,01	20,56			
	15	11,29	12,69	13,91			
Gotejamento 3	0,10	22,96	25,38	26,73	21,07	1,32	19,8
	0,33	19,96	22,18	23,11			
	15	14,41	18,13	16,99			
Gotejamento 4	0,10	17,01	18,59	24,08	12,70	1,57	9,64
	0,33	12,90	12,49	17,50			
	15	6,49	8,38	11,66			
Microspray 5	0,10	17,75	24,33	27,35	13,94	1,52	12,27
	0,33	11,96	15,92	18,05			
	15	8,17	11,11	12,29			

Porém, se for considerada a baixa uniformidade encontrada pode-se deduzir que ocorre grande variabilidade na umidade do solo dentro da área avaliada. Mesmo considerando que foi retirada amostra de solo em 27 pontos diferentes (nove pontos em três profundidades), os resultados encontrados podem estar incorretos.

As avaliações de irrigação foram realizadas, considerando a situação em que os sistemas foram encontrados. Porém, pelos resultados de uniformidade encontrados na maioria deles, constata-se que antes de avaliar a irrigação deveria ser realizado um trabalho de desobstrução dos emissores para melhorar seu desempenho, mesmo no sistema gotejamento 2, que já apresentava gotejadores parcialmente entupidos.

Comparando as irrigações realizadas com a IRN (Tabela 24), observa-se que o volume aplicado foi menor que o necessário para todos os sistemas, exceto no sistema 3. Como a cultura do mamoeiro é bastante sensível ao déficit hídrico, a produtividade da cultura fica reduzida. A irrigação realizada no sistema 3, apesar de ter sido próximo da recomendada, não pode ser classificada como boa,

Tabela 24 – Porcentagem de área molhada (Pw), intensidade de aplicação (IA), tempo de irrigação (TI), irrigação real necessária (IRN) e irrigação realizada nas propriedades que utilizam sistema de irrigação por gotejamento e por microsplay

Sistema	Pw (%)	IA (mm h⁻¹)	TI (h)	IRN (mm)	Irrigação Realizada (mm)
Gotejamento 1	22	0,67	1,5	2,60	1,00
Gotejamento 2	20	0,77	1,0	3,40	0,77
Gotejamento 3	22	0,74	2,5	1,47	1,85
Gotejamento 4	16	0,56	1,0	3,07	0,56
Microsplay 5	46	2,89	1,0	4,67	2,89

forem considerados os valores de uniformidade apresentados na Tabela 11, onde esse sistema apresenta valores de CUD de 15,9%.

Nos sistemas de gotejamento e microsplay avaliados, a irrigação não elevou a umidade do solo a níveis adequados.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido em 29 propriedades produtoras de mamão localizadas na região norte do Estado do Espírito Santo, que utilizam sistemas pressurizados de irrigação, no período de 3 de setembro de 2004 a 26 de julho de 2005. Foram avaliados 17 sistemas de irrigação por microaspersão, sete por pivô central, quatro por gotejamento e um por microspray. A seleção dos equipamentos e sua localização foram baseadas em levantamento realizado por técnicos da INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural), em 2002, seguindo o critério quanto à área cultivada no município com a cultura e quanto aos principais sistemas utilizados, exceto os de irrigação por aspersão.

Os objetivos foram analisar a uniformidade de aplicação de água e a eficiência de irrigação e avaliar o manejo da irrigação, comparando as lâminas aplicadas com as lâminas necessárias realizadas nas propriedades.

Foram realizados testes de campo para coleta de vazão dos emissores, para determinar a uniformidade de aplicação de água pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente estatístico de uniformidade (CUE). Foram retiradas amostras de solos antes da irrigação, em todas as propriedades avaliadas, nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, para determinação da umidade atual de água no solo, curva de retenção de água no solo e densidade aparente do solo.

As melhores uniformidades de aplicação de água foram observadas para sistemas de microaspersão; para os sistemas de pivô foram, em sua maioria, razoáveis; e os piores resultados foram para sistemas de irrigação por gotejamento.

As irrigações foram, na maioria dos casos, feitas após o momento adequado.

A lâmina de irrigação aplicada, na maioria dos casos, foi menor que a lâmina necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo.

As irrigações realizadas apenas com base na experiência do produtor não permitem quantificar de forma adequada a lâmina de irrigação a ser aplicada.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO E DA PRODUTIVIDADE DA CULTURA DO MAMOEIRO IRRIGADO COM AS IRRIGAÇÕES COM BASE NA EXPERIÊNCIA DO AGRICULTOR COMPARADA COM IRRIGAÇÕES REALIZADAS COM O AUXÍLIO DO *SOFTWARE* IRRIGA-GESAI

1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma fruteira tropical, e o Brasil destaca-se como o maior produtor de mamão, participando com 31,6% da oferta mundial, seguido pela Índia, com 24%, e Tailândia, com 8,8%. É cultivado em quase todo o território nacional, principalmente nas Regiões Sudeste e Nordeste, que somam cerca de 87,5% da produção nacional, destacando-se os Estados do Espírito Santo e da Bahia como os principais produtos dessas regiões (FORTUNECITY, 2004).

Desde 1976, o cultivo do mamoeiro no Brasil é realizado, basicamente, com cultivares importados do Havaí e, também, com híbridos chineses do grupo formosa, que substituíram os antigos mamoeiros do grupo Dióico, ou comum. Antes da entrada dos mamoeiros havaianos e chineses, São Paulo era o maior produtor brasileiro de mamão, entretanto com a ocorrência do mosaico do mamoeiro no Estado houve a migração da cultura, principalmente para a Bahia, o Espírito Santo e o Pará, onde hoje se cultivam, na grande maioria, os mamoeiros

importados e, ou, seus avanços genéticos, notadamente o cultivar Sunrise Solo Line 72/12 (MARTELETTO *et al.*, 1997).

Por se tratar de uma cultura semiperene e com flexibilidade para migrações, por vezes provocadas por problemas fitossanitários em certa região, é difícil quantificar com precisão a área plantada. Segundo a FIBGE (2003), a área colhida de mamão em 2002 foi de 35.299 ha – deste total o Espírito Santo aparece com uma área de 9.165 ha e uma produção de 585 mil toneladas.

Entre os fatores que limitam a produtividade do mamoeiro, destaca-se a disponibilidade de água e de nutrientes minerais, uma vez que essa cultura apresenta os processos de floração, crescimento e maturação dos frutos simultaneamente, exigindo um suprimento constante e adequado de água e nutrientes para atingir o potencial de produção (CIBES e GAZTAMBIDE, 1978, citados por ALMEIDA, 2000).

A má distribuição de chuvas na região produtora do Estado do Espírito Santo e a precipitação inferior à demanda hídrica do mamoeiro tornam a irrigação imprescindível ao seu cultivo.

No último século, a demanda de água aumentou seis vezes, enquanto a população cresceu três vezes. Tanto em nível mundial, como no Brasil, o grande consumidor é a agricultura irrigada. O uso eficiente da água na irrigação é essencial para garantir que a escassez não limite o desenvolvimento do País (TUCCI, 2001).

O manejo racional da irrigação proporciona melhorias na produtividade e qualidade dos frutos, com menor custo de produção. Tanto a deficiência como o excesso hídrico afeta o comportamento nos estádios fenológicos, comprometendo a qualidade e a produtividade dos frutos. A deficiência, durante o período inicial de crescimento dos frutos, proporciona redução do tamanho; durante a maturação, atrasa o amadurecimento, afeta a coloração e favorece a queima dos frutos pela radiação solar; e na fase final de maturação, o consumo hídrico diminui. O excesso hídrico, combinado com temperaturas elevadas, torna a cultura muito suscetível a doenças. Para uma boa produtividade, é recomendável que o desenvolvimento vegetativo da planta ocorra em condições de escassez de

precipitação e que as necessidades hídricas sejam satisfeitas através da irrigação, de acordo com o requerimento de água (TEIXEIRA, 2001).

Apesar de o Brasil ser um país privilegiado, pois possui 8% das reservas de água-doce disponível, boa parte deste recurso encontra-se na região amazônica, existindo várias regiões que convivem com a escassez de água, principalmente a região semi-árida do Nordeste e parte da Região Sudeste incluindo o norte do Espírito Santo, regiões estas que se caracterizam por apresentar baixas precipitações pluviométricas ou má distribuição de chuvas. Segundo o mapa hídrico simplificado, o Estado do Espírito Santo possui cerca de 60% de sua área com déficit hídrico anual entre 200 e 400 mm, abrangendo quase toda a região norte, caracterizando a necessidade de irrigação (DADALTO, 1998). Essa região responde por aproximadamente 90 % da área cultivada com mamão no Estado.

O cenário mercadológico internacional sinaliza, segundo Andrigueto e Kososki (2003), que cada vez mais serão valorizados o aspecto qualitativo e o respeito ao meio ambiente, na produção de qualquer produto. Os principais países importadores e as principais frutas exportadas pelo Brasil mostram a grande potencialidade de mercado ainda existente nesse setor, tendo em vista, principalmente, o aperfeiçoamento dos mercados, a mudança de hábitos alimentares e à necessidade de alimentos seguros, principalmente no que diz respeito a ausência de resíduos de agroquímicos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento e a produtividade da cultura do mamoeiro com frequência de irrigações com base na experiência do agricultor, comparada com irrigações realizadas com um sistema técnico – científico (Irriga-Gesai).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do mamoeiro

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) é uma planta herbácea originária da América tropical. Atualmente é uma das fruteiras mais importante nas regiões tropicais de diversos países, sendo também cultivado comercialmente em algumas regiões subtropicais, de latitudes até 32° norte ou sul (KIST e MANICA, 1995). Seu centro de origem é, provavelmente, o noroeste da América do Sul, vertente oriental dos Andes, ou mais precisamente a Bacia Amazônica Superior, onde sua diversidade genética é máxima (OLIVEIRA *et al.*, 1994). Alguns autores sugerem, entretanto, que sua origem pode ter sido no sul do México, outros, nas terras baixas da América Central oriental e das Antilhas.

A cultura do mamoeiro está difundida em regiões que apresentam clima tropical, pluviosidade elevada, solos férteis e bem drenados (MARIN *et al.*, 1987), condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento da cultura. No Brasil é cultivado em quase todo o território nacional, merecendo destaque os Estados da Bahia e do Espírito Santo, onde é cultivado na faixa dos tabuleiros costeiros, apresentando grande diversidade de solos, com predomínio do Latossolo Amarelo álico coeso, profundo, ácido, distrófico, baixa CTC e capacidade de retenção de água com pouca diferença morfológica entre horizontes (CARVALHO *et al.*, 2004).

Até fins da década de 1970, predominavam no Brasil cultivos de mamoeiros dióicos ou “comum”, plantas que apresentam os sexos separados, isto é, plantas masculinas ou estaminadas e plantas femininas ou pistiladas, na proporção aproximada de 50% para cada sexo, e o Estado de São Paulo destacava-se como principal produtor, porém a ocorrência do vírus do mosaico na região de Monte Alto-SP determinou a migração da cultura para outros Estados (RUGGIERO, 1980).

A partir de 1976/77, a cultura retomou sua importância econômica no Brasil, principalmente devido à introdução de cultivares havaianos do grupo Solo e de híbridos chineses do grupo Formosa, notadamente nos Estados do Pará, da Bahia e do Espírito Santo. Vale ressaltar que a simples introdução dos cultivares do grupo Solo provocou significativa expansão da comercialização do fruto, devido à sua grande aceitação tanto no mercado interno quanto para exportação (MARIN et al., 1995).

É uma frutífera de crescimento rápido e grande precocidade; entre três a quatro meses pós-plantio da muda já inicia o florescimento e a partir do oitavo mês já pode proporcionar as primeiras colheitas. Considera-se como vida útil do pomar, economicamente viável, um período de três anos. É considerada uma planta herbácea gigante, que pode atingir entre 3 e 8 m de altura.

O fruto do mamoeiro pode ser ovóide, esférico ou piriforme, a polpa amarela, alaranjada ou avermelhada, e geralmente é oco. O embrião é reto, com cotilédones ovóides e achatados, circundados por endosperma carnoso, rico em ácidos graxos. A germinação é relativamente rápida (duas a três semanas).

Segundo Costa e Pacova (2003), a maioria das sementes dos cultivares utilizados nas regiões produtoras é proveniente de frutos de polinização livre. Sem o controle efetivo da polinização, os cultivares sofrem variações em suas descendências, o que causa descaracterização desses genótipos e compromete a qualidade das lavouras. Conforme o tamanho e a origem dos frutos, os mamoeiros ginóico-andromonóicos (hermafroditas) podem ser classificados em dois grupos distintos, o Solo e o Formosa.

O grupo Solo, onde se encontra a maioria dos cultivares de mamão utilizados no mundo, apresenta no Brasil um domínio quase que absoluto de dois cultivares, o Sunrise Solo e o Improved Sunrise Solo cv. 72/12. Os cultivares deste grupo são linhagens puras, isto é, material geneticamente uniforme, fixado por sucessivas gerações de autofecundação (OLIVEIRA *et al.*, 1994). Segundo Costa e Pacova (2003), mais recentemente foram introduzidas novas variedades, como a Goldem e Taiwan (Grampola). Os autores citam ainda outros genótipos cultivados mais recentemente no Brasil, como o Baixinho de Santa Amália, Sunrise Golden e o Taiwan.

O ‘Tainung nº 1’ e o ‘Tainung nº 2’ são híbridos do grupo Formosa, bastante produtivos, o peso de seus frutos varia de 900 a 1.100 g, tem grande aceitação no mercado interno e a produtividade média situa-se em torno de 60 t/ha/ano.

2.2. Sistema radicular

O sistema radicular das culturas desempenha importante papel nos estudos das interações que ocorrem entre o solo, as plantas e os organismos vivos, uma vez que o conhecimento de sua distribuição permite o uso mais racional de práticas de cultivo, como manejo e adubação do solo, além de constituir uma relevante ferramenta para elaboração de um projeto de irrigação e ser elemento essencial para qualquer plano de manejo de irrigação (COELHO *et al.*, 2001).

O desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular das plantas dependem de vários fatores, como: características físicas do solo, fatores genéticos, disponibilidade de água, distribuição de nutrientes e da temperatura do solo. O volume de solo explorado e o contato entre a superfície das raízes e o solo são essenciais para a absorção efetiva da água pelas raízes. O contato é maximizado pela emissão dos pêlos radiculares, com conseqüente aumento na área superficial e na capacidade de absorção de água.

O crescimento e a atividade das raízes dependem irremediavelmente da disponibilidade de água para manter certo nível crítico de turgescência em suas

células. Desidratação mais severas e prolongadas, especialmente na superfície do solo, podem causar a morte de raízes. Entretanto, as raízes mais profundas onde há maior disponibilidade de água, crescem próximas da normalidade, desempenhando papel fundamental para a sobrevivência e mesmo para a produção das plantas. Daí a grande importância de favorecer o crescimento radicular, permitindo a exploração da maior porção de solo.

A água em excesso ou em deficiência leva a prejuízos econômicos relevantes. Quando aplicada em excesso, além da perda de água, pode ocorrer o carreamento de nutrientes para zonas do solo não-exploradas pelas raízes. No caso de aplicação deficiente, podem ocorrer prejuízos produtivos nos períodos críticos e riscos de concentrações de sais nas zonas de solo onde há concentração de raízes mais ativas.

Coelho *et al.* (2002), comparando o desenvolvimento e a produção do mamoeiro irrigado por diferentes sistemas de microirrigação, verificaram que o sistema de microaspersão foi o que resultou em maior desenvolvimento e produtividade, 10% superior à do sistema de gotejamento superficial em linha. Concluíram que o maior desenvolvimento e a produtividade do sistema de microaspersão foram devidos à maior área molhada e à maior região de extração de água pelas raízes.

Swarbrick (1964), citado por Medina (1989), descreveu o sistema radicular do mamoeiro como consistindo de uma forte raiz pivotante afilada, que atinge 60 cm de comprimento e cerca de 23 cm de diâmetro no topo, podendo ser ramificada ou não. Desta, formam-se cerca de 25 raízes laterais secundárias grossas (de 2,5 a 5 cm de diâmetro) e um maior número de raízes mais finas. As raízes secundárias formam-se principalmente nos 15 cm do topo da raiz pivotante. As raízes mais grossas tendem a se expandir horizontalmente, permanecendo na camada humosa de 15 cm da superfície do solo, atingindo 3,90 m. Estas se ramificam repetidamente em raízes terciárias e quaternárias, que produzem as finas raízes brancas contendo os pêlos absorventes. As raízes secundárias mais finas espalham-se horizontal e obliquamente, atingindo comprimentos de cerca de 1,20 a 1,50 cm e profundidades de não mais que

75 cm. Medina (1989) verificou, ainda, que toda camada superior de 15 cm do perfil do solo é permeada pelas raízes de alimentação do mamoeiro dentro de um raio de 3 m do caule.

Inforzato e Carvalho (1967), empregando a técnica de blocos de terra, estudaram a distribuição das raízes de mamoeiros hermafroditas IAC-6 MA de 4 e 12 meses, em solo podzolizado variação Marília, em Pindorama-SP, tendo encontrado 66,9 e 58% das raízes, respectivamente, na camada de terra compreendida entre 0 e 20 cm de profundidade. O sistema radicular do mamoeiro aos quatro meses de idade já atingia profundidade de 1,60 m e aos 12 meses alcançava profundidades de 3,40 m. Concluíram que os tratos culturais também devem ser superficiais, para evitar danificação das radículas do mamoeiro.

Bernardo (1996) descreve o sistema radicular do mamoeiro como pivotante, com raiz principal bem desenvolvida e muitas raízes distribuídas de forma radial na camada superior do solo, de tal forma que mais de 80% do seu sistema radicular encontra-se concentrado até a profundidade de 30 a 40 cm.

Nas regiões produtoras de tabuleiros costeiros, a região de concentração do sistema radicular do mamoeiro encontra-se em um raio de 0,35 m a partir do tronco, podendo esses valores variar em função da textura e da estrutura do perfil do solo (COELHO *et al.*, 2000). Silva *et al.* (2001) verificaram que a maior atividade do sistema radicular, no mamoeiro irrigado por gotejamento, era na fileira ou entre fileiras de plantas, e o irrigado por microaspersão com um emissor para quatro plantas encontrava-se a distâncias inferiores a 0,30 m da planta e a profundidades entre 0,20 e 0,40 m, para o solo estudado.

Costa *et al.* (1998), avaliando a distribuição do sistema radicular de mamoeiro do grupo Solo com dois anos de idade, em três tipos de solos de tabuleiros costeiros na região norte do Estado do Espírito Santo, verificaram que o sistema radicular da cultura distribuiu-se em um raio inferior a 60 cm ao redor do tronco e à profundidade inferior a 30 cm, devendo-se ressaltar que a maior parte das raízes encontrava-se à distância de até 35 cm do caule e que em solos mais argilosos, com menor teor de areia grossa, o sistema radicular apresentou menos desenvolvimento.

Uma das aplicações do conhecimento da distribuição das raízes no solo é a quantificação da lâmina de irrigação, pois a profundidade efetiva das raízes é um fator multiplicador para o cálculo. Se esse parâmetro for subestimado a cultura sofrerá déficit hídrico, e quando superestimado causará diversos prejuízos, como desperdício de água, energia e nutrientes, além do risco de contaminação do lençol freático, resultado de um manejo ineficiente (NOGUEIRA e BASTOS, 2001).

2.3. Exigências edafoclimáticas

2.3.1. Clima

A cultura do mamoeiro está difundida em regiões que apresentam clima tropical e pluviosidade elevada (MARIN *et al.*, 1987), sendo também cultivada comercialmente em algumas regiões de clima subtropical até latitudes de 32° norte ou sul (KIST e MANICA, 1995). Segundo Marin e Silva (1996), o Estado do Espírito Santo possui as condições edafoclimáticas favoráveis à cultura, que aliadas à introdução do cultivar Havaiana Sunrise Solo possibilitaram que a exploração do mamão, em poucos anos, se transformasse em uma rentável atividade agrícola. O aumento da produção e a melhoria da qualidade do mamão cultivado nessa região possibilitaram a conquista do mercado nacional e internacional, colocando a cultura em posição de destaque dentro da economia do Estado.

É uma cultura que apresenta crescimento regular e produz frutos de excelente qualidade em lugares de grande insolação, com temperaturas entre 22 e 28°C, sendo ótima a temperatura em torno de 25°C, umidade relativa adequada de 60 a 85% (OLIVEIRA *et al.*, 1994), evitando-se o plantio em locais onde ocorram temperaturas abaixo de 15°C, pois o mamoeiro paralisa o seu desenvolvimento vegetativo, reduz o florescimento, atrasa a maturação e produz frutos de qualidade inferior (MARLER *et al.*, 1994, 1995). A temperatura tem grande influência no desenvolvimento dessa cultura, sobretudo na formação das flores e dos frutos (SOUZA *et al.*, 2000).

Segundo São José (1996), o mamoeiro é uma planta muito sensível às variações climáticas e ambientais. No período de verão, no extremo sul da Bahia, são necessários aproximadamente 90 dias da abertura da flor até a colheita do fruto; já no período de inverno, esse período pode variar de 140 a 180 dias. O autor também informou que, provavelmente em decorrência de altas temperaturas nos meses mais quentes do ano, tem sido observado nas regiões semi-áridas elevado porcentual de frutos carpelóides, também chamados de cara-de-gato, bem como da mancha fisiológica, que está associada à baixa umidade relativa do ar.

O aparecimento de flores imperfeitas está relacionado a fatores genéticos, que são afetados por fatores ambientais. As plantas hermafroditas são sensíveis às pequenas variações ambientais. Lugares de maior altitude e menor temperatura mínima apresentam maior frequência de carpelóides; da mesma forma, condições de alta umidade, altos teores de nitrogênio e de água no solo tendem a mudar o sexo das flores hermafroditas para femininas, produzindo frutos deformados (AWADA e IKEDA, 1953; AWADA, 1958, citados por ALMEIDA *et al.*, 2003).

Silva *et al.* (2002), estudando o efeito da temperatura do ar e de diferentes lâminas de irrigação (8, 48, 80, 112 e 152% da evapotranspiração de referência (ET_o)) no índice de floração e no pegamento de frutos do mamoeiro em Cruz das Almas (Ba), concluíram que a irrigação reduz os efeitos negativos das altas temperaturas na floração do mamoeiro. A lâmina equivalente à reposição de 152% da ET_o foi suficiente para garantir a floração em temperatura acima de 28°C e umidade relativa de 60%, situação esta crítica para a floração do mamoeiro.

A cultura do mamão é sensível tanto à falta quanto ao excesso de água. Sua ausência no período de floração, além de reduzir o crescimento da planta, favorece a produção de flores masculinas e estéreis, reduzindo a produção de frutos. Por outro lado, o excesso de água afeta o desenvolvimento, podendo ocorrer sua morte em 48 horas, devido ao apodrecimento de suas raízes, conforme relataram Siqueira e Botrel (1986).

2.3.2. Solo

O mamoeiro está apto a crescer nos mais variados tipos de solo, porém um solo com boa estrutura, permeável, profundo e rico em matéria orgânica é o ideal. Uma característica fundamental do solo para o cultivo do mamoeiro é que ele tenha boa drenagem, visto que essa planta é muito sensível a excessos de umidade na zona radicular. A saturação prolongada do solo provoca asfixia das raízes e proporciona o aparecimento da “podridão-do-pé”, moléstia causada pelos fungos *Phytophthora* sp., nas proximidades do colo das plantas (RESENDE, 1996). Segundo Siqueira e Botrel (1986), o excesso de água no pé da planta poderá causar sua morte em 48 horas, devido ao apodrecimento de suas raízes. Desta maneira, o solo mais adequado para o desenvolvimento do mamoeiro é o de textura areno-argilosa, com pH variando de 5,5 a 6,7 (OLIVEIRA *et al.*, 1994).

Recomenda-se evitar solos muito argilosos, compactados ou adensados, sujeitos ao encharcamento, pois as plantas nestas condições se apresentam estioladas, com desenvolvimento atrasado e produzem menos frutos. Camadas de adensamento também se apresentam como barreira física ao desenvolvimento das raízes do mamoeiro, diminuindo o volume de solo a ser explorado pelas plantas e, conseqüentemente, restringindo o acesso aos nutrientes e à água das camadas subsuperficiais (OLIVEIRA *et al.*, 1994).

No Estado do Espírito Santo o mamoeiro é cultivado, em sua maioria, em segmentos dos Tabuleiros Costeiros (RESENDE, 2000). Esse ecossistema constitui expressivas áreas do território brasileiro, iniciando ao sul do Estado do Rio de Janeiro, estendendo-se pelo Espírito Santo e Estados nordestinos (ALMEIDA, 1964).

Nas áreas de tabuleiros predominam os Latossolos Amarelos, distróficos ou álicos (saturação por alumínio >50%), com textura, na maioria das vezes, arenosa na superfície, com presença de horizontes subsuperficiais adensados, denominados horizontes coesos. São solos bastante profundos, desenvolvidos sobre rochas sedimentares, ocupando a área de relevo plano e suave-ondulado do topo dos tabuleiros (RIBEIRO, 1998).

O horizonte ou camada do solo compactado ou adensado retém o fluxo de água, permanecendo por algum tempo no período chuvoso, provocando amarelamento e queda prematura das folhas, redução de produção ou até mesmo morte das plantas (MANICA, 1982).

Segundo Souza *et al.* (2000), a presença de camadas adensadas, coesas e compactadas na superfície ou subsuperfície caracteriza limitação ao desenvolvimento normal da cultura, pois constitui impedimento físico ao crescimento das raízes do mamoeiro, portanto diminui o volume de solo a ser explorado pelas plantas e, conseqüentemente, restringe o acesso aos nutrientes e à água das camadas abaixo da limitante, agravando as deficiências hídricas nos períodos de estiagem.

A presença de camadas coesas (horizontes coesos), situadas no topo do horizonte B, aliada à má distribuição das chuvas, pode ser a maior limitação do meio físico à obtenção de elevadas produtividades das culturas, quando comparada às áreas que não apresentam camadas coesas ou déficits hídricos rigorosos. Esse processo ocorre em virtude da baixa taxa de infiltração e condutividade hidráulica, comparada à dos horizontes supra e subjacentes, não coesos (SANTOS, 1992).

O termo coeso tem sido utilizado no Brasil para designar horizontes minerais subsuperficiais do solo que apresentam um aumento acentuado na coesão entre suas partículas, tornando-se duro, muito duro, ou até extremamente duro quando seco, e friável quando úmido (JACOMINE, 1996).

Para atenuar os efeitos do adensamento em condições de solos com horizonte subsuperficial adensado, como na região produtora de mamão, as mudas são plantadas em cima de camalhões ou ao nível do solo, para posterior chegada de terra ao pé das plantas, visando elevar o nível do solo, o que favorece a drenagem e a aeração e proporciona maior aproveitamento pelas raízes do solo superficial acumulado junto às plantas (SÃO JOSÉ, 1996).

2.3.3. Necessidade hídrica

Um dos principais fatores climáticos responsáveis pela redução da produtividade das culturas são as baixas precipitações e a distribuição irregular das chuvas, pois podem provocar deficiência hídrica na cultura. Segundo Jones e Turner, citados por Matta (1991), o estado hídrico de uma planta afeta sensivelmente a expansão celular, a abertura estomática, a fotossíntese e, provavelmente, a produção.

A modernização da produção agrícola exige novas estratégias, a fim de potencializar a produtividade e minimizar os riscos na produção. O advento da irrigação possibilitou a produção agrícola em locais que antes eram limitados pela deficiência hídrica, aumentando, assim, nossas fronteiras produtivas.

O uso eficiente da água é um fator preponderante para o êxito da agricultura. O manejo eficiente da irrigação requer informações relacionadas ao clima, à planta, ao solo, à água etc. Isto permite a otimização do uso da água e dos fertilizantes, obtendo-se o máximo do produto com determinado custo de produção, aumentando, portanto, a eficiência econômica da empresa agrícola.

Rena e Maestri (2000) apontam que a deficiência hídrica é uma das condições que mais limitam a produção primária dos ecossistemas e o rendimento das culturas, principalmente pelas restrições que impõem à fixação fotossintética do gás carbônico e ao crescimento das plantas. A água não é um composto permanente dos tecidos vegetais, mas flui pelo sistema solo-planta-atmosfera em grandes quantidades. As plantas, ao longo de seu ciclo vital, estão sujeitas a sofrer continuamente deficiências internas de água, em maior ou menor grau, com suas conseqüências para o crescimento e a produção se o suprimento de água por chuva ou irrigação não for adequado.

A ação da alimentação hídrica da planta sobre o funcionamento de uma cultura intervém em um conjunto de fenômenos, principalmente nas respostas fisiológicas destinadas a regular seu estado hídrico, como a modificação do potencial hídrico, o fechamento de estômatos e a redução da superfície foliar. Tudo isto faz diminuir a demanda da cultura, reduzindo a possibilidade de

produção de biomassa e, conseqüentemente, o seu rendimento (SILVA *et al.*, 2000).

Aiyelaagbe *et al.* (1986) constataram que o mamoeiro é extremamente sensível ao déficit de umidade no solo, sendo este fator o que mais afeta o crescimento do mamoeiro.

O cultivo do mamão responde significativamente ao uso da irrigação suplementar, nas regiões com precipitações inferiores a 1.500 mm por ano, ou mesmo com precipitações superiores, mas distribuídas irregularmente. Em regiões com precipitações inferiores a 1.000 mm por ano, o uso da irrigação é fundamental ao cultivo racional e econômico do mamoeiro (BERNARDO *et al.*, 1996).

Sistemas agrícolas são caracterizados pela interdependência e complexidade de seus componentes e pela variabilidade e pelos riscos envolvidos no seu manejo. Vários fatores referentes ao solo, à planta e à atmosfera interagem entre si, determinando a produtividade das culturas agrícolas. Certamente existe uma relação funcional entre esses fatores e a produção das culturas, característica de cada condição ambiental. A resposta das culturas à irrigação pode variar em diferentes solos, climas e, também, em decorrência da quantidade e frequência de aplicação de água. O efeito da água na produção pode ainda interagir com fertilizantes e com uma série de outros insumos (FRIZZONE, 1998).

Quando o suprimento de água atende plenamente às necessidades hídricas da cultura, a produtividade máxima depende, principalmente, de suas características genéticas e do grau de adaptação ao ambiente predominante. Caso contrário, a produtividade é determinada pela possibilidade de atendimento das necessidades hídricas totais durante o ciclo (DOORENBOS e KASSAN, 1979).

A distribuição das chuvas na região norte do Estado do Espírito Santo é concentrada no período outubro-março, ocorrendo um período seco de maio a setembro. As fases críticas na distribuição da água nessas regiões ocorrem quando o reinício das chuvas atrasa, começado em novembro-dezembro, e o término é muito cedo (em março). Pelos resultados de simulação para evapotranspiração (ET_o) e precipitação mensal realizada com os dados

meteorológicos do município de Linhares-ES, utilizando o *software* SISDA, apresentado na Figura 1, observa-se a ocorrência de déficit durante a maior parte do ano, exceto para os meses de outubro a dezembro.

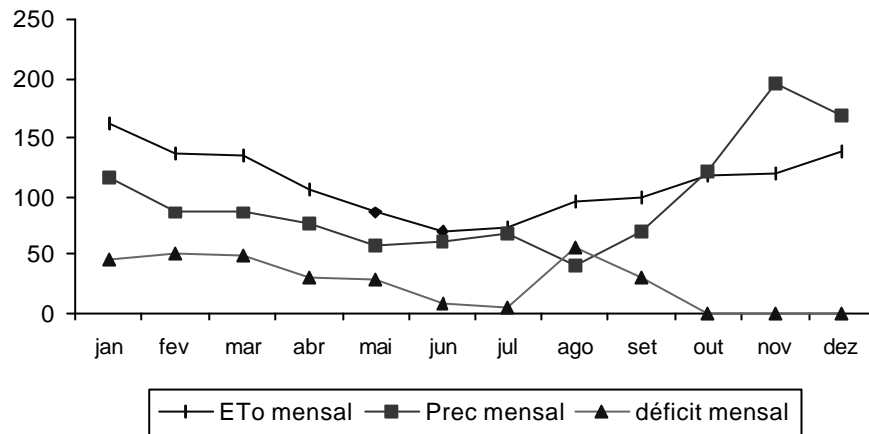


Figura 1 – Valores médios mensais de ETo, precipitação e déficit para o município de Linhares-ES.

A agricultura tem sido responsável por grande parcela da água utilizada, tornando necessárias a implantação de sistemas de irrigação eficientes e a utilização de métodos que quantifiquem as reais necessidades hídricas das culturas, para que não haja desperdício. Essa quantificação permite projetar sistemas de irrigação e realizar manejo mais adequado, o que, conseqüentemente, reduz o consumo de água e energia.

2.4. Uso do *software* IRRIGA para o manejo da água

O IRRIGA é um sistema de apoio à decisão na área da agricultura irrigada, composto de vários *softwares* voltados para o manejo da água (Simula, Manejo e Decisão), do sistema de irrigação (Avalia), da fertirrigação (NPK) e da rentabilidade da área irrigada (Lucro), estando estes dois últimos em fase de elaboração (MANTOVANI *et al.*, 2003).

Desenvolvido no âmbito do Gesai (Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, o IRRIGA está inserido dentro de uma política de parceria e de solução do grave problema associado à falta de manejo da irrigação em condições de campo. O sistema incorpora uma visão técnica, sem perder de vista a operacionalidade necessária no dia-a-dia. Uma vez implantado, é uma ferramenta de fácil utilização e controle do momento adequado para irrigar, da lâmina ou do tempo de irrigação necessário (Manejo e Decisão), estando também relacionado à avaliação e definição das condições de distribuição de água e perdas do sistema de irrigação (Avalia). O sistema também disponibiliza uma ferramenta para criação de cenários (Simula), com a possibilidade de auxiliar estudos de demanda hídrica (definição de lâmina de projeto), de consumo de água e energia, intervalo entre irrigações etc., para qualquer cultura, tipo de solo, sistema de irrigação e região do Brasil. Dispõe de um banco de dados amplo, que incorpora dados climáticos diários de cerca de 500 estações meteorológicas de todo o País.

O programa é parte de uma filosofia de trabalho que vem sendo desenvolvido nos últimos 10 anos, envolvendo uma solução efetiva para qualquer sistema de irrigação pressurizado, cultura, tamanho de área, região, solo, clima, topografia etc., que se iniciou com o programa SISDA.

Na confecção do programa, procurou-se implantar facilidades de operação, de modo que ele seja utilizado sem problemas em fazendas pequenas, médias ou grandes. O módulo Decisão é de fácil operação e viabiliza o controle técnico de quando e quanto irrigar nos 365 dias do ano.

O programa tem grande potencialidade de uso, pois é uma ferramenta de suporte à decisão, composto de vários *softwares* voltados para o manejo da irrigação. O IRRIGA já foi implantado em escala de produção em diversas propriedades em várias regiões do País, com diferentes culturas e características edafoclimáticas, em pequenas e grandes propriedades e em diferentes sistemas de irrigação pressurizados, sendo, portanto, ajustável às mais diversas necessidades de uso.

O programa IRRIGA determina a evapotranspiração ajustada da cultura por meio da equação 1 (ET_{c-aj}), sendo de fundamental importância na determinação da lâmina de irrigação a ser aplicada.

$$ET_{c-aj} = ET_o \times k_c \times k_s \times k_l \quad (1)$$

em que

ET_{c-aj} = evapotranspiração da cultura ajustada;

ET_o = evapotranspiração de referência, em mm/dia;

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

k_s = coeficiente de estresse, em função da variação de umidade no solo (0 a 1) adimensional; e

k_l = coeficiente de localização, em função da porcentagem de área molhada e sombreada (0,2 a 1,0).

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) pode ser realizada por meio de várias equações, sendo a equação-padrão de Penman-Monteith (ALLEN *et al.*, 1998) uma das mais recomendadas. Os valores de K_c devem ser obtidos através de estudos experimentais ou com base em literatura para as fases de cada cultura.

O coeficiente de estresse hídrico (k_s) promove o ajuste da evapotranspiração potencial para a evapotranspiração da cultura em função do nível de umidade atual do solo ao longo do ciclo de desenvolvimento. O programa IRRIGA trabalha com os três modelos (BERNARDO, 1995) de determinação do K_s , descritos a seguir:

– k_s unitário ($k_s = 1$), utilizado para turnos de rega muito reduzidos (umidade sempre próxima à capacidade de campo);

– k_s linear (modelo linear), a partir da equação 2

$$k_s = \frac{(U_a - PM)}{(CC - PM)} \quad (2)$$

– k_s logarítmico (modelo logarítmico), a partir da equação 3

$$k_s = \frac{\ln[(Ua - PM) + 1]}{\ln[(CC - PM) + 1]} \quad (3)$$

em que

k_s = coeficiente de estresse em função da umidade atual do solo;

Ua = umidade atual do solo, em %;

PM = ponto de murcha permanente, em %; e

CC = capacidade de campo, em %.

O método de irrigação localizada aplica água de forma pontual, não irrigando toda a área, promovendo uma redução da evapotranspiração. A redução da evapotranspiração se dá em função da redução da área molhada e da área sombreada pela cultura. Alguns pesquisadores desenvolveram coeficientes de localização (kl 's) para ajustar a evapotranspiração gerada a partir da irrigação total em evapotranspiração promovida a partir de irrigação pontual. O Programa IRRIGA trabalha com dois modelos de determinação de kl , os modelos de Keller (KELLER e BLIESNER, 1990) e Fereres (VILLALOBOS e FERERES, 1990).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental e caracterização do solo

O presente trabalho foi conduzido na região norte do Estado do Espírito Santo, no município de Linhares-ES, na fazenda Gaia Agrícola, cuja latitude é 19°23', a longitude é -40°04' e a altitude é 47 m. A precipitação e a temperatura média anual são, respectivamente, de 1.249 mm e 25,8°C (INCAPER, 2004).

O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, coeso com horizonte A moderado, com relevo predominantemente plano. A composição textural e as características de armazenamento de água estão nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Valores médios da composição textural do solo da área experimental

Profundidade (cm)	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação Textural
0 - 20	60	13	1	26	Franco-argilo-arenosa
20 – 40	40	16	4	40	Argilo-arenosa
40 - 60	29	14	5	52	Argila

Tabela 2 – Valores de massa específica do solo (ρ_s) e umidade do solo, em diferentes níveis de tensão da água

Profundidade (cm)	ρ_s (g cm ⁻³)	Tensão (atm)						
		0,1	0,3	0,5	1	2	5	15
		Umidade (%)						
0 - 20	1,35	24,95	13,84	11,71	10,12	9,78	9,25	9,04
20 - 40	1,40	29,20	17,01	14,11	13,59	12,95	12,64	12,33
40 - 60	1,51	34,93	20,87	18,33	17,35	15,89	15,55	15,24

3.2. Preparo do solo, semeadura e plantio

O solo foi inicialmente preparado com um escarificador, com hastes espaçadas em 0,50 m e regulado para a profundidade de 0,50 m. Em seguida, fez-se a calagem na dose de 2 t ha⁻¹, e uma grade niveladora foi passada. Foram realizadas, então, a montagem do sistema de irrigação e a distribuição das mangueiras no campo. Os sulcos foram abertos com um sulcador de cana, no espaçamento de 3,5 m. Foram distribuídos e misturados com a terra na linha de plantio 2,6 kg de matéria orgânica por metro linear, constituída de uma parte de esterco de galinha, oito de borra de café, uma de carvão moído e 0,3 kg de fosfato natural reativo (Flex Trevo) por metro linear. Fez-se subsolagem nas linhas de plantio à profundidade de 50 cm e, em seguida, utilizou-se um batedor para destorroamento e homogeneização do solo nas linhas de plantio.

A semeadura foi realizada no dia 1^o de agosto de 2003, em tubetes preenchidos com substrato e três sementes por recipiente. A germinação ocorreu 10 a 12 dias após, e no dia 14 realizou-se o desbaste das mudas, deixando-se apenas uma muda por tubete. No dia 5 de setembro de 2003 foi realizado o transplante mecânico das mudas para o campo, espaçadas uma da outra de 0,75 m entre plantas na fileira de plantas.

O cultivar utilizado foi o Golden, e antes do transplante fez-se a aplicação de um fungicida específico para o combate de Phytophthora. O controle das plantas daninhas foi realizado após o transplante, inicialmente por meio de

capinas manuais, até que as plantas atingissem o porte suficiente para aplicação de herbicidas, que foi feito a partir de janeiro de 2004. Foi realizado um controle sistemático de formigas-cortadeiras, aplicando-se formicidas sempre que necessário. As aplicações de fungicidas e inseticidas foram feitas via pulverizador tratorizado, de acordo com as recomendações e avaliações de campo para a cultura.

3.3. Delineamento experimental

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, com dois tratamentos de manejo de irrigação, em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. No primeiro tratamento as irrigações foram realizadas, seguindo a recomendação do técnico responsável pela irrigação da fazenda, com base em observação no campo (Trat. campo). No segundo tratamento, foi feito o manejo diário da irrigação, utilizando-se valores obtidos pelo *software* Irriga-Gesai (Trat. ETC), com base em dados de temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação e radiação solar coletados em uma estação meteorológica automática instalada próximo ao experimento. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Monteith FAO. Para estimar a evapotranspiração da cultura adotaram-se valores de coeficiente da cultura (K_c) sugeridos por Bezerra *et al.* (2001) e valores de K_l obtidos pelo método Fereres (VILLALOBOS e FERERES, 1990).

3.4. Parcela experimental

A parcela experimental de cada tratamento foi constituída de 80 plantas em quatro fileiras, com 20 plantas em cada fileira de plantio, sendo as duas fileiras externas consideradas como bordadura. No início da floração procedeu-se à sexagem, eliminando-se as plantas com flores femininas e deixando as hermafroditas, conforme recomendações de Marin e Gomes (1987). Na ausência de plantas hermafroditas, foi deixada uma planta feminina apenas com o objetivo

de manter uma distribuição uniforme em toda a área. As plantas femininas que se encontravam nas fileiras úteis não foram consideradas nas avaliações.

Após a sexagem permaneceram dez plantas em cada fileira, das quais cinco foram consideradas úteis para fins de avaliação. Como somente as suas fileiras internas foram consideradas úteis, cada repetição foi constituída por dez plantas. As plantas avaliadas foram escolhidas por sorteio. Cada tratamento possuía seis repetições, totalizando 60 plantas por tratamento.

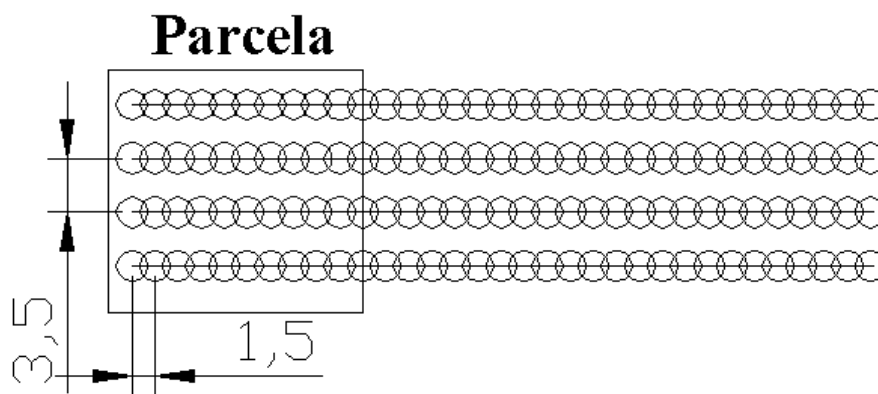


Figura 2 – Esquema da parcela experimental.

3.5. Irrigação e adubação

As irrigações foram realizadas com o uso do sistema de irrigação gotejamento, com gotejadores do tipo labirinto, espaçados a cada 0,6 e 3,5 m entre linhas laterais, vazão de $2,0 \text{ L h}^{-1}$, a uma pressão de operação de 10 mca nos finais de linhas e porcentagem de área molhada de 33%. Foram coletadas as vazões de todos os gotejadores, durante um período de 3 minutos, em cada linha lateral, para avaliação dos níveis de uniformidade de aplicação de água no sistema de irrigação e obtenção do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). O volume coletado foi medido em provetas graduadas de 250 mL.

O manejo da irrigação foi realizado de forma complementar à demanda hídrica da cultura. Em cada tratamento foram instalados tensiômetros nas profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm, tendo por finalidade comparar

com os valores de umidade fornecidos pelo *software* Irriga-Gesai. Quando necessário, foram feitas aferições nos parâmetros utilizados para o cálculo da lâmina final de irrigação.

As adubações foram feitas com base na análise de solo e planta, via fertirrigação. Os fertilizantes, após diluição em água em uma caixa d'água de 250 L, foram injetados na rede de irrigação com o auxílio de um injetor Venturi, diariamente, de segunda à sexta-feira.

3.6. Avaliação do crescimento das plantas

As avaliações regulares das plantas foram realizadas no período de 8 de outubro de 2003 a 7 de janeiro de 2005, totalizando 16 avaliações, medindo-se em intervalos mensais os diâmetros do tronco e a altura da planta. Foi também avaliado mensalmente o número de folhas emitidas por cada planta durante o período de 2 de setembro de 2004 a 4 de janeiro de 2005, totalizando cinco avaliações.

A altura da planta foi medida com uma régua graduada em centímetros, disposta ao lado do caule da planta, anotando-se a altura até a inserção das folhas em início de formação.

As medições do diâmetro do tronco foram efetuadas com o auxílio de um paquímetro a, aproximadamente, 20 cm da superfície do solo, nas mesmas datas das medições da altura de planta.

Na primeira avaliação do número de folhas foram contadas todas as folhas de cada planta, considerando como primeira folha aquela que se destacava do grupo de folhas recém-formadas, em que a coloração passou de verde-clara a verde mais escuro. O local de inserção da primeira folha contada foi marcado com o auxílio de barbante amarrado em torno do caule da planta e uma etiqueta, que identificava o número da planta e a data da avaliação. As demais contagens foram feitas no espaço compreendido entre o local marcado no mês anterior e a última folha emitida.

3.7. Avaliação da produção

No período de 2 de setembro de 2004 a 2 de dezembro de 2004, foi contado mensalmente o número de flores emitidas, marcando-se com um barbante em torno do caule da planta, totalizando seis avaliações. Estas avaliações foram interrompidas nos meses subsequentes, em função das chuvas ocorridas na área experimental, o que acarretou uniformidade na emissão de flores nos tratamentos, e também devido à altura que as plantas alcançaram, dificultando a contagem das flores.

Avaliações mensais do número de frutos por planta foram realizadas no período de 2 de setembro de 2004 a 27 de janeiro de 2005, totalizando seis avaliações. Na primeira foram contados todos os frutos existentes em cada planta. Nas avaliações subsequentes, foram contados os frutos existentes no espaço marcado com barbante, em que foram contadas as flores no mês anterior, para avaliar o abortamento de flores e o pegamento de frutos.

Os frutos foram colhidos semanalmente, no ponto de maturação, seguindo a recomendação feita por Viegas (1991), que indica o ponto de colheita quando o fruto apresentar a cor verde-clara (estádio 1), tendo, assim, melhores características de qualidade para o manejo de pós-colheita, e também segundo Brown (1987), que relatou que quando os frutos passam de verde-escuros para verde-claros eles podem ser considerados fisiologicamente maduros. Os frutos foram separados por parcela, contados e pesados individualmente em balança eletrônica com precisão de 0,1 g, permitindo o controle do número de frutos colhidos em cada repetição.

A produção foi avaliada por meio do número de frutos colhidos por planta e dos respectivos pesos frescos que atendam às exigências tanto do mercado interno quanto do externo, de todas as plantas úteis das parcelas. Obteve-se a produtividade da cultura, multiplicando-se o peso médio por fruto pelo número médio de frutos por planta e pelo número de plantas por unidade de área.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características climáticas e irrigações realizadas nos tratamentos

Na Tabela 3 estão os valores mensais de temperatura média, umidade relativa, precipitação, evapotranspiração e irrigações nos tratamentos, para os meses de setembro de 2003 a janeiro de 2005. Observa-se que os valores médios de temperatura e umidade relativa são adequados à cultura de mamão na região, considerando que esses valores estão situados dentro da faixa ótima, recomendada para o desenvolvimento da cultura por Oliveira *et al.* (1994) e Marin *et al.* (1995), exceto para o mês de julho, que foi ligeiramente inferior.

As precipitações ocorridas em 2004 foram de 1.496,4 mm, aparentemente suficientes para atender à demanda hídrica da cultura, que segundo Bernardo (1996b) situa-se em torno de 1.500 mm por ano. Esses valores são superiores ao da evapotranspiração de referência (Eto) no período, que foi de 1.039 mm, e da evapotranspiração da cultura (ETcp), que foi de 677,3 mm, mesmo assim foi preciso complementar a necessidade hídrica, visto que a distribuição das chuvas foi irregular no decorrer do experimento.

Em 2004, as irrigações totalizaram 251,2 e 467,4 mm, para os Trat. campo e Trat. ETc, respectivamente. Porém, no período de setembro de 2003 a janeiro de 2005, totalizaram 325,7 e 584,0 mm para os mesmos tratamentos. As irrigações realizadas no Trat. campo corresponderam a aproximadamente 55% das realizadas no Trat. ETc.

Tabela 3 – Dados mensais de temperatura média (Tmed), umidade relativa (UR), precipitação (Prec.), evapotranspiração (ETo), evapotranspiração da cultura (ETpc) e irrigações nos tratamentos, nos meses de setembro de 2003 a janeiro de 2005

Mês	Tmed	UR	Prec.	ETo	ETcp	Irrigações (mm)	
	(°C)	(%)	(mm)	(mm)	(mm)	Trat. campo	Trat. ETc
set/03	22,0	78,4	23,1	79,7	10,3	16,4	24,8
out/03	24,4	83,8	216,4	104,8	21,5	11,5	18,0
nov/03	25,0	82,6	122,0	114,6	39,9	14,6	22,3
dez/03	25,8	85,6	361,8	120,3	60,1	16,0	36,0
jan/04	25,1	90,9	275,0	98,9	52,5	11,4	18,2
fev/04	25,4	89,3	114,0	100,3	56,2	15,4	22,6
mar/04	24,8	92,1	243,4	95,4	56,2	11,8	19,1
abr/04	24,1	93,6	325,0	78,1	48,5	10,9	20,7
mai/04	23,2	91,0	5,2	66,1	43,1	19,8	37,6
jun/04	21,5	92,4	47,0	53,7	36,8	24,9	30,6
jul/04	20,6	92,6	64,2	55,5	39,0	11,8	22,6
ago/04	21,4	89,1	20,8	82,2	57,7	22,2	44,2
set/04	22,6	85,5	13,8	96,3	67,6	39,9	54,9
out/04	23,8	86,5	115,8	103,0	72,4	33,0	60,4
nov/04	24,6	88,7	120,6	97,8	68,7	32,6	42,0
dez/04	25,3	90,8	151,6	111,7	78,5	17,5	54,5
jan/05	26,0	90,7	233,6	111,8	78,5	16,0	55,5
Total	-	-	2.453,3	1.570,2	887,5	325,7	584,0

Na Tabela 3 estão os valores das irrigações aplicadas nos dois tratamentos. Observa-se que as irrigações no Trat. campo foram menores que as realizadas no Trat. ETc, durante todo o período. Essas irrigações deficitárias reduzem significativamente os teores de água no solo e, conseqüentemente, podem levar a planta a uma situação de estresse hídrico, com reflexos na produtividade da cultura, caso não ocorram precipitações em volume suficiente para repor a água perdida. Pode-se observar que mesmo nos meses em que as precipitações ficaram abaixo da ETpc, independentemente de sua distribuição ao longo do mês, as irrigações realizadas no Trat. campo não foram suficientes para complementar a demanda hídrica da cultura. Esse fato ficou evidente no mês de maio de 2004, quando as precipitação somaram apenas 5,2 mm e a ETpc foi de 43,1 mm e as irrigações foram somente de 27 mm.

A umidade do solo no Trat. campo e Trat. ETc durante o período de 5 de setembro de 2003 a 22 de fevereiro de 2005, bem como a capacidade de campo (Cc), o ponto de murcha (Pm) e a umidade mínima recomendada, pode ser visualizada nas Figuras 3 e 4, respectivamente. Na Figura 3 pode-se observar que em várias ocasiões o teor de água do solo ficou abaixo do recomendado, ou seja, utilizou mais de 20% da água disponível no solo para a cultura. Optou-se pelo critério de usar somente 20% da água disponível, porque a cultura é de alto valor econômico, muito sensível ao estresse hídrico, e os solos da região não proporcionam bom desenvolvimento radicular.

Na Figura 4, que representa o Trat. ETc, constata-se que a umidade do solo sempre esteve acima do teor recomendado, diferentemente do outro tratamento, comprovando que o manejo de irrigação utilizando os dados gerados pelos *software* Irriga-Gesai foi adequado, mantendo o teor de umidade próximo à capacidade de campo. Pode-se observar também que os valores de Cc e Pm alteram-se ao longo do tempo, porque no início o manejo de irrigação foi realizado considerando apenas a camada de 0-20 cm de solo, e a medida que a planta foi crescendo, progressivamente, passou a explorar a camada de 20-40 cm de solo, que possui outros valores de Cc e Pm.

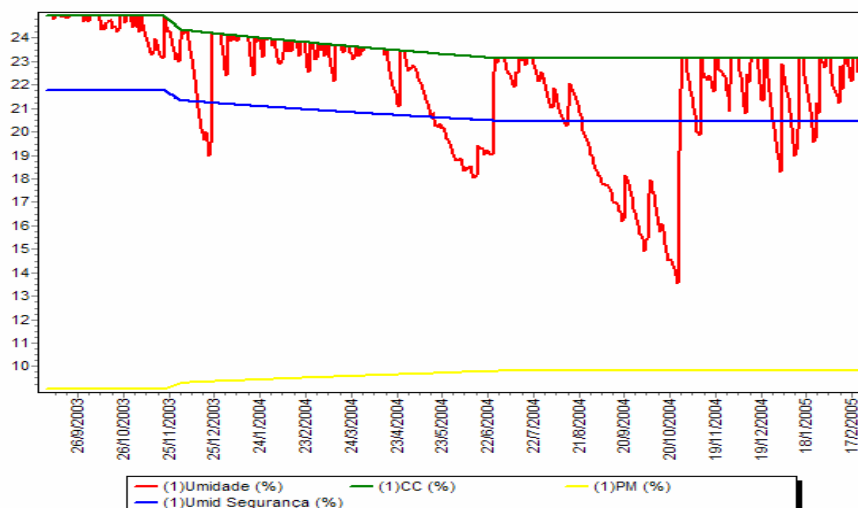


Figura 3 – Capacidade de campo (Cc), ponto de murcha (PM), umidade de segurança (80% da água disponível para a planta) e umidade do solo no período de 5 de setembro de 2003 a 22 de fevereiro de 2005 para o tratamento de campo.

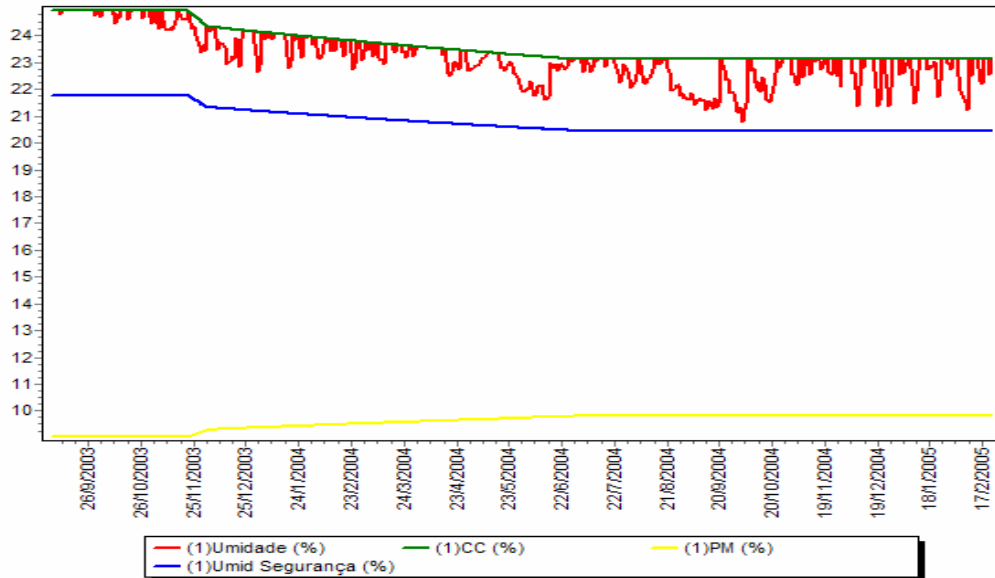


Figura 4 – Capacidade de campo (Cc), ponto de murcha (PM), umidade de segurança (80% da água disponível para a planta) e umidade do solo no período de 5 de setembro de 2003 a 22 de fevereiro de 2005 para o tratamento de ETC.

4.2. Avaliação do crescimento das plantas

4.2.1. Altura de planta e diâmetro de caule

Os valores de altura de planta e diâmetro de caule foram determinados em 16 avaliações mensais, a partir do primeiro mês de plantio. Nas Figuras 5 e 6 observa-se o desenvolvimento das plantas referente à altura e ao diâmetro de caule, para os Trat. campo e Trat. ETC. Nas primeiras avaliações, os resultados foram semelhantes para as duas variáveis nos dois tratamentos, o que pode ser explicado pelo gráfico das Figuras 3 e 4, nas quais verifica-se que nos primeiros meses após o plantio a umidade do solo foi mantida próximo à capacidade de campo, portanto as plantas também tiveram desenvolvimento semelhante.

Aijelaagbe *et al.* (1986), estudando estresse hídrico no mamoeiro, verificaram que o diâmetro do caule foi significativamente reduzido com o estresse, sendo este o parâmetro de crescimento do mamoeiro de maior

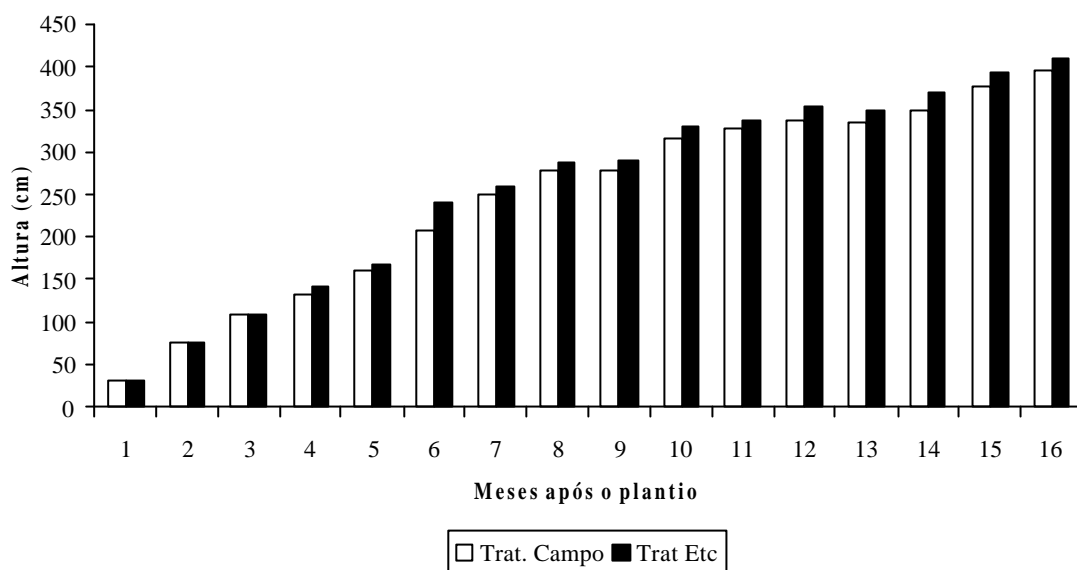


Figura 5 – Altura de planta nos tratamentos de campo e ETc, no período de setembro de 2003 a janeiro de 2005.

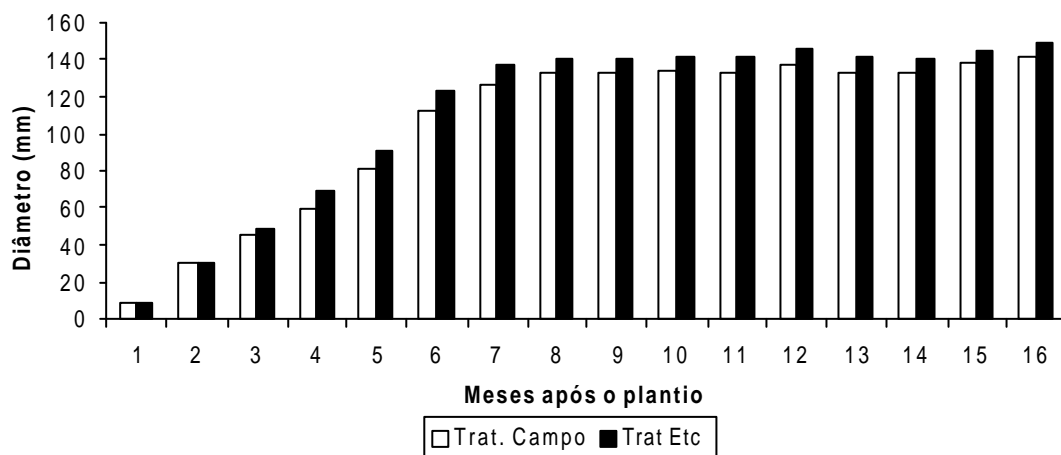


Figura 6 – Diâmetro de caule das plantas dos tratamentos de campo e ETc, no período de setembro de 2003 a janeiro de 2005.

sensibilidade a níveis de água no solo. Coelho *et al.* (2003), entretanto, não observaram diferença significativa nas variáveis altura de planta e diâmetro de caule para o mamoeiro do grupo formosa Tainung 1, em experimento com cinco níveis de irrigação.

Nas avaliações seguintes, os valores encontrados foram maiores para o tratamento ETc, nas duas características avaliadas. Estes resultados evidenciam que a reposição de 100% da evapotranspiração da cultura proporcionou o melhor desenvolvimento da cultura, visto que no Trat. campo aplicou-se cerca de 50% da necessidade hídrica da cultura, o que não foi suficiente para manter a umidade do solo em níveis desejáveis para o bom desenvolvimento da cultura.

A Tabela 4 apresenta os resultados da análise de variância para essas variáveis. Verifica-se que os valores analisados foram significativos para as duas variáveis, isoladamente, e para a interação tratamento x mês referente ao diâmetro de caule, a 1% de significância. Entretanto, não apresentou diferença significativa para a interação tratamento x mês referente à altura de planta.

Tabela 4 – Análise de variância para os valores de altura de planta e diâmetro de caule

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Altura da planta	Diâmetro do caule
Tratamento (T)	1	6.752,65**	2.396,06**
Erro (a)	10	1.343,71	196,88
Mês (M)	15	163.182,00**	25.199,75**
T x M	15	214,50	31,72**
Erro (b)	150	154,41	7,76
Médias		253,18	108,76
CV a (%)		14,48	12,90
CV b (%)		4,91	2,56

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

4.2.2. Número de folhas

Na Figura 7 apresentam-se os valores acumulados de emissão de folhas nos dois tratamentos. Esses valores foram determinados em cinco avaliações mensais, no período de 2 de setembro de 2004 a 4 de janeiro de 2005. A emissão de folhas foi sempre maior no Trat. ETc. Deve-se destacar que o período avaliado, setembro de 2004 a janeiro de 2005, correspondeu aos meses em que a disponibilidade hídrica foi menor no Trat. campo (Figuras 3 e 4), provocando estresse hídrico nas plantas desse tratamento.

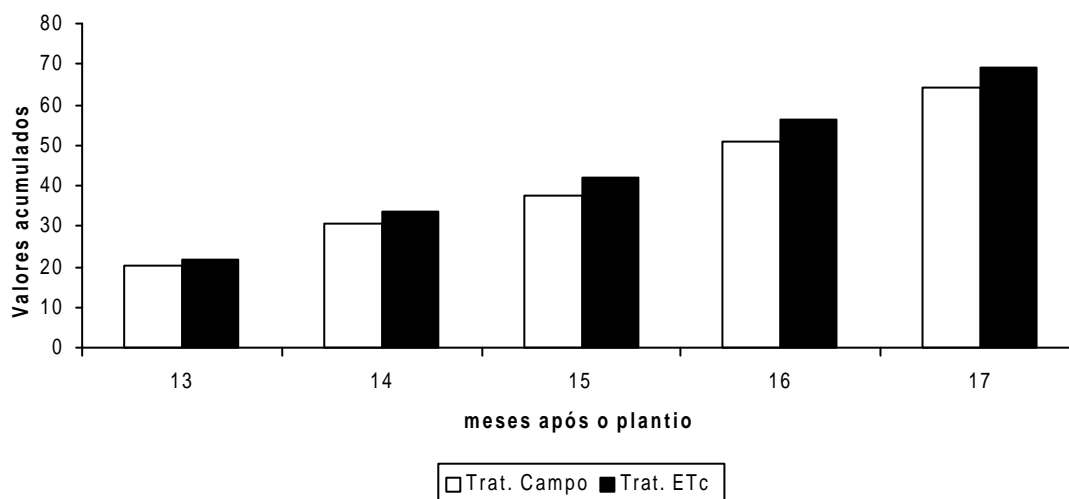


Figura 7 – Número de folhas emitidas pelas plantas nos tratamentos de campo e ETc, no período de setembro de 2004 a janeiro de 2005.

Almeida (2000) verificou que quando a emissão de folha é analisada, considerando-se faixas de aplicação de água, é grande a diferença de emissão de folhas entre os tratamentos de baixa aplicação, menor que 40% da ETo, e os tratamentos com taxas de aplicações maiores que 40% da ETo, demonstrando, assim, que existe diferença na emissão de folhas em função do tratamento de lâmina d'água aplicada.

Entretanto, Awada *et al.* (1979), estudando o estresse hídrico no mamoeiro, verificaram que o número de folhas das plantas submetidas ao estresse hídrico diminuiu devido somente à abscisão das folhas, e não pelo número

de folhas emitidas, pois o número de nós nas plantas eram os mesmos, diferindo apenas a distância entre eles, sob as diferentes umidades estabelecidas.

Na Tabela 5 estão os resultados da análise de variância para os valores dessa variável. Verifica-se que os valores analisados foram significativos para as variáveis isoladamente, a 1% de significância, porém não houve diferença significativa para a interação tratamento x mês.

Tabela 5 – Análise de variância para os valores de número de folhas no período de 2 de setembro de 2004 a 4 de janeiro de 2005

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
Tratamento (T)	1	14,0941**
Erro (a)	10	0,9495
Mês (M)	4	290,6254**
T x M	4	2,7057
Erro (b)	40	1,7352
Médias		13,27
CV a (%)		7,34
CV b (%)		9,92

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

4.3. Avaliação da produção

4.3.1. Número de flores e frutos

Semelhantemente aos parâmetros de crescimento avaliados, os parâmetros de produção também apresentaram melhores resultados para o Trat. ETc, em relação ao Trat. campo. Os parâmetros de crescimento avaliados nos tratamentos são indicativos do potencial de produção, como também foi observado por Silva (1999) e Almeida *et al.* (2000).

Na Figura 8 estão os resultados das avaliações referentes ao número de flores. A média acumulada de flores por planta nas quatro avaliações foi de 80 no Trat. ETc e 59 no Trat. campo. Em todas as avaliações, o Trat. ETc apresentou melhores resultados, mostrando que certamente eles refletem a maior disponibilidade hídrica para as plantas nesse tratamento.

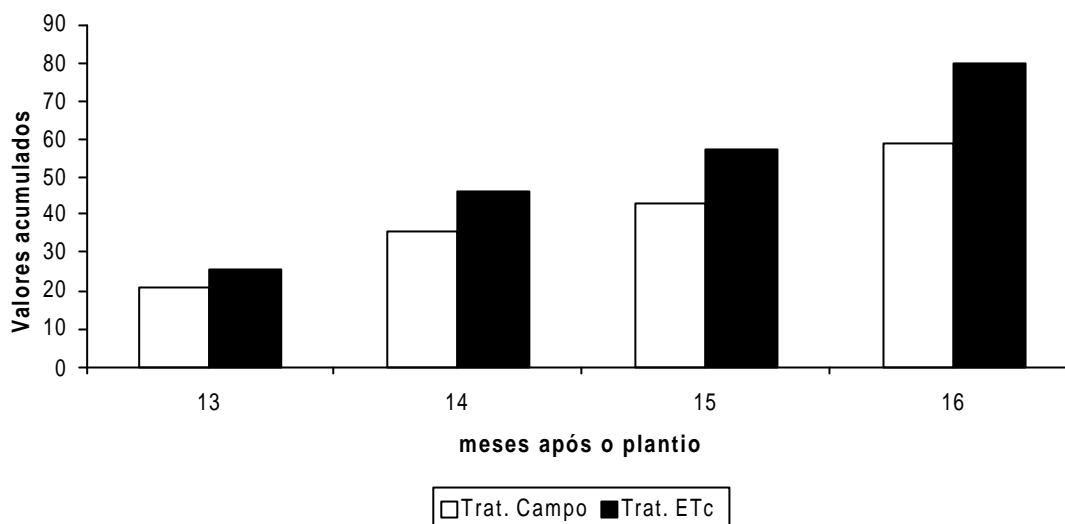


Figura 8 – Número de flores emitidas pelas plantas nos tratamentos de campo e ETC, no período de setembro de 2004 a dezembro de 2004.

Fraife Filho *et al.* (2001), avaliando quatro variedades de mamoeiro, observaram que todas elas apresentaram altura de inserção das primeiras flores funcionais elevadas, em decorrência de abortamento de flores, ocasionado por deficiência hídrica.

Da mesma forma que foi observado no parâmetro número de flores, o Trat. ETC também apresentou melhor resultado para o número frutos nos meses avaliados, como pode ser observado na Figura 9. Constatou-se um total acumulado, no período avaliado, de 128 frutos em média por planta no Trat. ETC e 108 frutos no Trat campo, com um acréscimo na produção de frutos de 18% .

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise de variância para número de flores e frutos. Os valores referentes ao número de flores foram obtidos em quatro avaliações, enquanto o número de frutos foi obtido em seis avaliações. Observa-se que os valores analisados foram significativos para as variáveis isoladamente a 1% de significância, pelo teste F, porém não houve diferença significativa para a interação tratamento x mês.

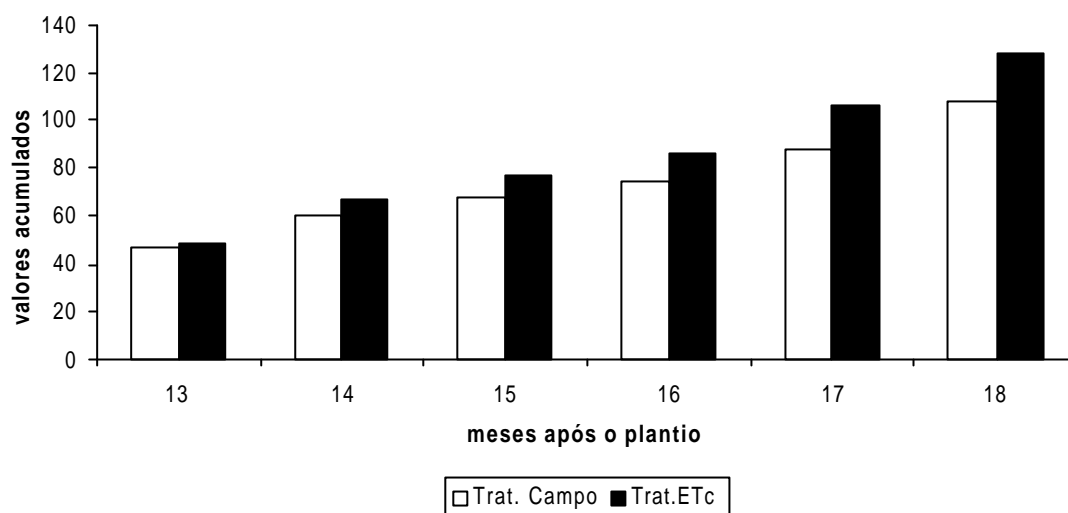


Figura 9 – Número de frutos nos Trat. campo e ETc, no período de setembro de 2004 a janeiro de 2005.

Tabela 6 – Análise de variância para os valores de número de flores no período de 2 de setembro a 2 de dezembro de 2004 e número de frutos no período de 2 de setembro de 2004 a 27 de janeiro de 2005

Fontes de variação	Número de Flores		Número de Frutos	
	GL	Quadrado Médio	GL	Quadrado Médio
Tratamento (T)	1	158,5950**	1	201,1350**
Erro (a)	10	2,9226	10	7,6604
Época (M)	3	430,9164**	5	2.598,0110**
T x M	3	17,1112	5	7,9998
Erro (b)	30	6,0016	50	10,2286
Médias		15,47		19,76
CV a (%)		11,05		14,01
CV b (%)		15,84		16,19

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

4.3.2. Produção

As colheitas foram iniciadas na 34^a semana após o plantio, e a avaliação da produção foi feita durante 40 semanas. O número total de frutos (Nf), nos dois tratamentos, e o de cada colheita estão na Figura 10. Em 25 das 40 semanas de produção avaliadas o Trat. ETc apresentou resultado superior ao do Trat. campo, e em 14 delas o resultado foi inferior. A maior diferença ocorrida entre os tratamentos foi de 108 frutos, referente à colheita na 72^a semana, que correspondeu à colheita de 314 frutos no Trat. ETc e 153 frutos no Trat. campo.

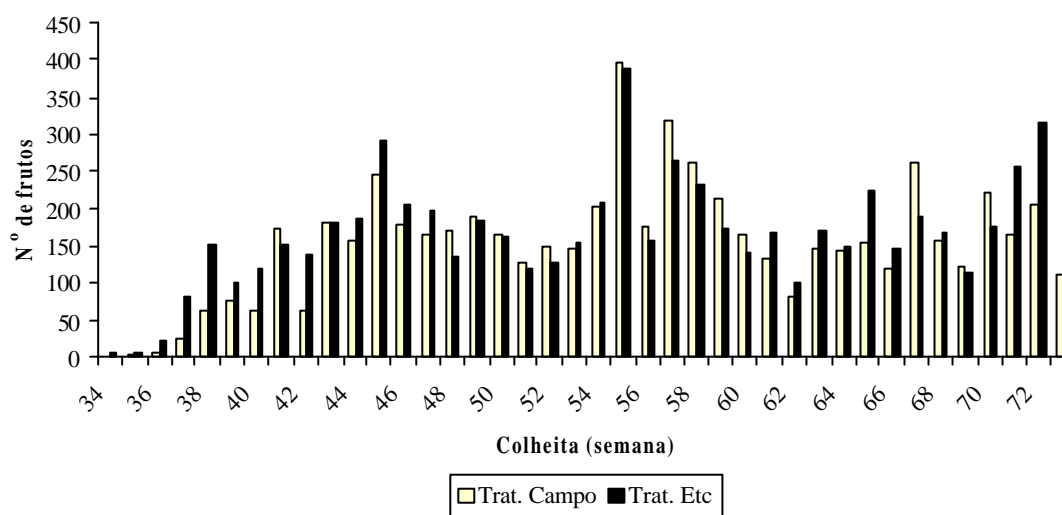


Figura 10 – Número total de frutos (Nf) por colheita para os tratamentos de campo e ETc, no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005.

Foram colhidos 6.622 frutos no Trat. ETc e 6.099 no Trat. campo, no total das colheitas realizadas, o que representa um acréscimo de 8,5% na produção. Esses valores são referentes à produção de 60 plantas, que constituem cada tratamento. Esses resultados de produção refletem os das outras variáveis já analisadas.

Segundo Siqueira e Botrel (1986), baixa disponibilidade hídrica no período de floração, além de reduzir o crescimento da planta, favorece a produção de flores masculinas e estéreis, reduzindo a produção de frutos.

Na Figura 11 encontra-se a comparação do peso médio dos frutos colhidos (Pe.m) nos dois tratamentos. Foram obtidos 390 e 357 g nos Trat. ETc e campo, respectivamente. A diferença de 33 g por fruto é bastante significativa, visto que além do Pe.m obtido no Trat. ETc o número total de frutos nesse tratamento também foi maior. Além disso, a produção de frutos maiores pode favorecer a exportação, porque o mercado externo é exigente quanto ao peso do fruto. O mercado suíço tem preferência por frutos na faixa de 290 a 349 g, enquanto os mercados alemão e francês, por frutos na faixa de 350 a 439 g e o português, por frutos maiores, em média com 449 a 650 g (BALBINO e COSTA, 2003).

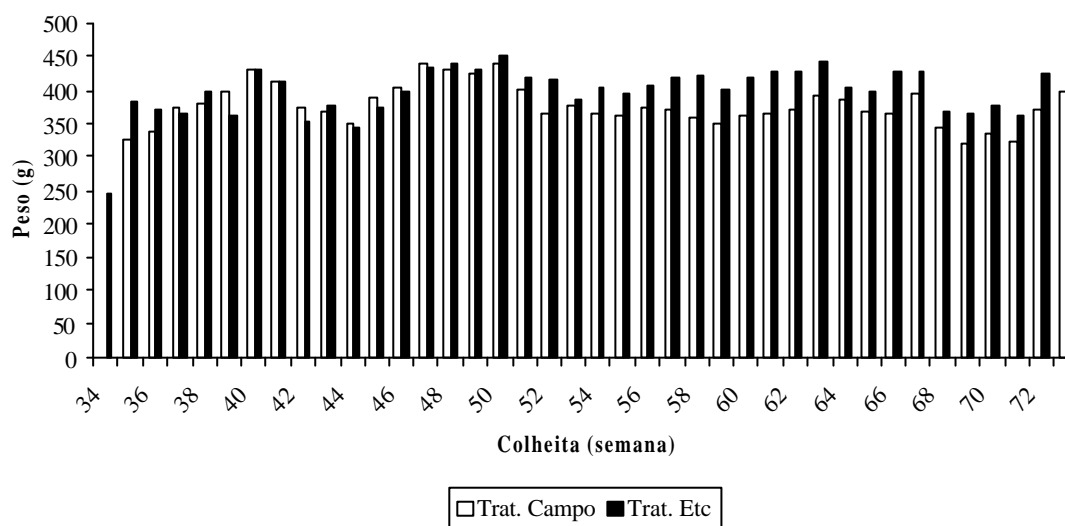


Figura 11 – Peso médio de fruto (Pe.m) por colheita para os tratamentos de campo e ETc, no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005.

Nas primeiras colheitas, os valores Pe.m nos dois tratamentos foram semelhantes, porém a partir da 50ª semana os valores apresentados para o Trat. ETc foram sempre maiores. Em geral, o período para o desenvolvimento do fruto até a colheita é de cinco meses na época mais quente do ano, logo os frutos colhidos nas primeiras semanas, meses de abril a agosto, foram gerados por flores emitidas nos meses de dezembro a março, período de maior precipitação pluviométrica, portanto nos primeiros meses os tratamentos praticamente se igualaram, diferentemente do que ocorreu daí em diante, quando os déficits

hídricos influenciaram o Trat. campo. A maior diferença obtida entre os tratamentos foi de 64,9 g na 61^a semana, resultante de Pe.m de 429,27 e 364,36 g, para os Trat. ETc e campo, respectivamente.

Os valores da produtividade média semanal por planta (Produt.mp) estão na Figura 12, e refletem o melhor desempenho da cultura obtido no Trat ETc. Observa-se que na maioria das colheitas a Produt.mp apresentou melhores resultados no Trat. ETc, somente em dez colheitas este tratamento foi superado. A Produt.mp foi de 1.141 g para o Trat. ETc e 972 g para o Trat. campo, uma diferença de 17%. A maior diferença foi de 408,2 g, referente à 61^a semana quando a Produt.mp foi de 1.223,4 e 815,2 g nos Trat. ETc e Trat. campo, respectivamente.

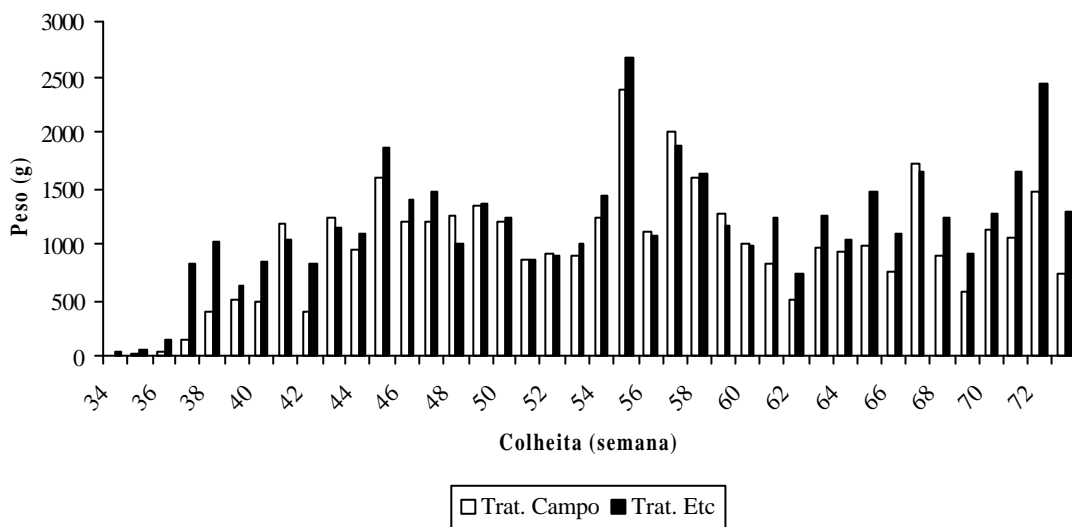


Figura 12 – Produtividade média por planta (Produt.mp) por colheita nos tratamentos de campo e ETc, no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005.

Os valores da produção média por planta (Prod.p) apresentados na Figura 13 são referentes às médias, considerando somente as plantas que tiveram frutos colhidos na semana. Os resultados obtidos no Trat ETc foram também superiores ao do Trat campo, com uma média final de 1.268,5 e 1.100,9 g, respectivamente.

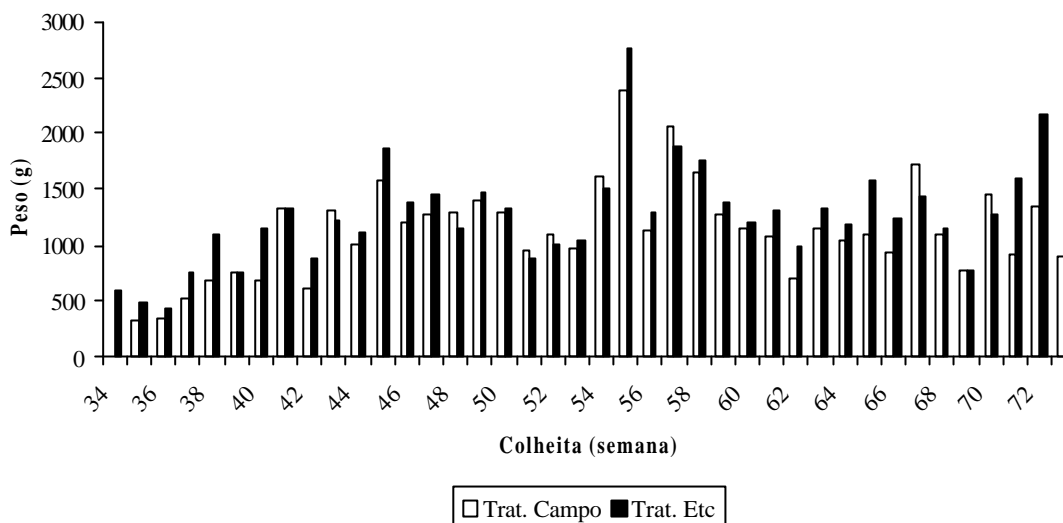


Figura 13 – Produção média por planta (Prod.p) por colheita para os tratamentos de campo e ETC, no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005.

Nas Figuras 14 e 15 estão os resultados comparativos entre tratamentos, da produção média por repetição (Prod.m) e da produtividade média por hectare (Produt.m), no período avaliado. Semelhantemente aos resultados obtidos nas variáveis já analisadas, o Trat. ETC também apresentou melhores resultados para Prod.m e Produt.m.

A maior produção obtida foi referente à 55ª semana após o plantio, quando foram colhidos 153,2 e 143,3 kg para os Trat. ETC e Trat. campo, respectivamente. Essa produção equivale a uma produtividade média de 5,14 e 4,58 t ha⁻¹, respectivamente, para os dois tratamentos. Porém, a maior diferença observada entre os tratamentos foi de 53,3 kg, obtida na penúltima semana de colheita, 27 de janeiro de 2005, com uma produção de 128,0 e 74,7 kg e uma produtividade de 4,17 e 2,42 t ha⁻¹, para os tratamentos ETC e campo, respectivamente.

Observa-se na Figura 3 que os cinco meses antes da penúltima colheita, quando ocorreu maior diferença entre as produções dos tratamentos, nos meses de agosto e setembro de 2004, corresponderam ao período em que o Trat. campo apresentou maior déficit de água no solo, levando as plantas ao estresse hídrico.

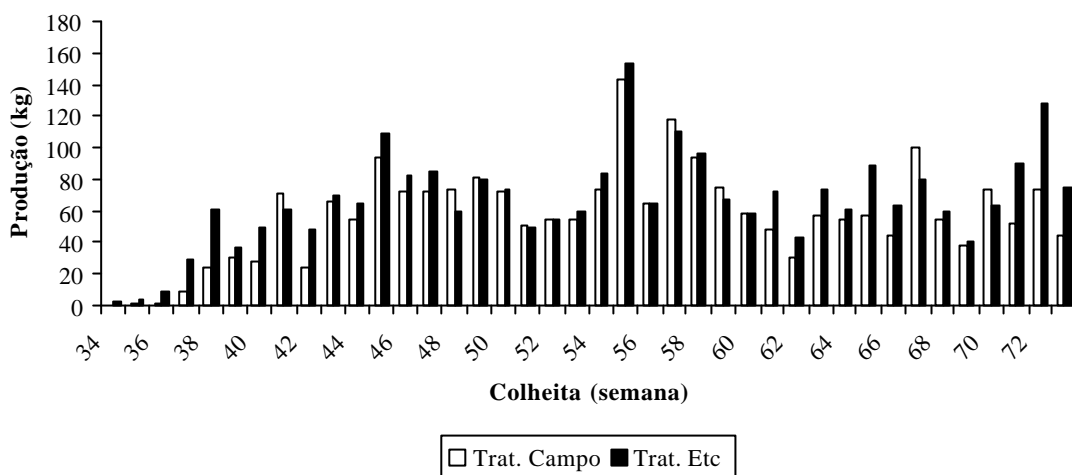


Figura 14 – Produção média por repetição (Prod.m) por colheita para os tratamentos de campo e ETc, no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005.

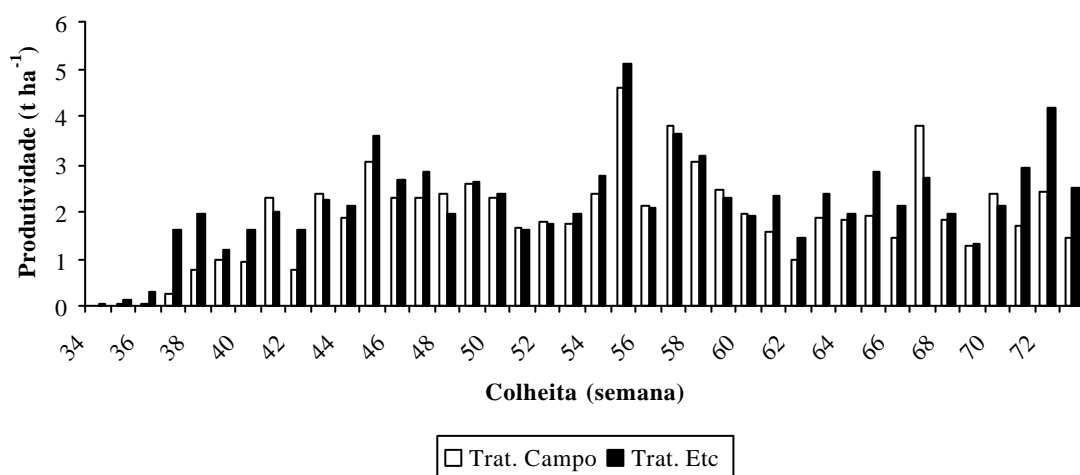


Figura 15 – Produtividade média por hectare (Produt.m) por colheita para os tratamentos de campo e ETc, no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005.

A produtividade final obtida foi de 87,62 e 74,92 t ha⁻¹ para os Trat. ETc e Trat. campo, respectivamente (Figura 16). Esses resultados representam um acréscimo de 12,69 t ha⁻¹, um percentual de 17% de aumento na produtividade da cultura. A produtividade média da cultura do mamão no Estado do Espírito Santo é de 72 t ha⁻¹, portanto a produtividade obtida nos dois tratamentos supera a média estadual, principalmente considerando que o experimento foi encerrado quando as plantas estavam com 18 meses de idade.

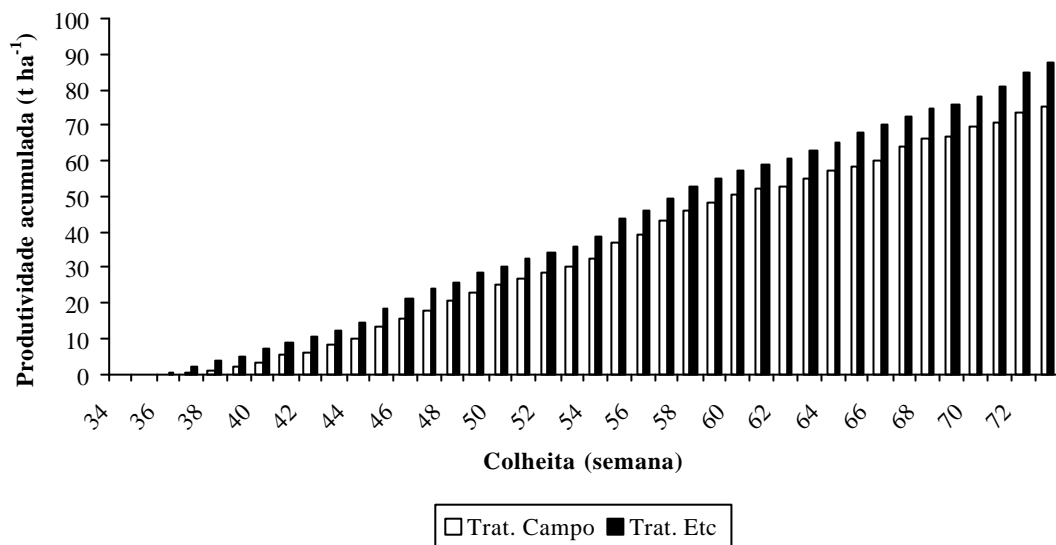


Figura 16 – Produtividade acumulada por hectare (Produt.ac) para os tratamentos de campo e ETc, no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005.

Os resultados da análise de variância para os parâmetros de produção avaliados estão na Tabela 7. Verifica-se que os valores analisados foram significativos para as variáveis isoladamente, bem como para as interações a 1% de significância, pelo teste F. Observa-se também que o coeficiente de variação foi baixo para todas as variáveis, considerando que a análise é resultante de 40 semanas de colheitas e referente ao peso de 13.000 frutos.

Tabela 7 – Análise de variância para os valores por colheita (semana) dos números totais de frutos (Nf) por repetição, peso médio por fruto (Pe.m), produtividade média por planta (Produt.mp), produção média por planta (Prod.p), produção média por repetição (10 plantas) (Prod.m), produtividade média por hectare (Produt.m) e produtividade acumulada por hectare (Produt.ac), no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005

FV	GI	Quadrados Médios						
		Nf	Pe.m	Produt.mp	Prod.p	Prod.m	Produt.m	Produt.ac
Tratamento (T)	1	569,85**	126371,70**	3279599,00**	3289779,00**	278207900,00**	12089950,00**	4373456000,00**
Erro (a)	10	83,72	6867,60	287133,10	276511,80	25706290,00	1058487,00	339602200,00
Semanas (S)	39	1911,44**	54329,78**	2951006,00**	2432179,00**	283675500,00**	10878590,00**	8389290000,00**
T x S	39	139,01**	5967,04**	238294,20**	173333,40**	19294200,00**	878447,90**	24821670,00**
Erro (b)	390	50,38	2870,21	94287,88	95473,14	8041515,00	347582,50	5023050,00
Médias		26,50	372,82	1058,20	1168,80	10314,00	2031,80	36932,00
CV a (%)		34,53	22,23	50,64	44,99	49,16	50,64	49,90
CV b (%)		26,78	14,37	29,02	26,44	27,49	29,02	6,07

** significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi conduzido na fazenda Gaia Agrícola, localizada no município de Linhares-ES. O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições.

O objetivo foi avaliar o desenvolvimento da cultura do mamoeiro submetido a dois tratamentos de irrigação: no primeiro, as irrigações foram realizadas seguindo a recomendação do técnico responsável pela irrigação da fazenda, com base em observação no campo (Trat. campo); no segundo, tratamento, o manejo diário da irrigação, utilizando valores obtidos pelo *software* Irriga-Gesai (Trat. ETc), com base em dados de temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação e radiação solar coletados em uma estação meteorológica automática instalada próximo ao experimento.

A parcela experimental constituiu-se de 60 plantas úteis, plantadas em fileiras únicas de 1,5 m entre plantas e 3,5 m entre fileiras, após a sexagem. As irrigações foram realizadas com um sistema de irrigação por gotejamento, com gotejadores do tipo labirinto, espaçados a cada 0,6 m e 3,5 m entre linhas laterais, vazão de 2,0 L h⁻¹, a uma pressão de serviço de 10 mca nos finais de linhas e porcentagem de área molhada de 33%.

A semeadura foi realizada no dia 1^o de agosto de 2003 em tubetes, e no dia 5 de setembro de 2003 foi realizado o transplante mecânico das mudas para o campo, espaçadas uma da outra 0,75 m por fileira de plantas. O cultivar utilizado foi o Golden.

Foram medidos, periodicamente, a altura de planta, o diâmetro de caule e o número de folhas emitidas por cada planta para avaliação do crescimento das plantas. Para avaliação de produção foram contados, mensalmente, o número de flores emitidas, o número de frutos por planta e a produção semanal por planta. Após o início de maturação dos frutos, determinou-se o peso de cada fruto colhido.

As características de produção avaliadas foram: números totais de frutos (NF) por repetição, peso médio por fruto (Pe.m), produtividade média por planta (Produt.mp), produção média por planta (Prod.p), produção média por repetição (10 plantas) (Prod.m), produtividade média por hectare (Produt.m) e produtividade acumulada por hectare (Produt.ac), no período de 28 de abril de 2004 a 2 de fevereiro de 2005

A análise dos resultados permitiu as seguintes conclusões:

- As irrigações realizadas no tratamento de campo não atenderam à demanda hídrica da cultura; em várias ocasiões, o déficit de água no solo ultrapassou o limite de 80% da disponibilidade total de água no solo, comprometendo a produtividade.

- Todos os parâmetros avaliados apresentaram melhores resultados no Trat. ETc.

- O número total de frutos colhidos no Trat. ETc foi superior em 8,5% ao do Trat.campo.

- O peso médio de frutos obtidos no Trat. ETc superou em 9,2% ao do Trat.campo.

- A produtividade foi superior em 16,9% no Trat. ETc, comparada à do Trat.campo.

As irrigações com base apenas na experiência de campo não atendem satisfatoriamente às necessidades hídricas da cultura e podem provocar déficit de água no solo e reduzir a produtividade da cultura.

O manejo adequado da irrigação proporciona melhor desenvolvimento da planta, proporcionando melhor produção e maior produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIYELAAGBE, I. O. O.; FAWSI, M. O. A.; BABALOLA, O. Growth, development and yield of pawpaw (*Carica Papaya* L.) 'Homestead selection' in response to soil moisture stress. **Plant and Soil**, v. 93, p .427-435, 1986.

ALEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 308p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).

ALMEIDA, F. T. *Resposta do mamoeiro (Carica papaya L.) do grupo Solo a diferentes lâminas de irrigação no Norte Fluminense*. 2000. 125 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense-UENF, Campos dos Goitacazes, RJ. 2000.

ALMEIDA, F. T.; MARINHO, C. S.; SOUZA, E. F.; GRIPPA, S. Expressão sexual do mamoeiro sob diferentes lâminas de irrigação na região norte Fluminense. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, p. 383-385, 2003.

ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos. In: AZEVEDO, A. *Brasil, a terra e o homem*. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1964. 607 p.

ALVES, F. L. A cultura do mamão *Carica papaya* no mundo, no Brasil e no Estado do Espírito Santo. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória, ES: Incaper, 2003. p. 11 – 34.

ANDRIGUETO, J. R.; KOSOSKI, A. R. Desenvolvimento e conquistas da produção integrada de frutas no Brasil. In: MARTINS, D. S. *Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno*. Vitória-ES: Incaper, 2003. p. 95-128.

ASAE EP 458. *Field evaluation of micro irrigation systems*. St. Joseph: ASAE Standards. p.792-797, 1996.

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

AWADA, M.; WU, I. P.; SUEHISA, R. H.; PADGETT, M. M. *Effects of drip irrigation and fertilization on vegetative growth, fruit yield, and mineral composition of the petioles and fruits of papaya*. Honolulu, Hawaii Agricultural Experiment Station, University of Hawaii, 20 p. (Boletim Técnico, 103), 1979.

BALBINO, J. M. S.; COSTA, A. F. S. Crescimento e desenvolvimento dos frutos do mamoeiro do “Grupo Solo” e padrão de qualidade. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória, ES: Incaper, 2003. p. 387-402.

BERNARDO, S. Irrigação do mamoeiro. Tratos culturais do mamoeiro. In: MENDES, L. G.; DANTAS, J. L. L.; MORALES, C. F. G. *Mamão no Brasil*. Cruz das Almas – BA: UFBA/Embrapa-CNPMF, 1996a. p. 57-75.

BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A.; SOUSA, E. F. *Irrigação do mamoeiro*. Campos dos Goytacazes, 1996b. 20 p. (Boletim Técnico, v. 1, n. 5).

BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. Viçosa: UFV, Impr. Univ. 6 ed. 1995. 657 p.

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

BEZERRA, F. M. L.; MESQUITA, T. B.; OLIVEIRA, C. H. C. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do mamão irrigado por sistema de irrigação localizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Cascavel: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD ROM.

BRALTS, V. F.; KESNER, C. D. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 26, n. 5, p. 1369-1374, 1983.

BROWN, B.I. Effects of maturity at harvest and reopening on the quality of papaw fruit. **J. Agric. And Anim. Sci.**, Queensland, v. 44, n. 1, p. 31-6, 1987.

BURT, C.M.; CLEMMESNS, A.J.; STRELKOFF, T.S.; SOLOMON, K.H.; BLIESNER, R.D.; HOWELL, T.A. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 6, p. 423-442, 1997.

CALHEIROS, C. B. M.; QUEIROZ, J. E.; FRIZONE, J. A.; PESSOA, P. C. S. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p. 509-515, 1996.

CAPRA, A., SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **J. Agric. Eng. Res. Silsoe Research Institute**, n. 70, p. 355-365, 1998.

CARVALHO, J. E. B.; LOPES, L. C.; ARAÚJO, A. M. A.; SOUZA, L. S.; CALDAS, R. C.; DALTRO JÚNIOR, C. A.; CARVALHO, L. L.; OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS, R. C. Leguminosas e seus efeitos sobre propriedade físicas do solo e produtividade do mamoeiro "Tainung I". **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v. 26, n. 2, p. 335-338, 2004.

CHISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Revista Trimestral da Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem**, n. 49, p. 8-13, 2001.

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. **California Agricultural Experiment Station**, Berkeley, v. 670, p. 1-124, 1942. (Bulletin).

COELHO, E. F.; LIMA, D. M.; SOARES, M. A. A.; CALDAS, R. C. Crescimento do mamoeiro cultivar Tainung nº 1 sob diferentes regimes de irrigação em tabuleiros costeiros do recôncavo baiano. 2003.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; VASCONCELOS, L. F. L.; ARAUJO, E. C. E. Extração de água na zona radicular da manga sob irrigação por microaspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2001. p. 127-131.

COELHO, E. F.; Lima, D. M.; QUEIROZ, J. S. Desenvolvimento e produção do mamoeiro irrigado por diferentes sistemas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12, 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABID, 2002 (CD-ROM).

COELHO, E. F., SILVA, J. G. F., SOUZA, L. F. S. *Irrigação e fertirrigação. Mamão - produção aspectos técnicos*. Embrapa Mandioca Fruticultura, 2000. p. 37-42.

CORDEIRO, E. A. *Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento*. 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

COSTA, A. F. S.; COSTA, A. N.; DESSAUNE FILHO, N. Distribuição do sistema radicular do mamoeiro em solos do Estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 15, 1998, Poços de Caldas. **Resumos...** Lavras: SBF/UFLA/EPAMIG, 1998. 778 p.

COSTA, A. F. S.; PACOVA, B. E. V. Caracterização de cultivares, estratégias e perspectivas do melhoramento genético do mamoeiro. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória, ES: Incaper, 2003. p. 59-102.

DADALTO, G. G. *Caracterização hídrica do Espírito Santo – Precipitação pluviométrica. Recursos Hídricos e Adversidades Climáticas*. Vitória-ES, 1998. p. 43-59.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 27, n. 50, p. 155-162, 1980.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. *Yield response to water*. Roma: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

FACCIOLI, G. G. *Modelagem da uniformidade e da lâmina de irrigação na produtividade do feijoeiro*. 2002. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Producción de alimentos: function decisiva del agua*. Disponível em: <<http://www.fao.org/wsf/final/s/volume2/t07sum-s.htm>> Acesso em: 1996.

FIBGE – FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Levantamento sistemático da produção brasileira: anos 1997 a 2003*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 8 jun. 2006.

FORTUNECITY, A. *Cultura*. Disponível em: <<http://fortunecity.com>>. Acesso em: 14 de março de 2004.

FRAIFE FILHO, G. A.; DANTAS, J. L. L.; LEITE, J. B. V.; OLIVEIRA, J. R. P. Avaliação de variedades de mamoeiro no extremo sul da Bahia. **Magistra**, Cruz das Almas-BA, v. 13, n. 1, p. 6, 2001.

FREITAS, P. S. S. *Uniformidade de aplicação de água, produtividade da cultura do milho e efeito da presença de diferentes resíduos de cultura na evaporação de água do solo*. 2000. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FRIZZONE, J. A. Manejo de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas-MG, 1998. **Anais...** Poços de Caldas-MG, 1998.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. *Trickle irrigation of crop production*. Elsevier Science Publishers, 1986. 383 p.

GOMES, H. P. *Engenharia de irrigação – Hidráulica dos sistemas pressurizados - Aspersão e gotejamento*. 3. ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 411 p.

GOMIDE, R. L. *Determinação e análise da uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação por aspersão*. 1978. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1978.

HEERMANN, D. F.; E HEIN, P. R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation system. **Transactions of the ASAE**, v. 2, n. 1, p. 11-15, 1968.

HERNANDEZ, F. B. T. Fertirrigação. In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. **Fertilizantes fluidos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 212-225.

INFORZATO, R.; CARVALHO, A. M. Estudos do sistema radicular do mamoeiro (*Carica papaya* L.) em solo podzóico, variação. **Bragantina**, v. 11, p. 155-159, 1967.

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais...** Aracaju: EMBRAPA-CPATC; CNPMF; EAUFBA; IGUFBA, 1996. p. 13-26.

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

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

KIST, H.; MANICA, I. Densidades de plantio, crescimento e produção do mamoeiro Formosa (*Carica Papaya* L.) em Porto Lucena-RS. **Pesquisa Agropecária Brasileira**, Brasília, v. 30, n.5, p. 657-666, 1995.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. G. Madrid: Riego Localizado. 1992. 405 p.

MANICA, I. *Mamão*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1982. 255 p.

MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; MUDRICK, A. Irrigação do cafeeiro – Em que condições a irrigação é necessária e como irrigá-lo nessas condições. In: ZAMBOLIM, L. **Produção integrada de café**. Viçosa-MG: UFV, 2003. p 279-313.

MARIN, S. L. D.; GOMES, J. A. *Sexagem do mamoeiro e sua aplicação no desbaste de plantas*. 2. Ed. Vitória-ES: EMCAPA, 1987. 20 p. (EMCAPA, Circular Técnica, 11).

MARIN, S. L. D.; GOMES, J. A.; SALGADO, J. S. *Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos Solo e Formosa no Estado do Espírito Santo*. 4. ed. Vitória-ES, EMCAPA, 1995. 57 p. (EMCAPA. Circular Técnica, 3).

MARIN, S. L. D.; SILVA, J. G. F. Aspectos econômicos e mercados para a cultura do mamoeiro do grupo Solo na região norte do Espírito Santo. In: MENDES, L. G.; DANTAS, J. L. L. *Mamão no Brasil*. Cruz das Almas, Bahia. EUFBA/EMBRAPA-CNPMF, 1996. 179 p.

MARIN, S. D. L.; GOMES, J. A.; SALGADO, J. S. *Recomendações para a cultura do mamoeiro cv. Solo formosa no Estado do Espírito Santo*. 3 ed. Vitória-ES: EMCAPA, 1987. 67 p. (EMCAPA. Circular Técnica, 11).

MARLER, T. E.; MICKELBART, M. V. Drought, leaf gas exchange, end chlorophyll fluorescence of field-grown papaya. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 123, n. 4, p. 714-718, 1998.

MARTELETTO, L. A. P.; MALDONADO, J. F. M.; VIEIRA, A.; FERNADES, S. G.; CARVALHO, S. M. P.; SILVA, J. A. C.; COSTA, R. A.; OLIVEIRA, L. A. A.; SARMENTO, W. R. M. *A cultura do mamão: perspectivas, tecnologias e viabilidade*. Niterói-RJ: PESAGRO-RIO, Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro, 1997. 28 p. (Documentos, 37).

MARTINS, D. S. Situação atual da produção integrada de mamão no Brasil. In: MARTINS, D. S. *Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno*. Vitória-ES: Incaper, 2003, p. 95-128.

MATTA, F. M. *Alguns aspectos das relações hídricas em cultivares de Coffea arábica e Coffea canephora*. 1991. 45 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

MEDINA, J. C. Cultura. In: *Mamão: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos*. Campinas-SP: ITAL, 1989. 172 p.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. *Trickle irrigation of crop production*. Elsevier Science Publishers, 1986. 383 p.

NOGUEIRA, C. C.; BASTOS, E. A. Trado amostrador de raízes. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, 2001, Fortaleza-CE, **Anais...** Fortaleza, 2001, p. 303-306.

OLIVEIRA, A. M. G.; FARIAS, A. R. N.; SANTOS FILHO, H. P. S.; OLIVEIRA, J. R. P.; DANTAS, J. L. L.; SANTOS, L. B.; OLIVEIRA, M. A.; SOUZA JÚNIOR, M. T.; SILVA, M. J.; ALMEIDA, O. A.; NICKEL, O.; MEDINA, V. M.; CORDEIRO, Z. J. M. *Mamão para exportação: aspectos técnicos de produção*. Brasília: Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria de Desenvolvimento Rural, Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e plantas Ornamentais/ EMBRAPA-SPI, 1994. 52 p. (Série Publicações Técnica FRUPEX, 9).

OLLITA, A. F. L. Os métodos de irrigação. São Paulo: Nobel, 1986. 267p.

PEREIRA, L. S.; OWEIS, T., ZAIRI, A. *Irrigation management under water scarcity*. Agricultural Water Management. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 2002. p 175-206.

PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid. 2. ed., 1990. 471 p.

RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C. Sistemas de irrigação e seus componentes. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. *Quimigação – Aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação*. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 41-84.

RENA, A. B.; MAESTRI, M.. Relações hídricas no cafeeiro. **Revista Item**, n. 48, p. 34-41, 2000.

RESENDE, J. O. *Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros*: limitações agrícolas e manejo. Salvador-BA: SEAGRI-SPA, 2000. 117 p.

RESENDE, J. O. Tentativa de um manejo adequado para o cultivo do mamoeiro (*Carica papaya* L.) em solos coesos dos tabuleiros costeiros do nordeste Brasileiro. In: MENDES, L. G.; DANTAS, J. L. L.; MORALES, C. F. G. *Mamão no Brasil*. Cruz das Almas-BA, 1996. p. 21-26.

RIBEIRO, L. P. *Os Latossolos amarelos do recôncavo Baiano*: gênese, evolução e degradação. Salvador-BA: CADCT, 1998. 99 p

RUGGIERO, C. *Situação da cultura do mamoeiro no Brasil*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DO MAMOEIRO. Jaboticabal-SP, 1980. p. 3-13.

SANTOS, D. M. B. Efeitos da subsolagem mecânica sobre a estrutura de um solo de “tabuleiro” (Latossolo amarelo álico coeso) no município de Cruz das Almas – Bahia. Salvador. 1992. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1992.

SÃO JOSÉ, A. R. Tratos culturais do mamoeiro. In: MENDES, L. G.; Dantas, J. L. L.; MORALES, C. F. G. *Mamão no Brasil*. Cruz das Almas-BA: UFBA/Embrapa-CNPMF, 1996. p. 21-26.

SECEX/DTIC. Comparativo das exportações brasileiras de frutas frescas-2002/03. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br>>. Acesso em: 14 de março de 2005.

SEGINER, I.; KOSTRINSKY, M. Wind sprinkler patterns and system design. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 101, n. IR4, p. 251-264, 1975.

SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; SILVA, M. L. O.; COSTA, H. S. C.; GARCIA, P. T. Produtividade da três primeiras safras do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. In: simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, 5., 2002. Araquari-MG, **Anais...** Araquari-MG, 2002. p. 29-32.

SILVA, J. G. F.; COELHO, E. F. Irrigação do mamoeiro. In: MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. *A cultura do mamoeiro*: tecnologias de produção. Vitória-ES: Incaper, 2003. p. 163-199.

SILVA, J. G. F. *Efeitos de diferentes lâminas e freqüências de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade do mamoeiro (Carica papaya L.)*. 1999. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999. 90 p.

SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; LIMA, D. M.; SANTOS, D. B. Absorção de água pelo sistema radicular do mamoeiro irrigado por diferentes sistemas de microaspersão. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11, 2001, Fortaleza-CE, **Anais...** Fortaleza, 2001. p. 6-11.

SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S.; CRUZ, M. A.; COELHO FILHO, M. A. Efeitos da temperatura do ar e de diferentes lâminas de irrigação no índice de floração e no pegamento de frutos do mamoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12, 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABID, 2002 (CD-ROM).

SIQUEIRA, D. L.; BOTREL, N. Clima e solo para a cultura do mamoeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 134, p. 8-9, 1986.

SMAJSTRLA, A. G.; BOMAN, B. J. *Flushing procedures for microirrigation systems*. Florida Cooperative Extension Service. University of Florida, 1999. p. 7. (Bulletin, 333).

SOLOMON, K. H.; KINCAID, D. C.; BEZDEK, J. C. Drop size distribution for irrigation spray nozzles. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 6, p. 1966-1974, 1985.

SOUZA, L. S.; COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G. *Exigências edafoclimáticas*. Mamão – produção e aspectos técnicos. Embrapa Mandioca Fruticultura, 2000. p. 16-17.

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

TEIXEIRA, A. H. C. Uso de estações meteorológicas no manejo de irrigação de frutíferas. ITEM. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, n. 51, p. 22-26, 2001.

TUCCI, C. E. Desenvolvimento tecnológico e o futuro da agricultura irrigada. ITEM. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, n. 50, p. 28, 2001.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. Irrigação localizada. Tradução de GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F.A.V.; SILVA JR. L.G.A. Campina Grande: UFPB, 1997. 184 p. (Estudos FAO, 36, 1980).

VIEGAS, P. R. A. *Características químicas e físicas do mamão (Carica papaya L.) cultivares Sunrise Solo e Formosa relacionadas ao ponto de colheita*. 1992. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

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

VILLAS BÔAS, R. L.; BULL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. *Fertirrigação – Citrus. Flores. Hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 293-319.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation application efficiency and schedules. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 26, n. 1, p. 92-99, 1983.