UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE MESTRADO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ANTÔNIA BRUNA MESQUITA MACEDO

PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DA BANANEIRA CV. PACOVAN KEN SOB DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO

FORTALEZA-CE
2008

ANTÔNIA BRUNA MESQUITA MACEDO

PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DA BANANEIRA CV. PACOVAN KEN SOB DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Dr. Fábio Rodrigues de Miranda

FORTALEZA-CE
2008

ANTÔNIA BRUNA MESQUITA MACEDO

PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DA BANANEIRA CV. PACOVAN KEN SOB DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO

Dissertação submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 30/09/2008

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Fábio Rodrigues de Miranda, Ph.D. (Orientador)
Embrapa Agroindústria Tropical/Universidade Federal do Ceará – UFC

_____

Prof. Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho (Conselheiro)
Universidade Federal de Goiás – UFG

_____

Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira, Ph.D. (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará – UFC

A minha mãe, sustentáculo da minha existência, pela presença constante, mesmo ausente fisicamente, pela alegria irradiada em todos os momentos, pela força transmitida em cada ação, pelo amor incondicional, pela luta cotidiana e pelo exemplo de vida que representa.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade concedida.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pelo auxílio financeiro, na forma de bolsa de formação acadêmica.

Ao Banco do Nordeste pelo apoio financeiro para realização do Projeto.

Á Embrapa Agroindústria Tropical pelo incentivo para realização desse trabalho.

Ao professor e orientador Fábio Rodrigues de Miranda, não somente pela qualidade na orientação imprescindível ao trabalho, mas ainda pela receptividade, compreensão e ajuda durante esse período.

Aos membros da banca, Prof. Adunias dos Santos Teixeira e Raimundo Rodrigues Gomes Filho por suas valiosas considerações para finalização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente participaram e contribuíram de forma indispensável para o desenvolvimento da pesquisa, principalmente Rubens Sonsol Gondim, Francisco José Firmino Canafístula, Prof. Renato Sílvio da Frota Ribeiro, Carlos Alexandre Costa, Carmem Cristina Mareco e Maria Gabrielle Santana.

Aos meus pais Anchieta Aragão Macedo e Maria de Fátima Mesquita Macedo, por tudo que representam em minha vida, por acreditar e apoiar meu crescimento profissional, além do amor incondicional.

Ás minhas irmãs, Fabíola, Vitória e Raquel pelas palavras de força e apoio, as minhas sobrinhas, Clara e Bárbara pelo sorriso cativante e alegria de viver.

A toda minha família, em especial minha tia Iria Aragão Macedo pelo acolhimento e por proporcionar essa realização, minha prima Iara Macedo pela irmandade, amizade e convívio durante todo esse tempo, e ao primo Cláudio Filho pelas conversas e brincadeiras.

Aos colegas do Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem (CMID) pelo companheirismo, estudo e amizade até o último dia da pós-graduação, em especial as amigas Danielle, Clemilda, Leila e Fabilla, e aos amigos Alexandre, Dimas, Fernando, Felipe, Abelardo e Jefferson.

Às amigas, Lêda Lima pelo carinho, positividade e apoio nos momentos mais difíceis, e Anatália Albuquerque pela amizade de sempre.

A todos os professores que fazem o Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, em especial ao Prof. Claudivan Feitosa de Lacerda.

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi determinar o efeito de diferentes tensões de água no solo sob o crescimento, a produção e a eficiência de uso da água na cultura da banana. O experimento foi realizado em um Cambissolo, localizado no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi, Limoeiro do Norte - CE (latitude 05°08 'S, longitude 37°59' W, Altitude 160 m), no período de novembro de 2005 a abril de 2007. Utilizou-se a cultivar de banana Pacovan Ken, irrigada por microaspersão. Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em iniciar as irrigações quando a tensão da água na zona radicular da cultura (0-0,4 m) atingisse 15, 30, 45 e 60 kPa. Um sistema automático de controle em malha fechada, composto por sensores, multiplexadores, um datalogger e um controlador de carga, foi utilizado para monitorar as tensões da água no solo e controlar as irrigações, acionando uma motobomba centrífuga sempre que a tensão da água no solo atingisse o nível pré-estabelecido para cada tratamento. Três sensores de resistência elétrica tipo matriz granular (modelo Watermark®) foram instalados em cada parcela, a uma distância de 0,50 m do pseudocaule das plantas, nas profundidades de 0,15; 0,30 e 0,50 m. A cultura foi avaliada durante dois ciclos quanto ao crescimento (altura e circunferência do pseudocaule); produção de frutos (número de frutos por palma, número de frutos por cacho, número de palmas por cacho, peso médio do fruto e produtividade), e eficiência de uso da água. As variáveis altura da planta e circunferência do pseudocaule foram significativamente reduzidas ($P<0,05$) quando a tensão de água no solo para o início das irrigações foi mantida acima de 45 kPa. Com relação às variáveis relacionadas à produção da cultura, o número de frutos por palma foi o único que não apresentou diferença estatística entre as tensões estudadas nos dois ciclos de produção, já o número de frutos por cacho, número de palmas por cacho, e produtividade, não foram significativamente diferentes ($P<0,05$) para os níveis de tensão até 45 kPa, apresentando diminuição quando a tensão de água no solo na zona radicular da cultura foi mantida em 60 kPa. O peso médio do fruto também diminuiu quando a irrigação foi aplicada no nível de tensão de 60 kPa. A maior eficiência de uso da água (27,1 kg ha^{-1} mm^{-1}) foi obtida iniciando-se as irrigações quando a tensão da água no solo atingiu 60 kPa. No entanto, a maior receita líquida, foi obtida iniciando-se as irrigações quando a tensão de água no solo atingiu 15 kPa.

Palavras-chave: *Musa* spp., manejo de irrigação, potencial matricial

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of different soil water tensions on banana growth, production and water use efficiency. The experiment was carried out from November 2005 to April 2007, in a Cambisol, located in the Irrigation District of Jaguaribe-Apodi, Limoeiro do Norte - CE (latitude 05 ° 08 'S, longitude 37 ° 59' W, altitude 160 m). It was used the banana cultivar Pacovan Ken, irrigated by microirrigation. It was adopted the experimental design of randomized blocks, with four treatments and four replications. The treatments consisted of starting irrigation when soil water tension in the crop root zone (0-0.4 m) reached 15, 30, 45 and 60 kPa. A closed loop automatic control system , consisting of sensors, multiplexers, a datalogger and a load controller, was used to monitor the soil water tension and control irrigation, by triggering a water pump when the soil water tension reached the level pre-established for each treatment. Three electrical resistance type granular matrix sensors (model Watermark®) were installed in each plot at a distance of 0.50 m of plants, at depths of 0.15, 0.30 and 0.50 m. The crop was evaluated during two cycles for growth (height and circunference of the pseudostem); fruit production (number of fruit per palm, number of fruits per bunch, number of palms per bunch, average weight of the fruit and fruit yield) and water use efficiency. The variables plant height and circumference of the pseudostem were significantly reduced ($P<0.05$) when soil water tension the remained above of 45 kPa. With respect to the production parameters, the number of fruit per palm was the only one who did not present statistical difference between the tensions studied in the two production cycles, since the number of fruits per bunch, number of palms per bunch and yield, were not significantly different ($P<0.05$) for tension levels of up to 45 kPa, but decreasing when soil water tension in the root zone was allowed to reach 60 kPa. The average weight fruit also decreased when irrigation was applied for the 60 kPa tension level. The highest water use efficiency (27.1 kg ha^{-1} mm^{-1}) was achieved when soil tension was allowed to reach 60 kPa. However, the highest net income, was obtained starting up irrigation when soil water tension reached 15 kPa.

Key words: *Musa* spp., irrigation scheduling, matric potential

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Imagem de satélite da área experimental localizada no DIJA..... 23
FIGURA 2 Curva de retenção de água do solo na camada de 0-0,20 m..... 26
FIGURA 3 Curva de retenção de água do solo na camada de 0,20-0,40 m..... 26
FIGURA 4 Mudas de banana recém transplantadas para o campo (a) e 70 dias após o plantio (b)..... 28
FIGURA 5 Croqui da área experimental com os quatros tratamentos de tensões (15, 30, 45 e 60 kPa) e suas repetições*. 29
FIGURA 6 Sistema de bombeamento (a) e cabeçal de controle do sistema de irrigação localizada (b)..... 30
FIGURA 7 Hidrômetros utilizados para o monitoramento das lâminas de irrigação aplicadas. 31
FIGURA 8 Diagrama esquemático do sistema de aquisição de dados e controle das irrigações. 32
FIGURA 9 Sensor de umidade Watermark® modelo 200SS utilizado na área experimental..... 33
FIGURA 10 Bateria de sensores de umidade instalados na parcela experimental, nas profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m. 33
FIGURA 11 Datalogger CR10X (a), multiplexador AM 16/32 (b) e controlador de carga SDM-CD16AC (c) utilizados para o controle automático das irrigações. 35
FIGURA 12 Transferência de dados para um microcomputador, pelo software PC208W..... 35
FIGURA 13 Medições da circunferência do pseudocaule (a) e da altura da planta (b) no campo. 38
FIGURA 14 Altura da bananeira cv. Pacovan Ken em função das lâminas de irrigação aplicadas. 44
FIGURA 15 Circunferência do pseudocaule da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas. 45
FIGURA 16 Número de frutos por cacho da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas. 48
FIGURA 17 Número de palmas por cacho da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas. 49
FIGURA 18 Produtividade da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas. 49
FIGURA 19 Peso médio do fruto da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas. 51
FIGURA 20 Eficiência do uso da água em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas. 52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Médias climáticas diárias medidas na estação meteorológica do CENTEC, no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi, de Novembro/2005 a Abril/2007 24

TABELA 2 Características físico-químicas do solo da área experimental na camada de 0 - 0,20 m. 25

TABELA 3 Nutrientes e fertilizantes aplicados em cobertura durante a realização do experimento. 27

TABELA 4 Lâminas de irrigação, Volume de água aplicado por planta (VPL), precipitações (PPT) e evapotranspiração de referência (ETo), encontrados na área experimental durante dois ciclos de produção da bananeira cv. Pacovan Ken. 42

TABELA 5 Análise de variância da altura da planta (APL) e da circunferência do pseudocaule a 0,30 m do solo (CPC), para a bananeira cv. Pacovan Ken submetida a diferentes tensões de água no solo. 43

TABELA 6 Médias* de altura da planta e da circunferência do pseudocaule a 0,30 m do solo, para a bananeira cv. Pacovan Ken submetida a diferentes tensões de água no solo. 43

TABELA 7 Análise de variância das variáveis de rendimento: produtividade (PROD), peso médio do fruto (PMF), número de frutos por cacho (NFC), número de palmas por cacho (NPC) e número de frutos por palma (NFP), para a bananeira cv. Pacovan Ken submetida a diferentes tensões de água no solo. . 46

TABELA 8 Médias* das variáveis de rendimento: produtividade (PROD), peso médio do fruto (PMF), número de frutos por cacho (NFC), número de palmas por cacho (NPC) e número de frutos por palma (NFP), para a bananeira cv. Pacovan Ken submetida a diferentes tensões de água no solo. 47

TABELA 9 Eficiência de uso da água (EUA) para a cultura da banana cv. Pacovan Ken em função de diferentes tensões de água no solo. 51

TABELA 10 Custos e receitas obtidas para 1,0 hectare de banana cv. Pacovan Ken cultivada no DIJA, em dois ciclos de produção. 53

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 8
LISTA DE TABELAS 9
1 INTRODUÇÃO 11
2 REVISÃO DE LITERATURA 13
2.1 A irrigação na cultura da banana 13
2.2 Eficiência de uso da água 14
2.3 Manejo da irrigação através da determinação da umidade do solo 16
2.3.1 Tensiometria 16
2.3.2 Moderação de nêutrons 17
2.3.3 Constante dielétrica 17
2.3.4 Resistência elétrica 18
2.4 Automação 20
2.5 Análise Econômica 22
3 MATERIAL E MÉTODOS 23
3.1 Caracterização da área experimental 23
3.2 Características físico-hídricas e químicas do solo 24
3.3 Instalação do experimento 27
3.4 Delineamento experimental 28
3.5 Sistema de aplicação de água 29
3.6 Sistema automático de monitoramento da tensão da água no solo e controle das irrigações 31
3.6.1 Sensores de umidade e de temperatura do solo 32
3.6.2 Sistema de aquisição de dados 34
3.6.3 Manejo da irrigação 36
3.7 Avaliações 38
3.7.1 Desenvolvimento da cultura 38
3.7.2 Rendimento da cultura 38
3.8 Análise estatística 39
3.9 Eficiência de uso da água 39
3.9 Análise econômica 39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 42
4.1 Desenvolvimento das plantas 43
4.2 Características de produção 45
4.3 Eficiência do uso da água 51
4.4 Análise econômica 53
5 CONCLUSÕES 54
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 55
ANEXO 62
APÊNDICE 63

1 INTRODUÇÃO

A bananeira é uma frutífera bastante sensível ao déficit hídrico no solo, seu potencial produtivo depende de uma apreciável taxa de transpiração e boa uniformidade de distribuição de umidade durante todo o ano, não sendo fácil encontrar condições ecológicas naturais que satisfaçam todas as suas exigências (FIGUEIREDO et al., 2006). A necessidade de manter esses valores adequados de umidade no solo e impulsionar o rendimento da cultura fica progressivamente mais importante à medida que o clima se torna mais seco e mais quente (ROBINSON, 2000).

Uma alternativa tecnológica para contornar esse problema de disponibilidade de água é o emprego da irrigação, visando assegurar o aumento da produtividade, tanto em quantidade como em qualidade dos produtos (GOMIDE, 2002). No entanto, essa irrigação não pode e não deve ser entendida, única e exclusivamente, como um procedimento artificial para atender às condições de umidade do solo, mas sim composta de um conjunto de elementos que se integram, sendo seu processo de controle uma das principais etapas para seu bom desempenho.

Apesar de décadas de domínio da tecnologia do manejo de aplicação de água na agricultura irrigada, até hoje a maior parte dos produtores de banana no Vale do Baixo-Jaguaribe não as utilizam, provavelmente em virtude de um maior requerimento de capacitação, devido ao aumento de informações e decisões necessárias, além da conseqüente elevação dos custos de produção. O que advém desse problema é geralmente a aplicação incorreta da quantidade de água , maior consumo de energia, contaminação das águas subterrâneas e do ambiente, salinização dos solos, redução de produção e algumas vezes o fracasso total do empreendimento.

Na literatura, existem recomendações de freqüências fixas de irrigação para cada cultura, embora possa ser prático no sentido de programação das operações, esse método apresenta falhas, uma vez que as condições climáticas são variáveis de um dia para o outro. Desse modo, existe a necessidade do uso de métodos de campo que determinem, direta ou indiretamente, a disponibilidade hídrica do solo para as culturas, de acordo com as condições ambientais predominantes durante o desenvolvimento das plantas.

Várias alternativas vêm sendo utilizadas para a decisão do momento certo de se iniciar uma irrigação ou de terminá-la, baseando-se nas características do solo relacionadas à umidade,

como por exemplo, a resistência elétrica, a constante dielétrica, a capacidade de atenuação de nêutrons, a tensiometria, dentre outras.

Entre os equipamentos mais utilizados para determinar a disponibilidade de água no solo estão citados os tensiômetros e os sensores de resistência elétrica do tipo matriz granular. Os tensiômetros apresentam limitações para o uso em sistemas automatizados de controle da irrigação em virtude da necessidade freqüente de manutenção (SCHMUGGE et al., 1980). Já os sensores do tipo matriz granular são relativamente baratos, não requerem manutenção e podem ser facilmente conectados a sistemas eletrônicos de aquisição de dados e de controle, possibilitando a automação total do sistema de irrigação.

Essa automação se bem programada, apresenta algumas vantagens em relação aos sistemas tradicionais que demandam mão-de-obra para serem acionados, pois além do custo de se dispor de operadores para essa função, o acionamento manual se torna irregular, podendo provocar a irrigação excessiva do solo, causando a lixiviação ou a irrigação deficiente, permitindo que se esgote grande parcela da água disponível armazenada entre uma irrigação e outra (MEDICE, 1997).

No entanto, para a melhoria da qualidade de aplicação da água via irrigação, não basta ter em mãos equipamentos modernos e com alto potencial de eficiência, sem que haja conhecimentos fundamentais para seu bom funcionamento. Quando realizado o manejo da irrigação através do monitoramento da tensão da água no solo, torna-se de suma importância o conhecimento da faixa de tensão que pode ser mantida no solo, sem comprometer o desenvolvimento e a produção da cultura.

Nessa intenção de buscar soluções que otimizem o manejo da irrigação, torna-se viável a implantação de pesquisas de campo utilizando recursos eletrônicos que relacionem a resposta da cultura às diferentes tensões de água no solo nas condições locais, possibilitando estabelecer recomendações seguras aos produtores. Assim, o objetivo do presente estudo foi determinar o efeito de diferentes tensões de água no solo sob o crescimento, a produção e a eficiência de uso da água da bananeira cv. Pacovan Ken.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A irrigação na cultura da banana

A banana (*Musa* spp.) é uma das frutas com maior volume comercializado internacionalmente, estando presente em mais de 120 países, ocupando cerca de 9 milhões de hectares. No Brasil, sua produção está distribuída em todas as regiões, e o Nordeste vem despontando como uma das áreas que mais tem atraído investimentos da bananicultura irrigada por sua alta produtividade no clima semi-árido, além da grande importância alimentícia, social e econômica.

O Estado do Ceará ampliou sua área cultivada, melhorou a produtividade e a qualidade dos frutos e reduziu a infestação de pragas e doenças. Em alguns agropólos, como o do Baixo Jaguaribe, existem áreas consideráveis com a cultura da banana, onde são obtidas produtividades elevadas, o que dá a demonstração do potencial e da competitividade desse agronegócio (BORGES et al., 2003). Por ser uma cultura perene de elevada demanda hídrica, sua irrigação é responsável por grande parte do consumo de água dessa região, enfatizando a importância da melhoria da eficiência de uso da água.

Em grande parte das regiões onde a bananeira é cultivada, a precipitação pluvial é insuficiente para um satisfatório crescimento e desenvolvimento, causando reduções na quantidade e qualidade de seus frutos (OLIVEIRA et al., 1997). Essa deficiência hídrica é muito prejudicial à cultura, em particular quando esta ocorre no período de formação da inflorescência ou no início da frutificação (DOOREMBOS & KASSAM, 1994)

A má distribuição temporal e a forma aleatória com que ocorrem as precipitações devem ser suplementadas através de irrigações bem programadas. Pois sem um manejo adequado dessa irrigação, não é possível alcançar a maximização do potencial produtivo das plantas cultivadas, não havendo assim perspectivas promissoras para a bananicultura, seja qual for o método de irrigação empregado (BARRETO et al., 1983).

Dentre os métodos de manejo de irrigação mais utilizados na cultura da banana destaca-se, o Tanque Classe A, em função do seu baixo custo, e os métodos que utilizam registros históricos de dados climáticos para estimativa da evapotranspiração e demanda diária de irrigação em função da época de plantio da cultura. No entanto, esses métodos apresentam algumas limitações em relação ao que se baseia no monitoramento da disponibilidade de água no solo, uma vez que as condições climáticas são extremamente variáveis.

De acordo com Phene & Howell (1984), o monitoramento da tensão de água no solo é uma das formas mais adequadas de manejo para sistemas de irrigação capazes de aplicar água com alta freqüência, como os sistemas de microirrigação utilizados na cultura da bananeira. Trochoulias & Benson (1973) conseguiram os melhores resultados de produtividade da bananeira quando a umidade do solo foi mantida próximo da capacidade de campo, durante três anos, na Estação Experimental de Alstonville Tropical Fruit.

Em estudos realizados por Teixeira (2001a) na estação experimental da Embrapa Semi-Árido, localizada em Petrolina-PE, para quantificar a demanda de água da banana Pacovan irrigada por microaspersão, obteve uma demanda de 1210 mm para o período de 437 dias após o plantio (DAP), correspondendo a um valor médio de 4,0 $mm.dia^{-1}$; e para o intervalo correspondente a 438 e 658 DAP, o consumo de água foi de 880 mm, equivalendo a um valor médio de 4,2 $mm.dia^{-1}$.

Segundo Alves et al. (1997) as maiores produções de bananeira estão associadas a uma precipitação anual de 1.900 mm, sendo necessárias precipitações de 100 a 180 mm por mês, bem distribuídas, para obtenção de colheitas economicamente rentáveis. Silva et al. (2003), trabalhando com irrigação suplementar na cultura da banana em um período de 15 meses, encontrou para a região de Goiânia demanda total de água requerida pela planta de 1544 mm, correspondente a 103 $mm.mês^{-1}$, valor próximo aos encontrados por Lima & Meirelles (1986) e Simmonds (1966).

Costa & Coelho (2003) conseguiram aumentar a produtividade das cultivares Prata Anã e Grand Naine em 10 e 15%, respectivamente, aumentando o nível de irrigação em aproximadamente 85%. Com isso, observa-se que o incremento na produtividade da cultura ocorre numa proporção menor que o incremento do nível de água, sendo necessário estabelecer limites adequados para a utilização do recurso hídrico, sem que ocorra prejuízos para o desenvolvimento da cultura.

2.2 Eficiência de uso da água

No último século, a evolução do quadro de escassez dos recursos hídricos no Brasil promoveu a mudança do gerenciamento da oferta de um recurso até então tido como abundante. A situação torna-se mais dramática em áreas críticas do semi-árido, como no caso do Ceará, que passa por um processo de transformação na condução da sua agricultura irrigada, vista como a principal forma de incrementar a produção, renda e emprego no campo.

Nesse sentido, novos paradigmas foram introduzidos para a gestão dos recursos hídricos, suscitando discussões acerca da melhoria da eficiência de uso da água, isto é, como incrementar a produção por unidade de água consumida. Calvache et al. (1997) citam que o uso eficiente da água pelas culturas agrícolas depende, sobretudo, das condições físicas do solo, das condições atmosféricas, do estado nutricional das plantas, de fatores fisiológicos, da natureza genética e do seu estádio de desenvolvimento.

Segundo Coelho et al. (2005) a otimização dessa eficiência para a sustentabilidade dos recursos hídricos pode ser alcançada de duas formas: com base nas curvas de respostas físicas da produtividade e da eficiência de uso da água (EUA), onde a EUA é calculada pela razão entre a produtividade e a quantidade de água aplicada na cultura; e a outra forma é criando meios de reduzir a lâmina aplicada trabalhando favoravelmente nos fatores que reduzem a evapotranspiração da cultura (ETc), basicamente pelo aumento da resistência estomática com práticas de sombreamento, isto é a resistência de abertura dos estômatos nas folhas, ou pela resistência aerodinâmica das plantas através da utilizando quebraventos, que é a resistência ao transporte de massas de ar na vegetação.

No primeiro caso, o aumento da EUA pode ser feito atuando-se no numerador da razão, aumentando a produtividade para a mesma quantidade de água aplicada ou reduzindo o denominador da razão, isto é, a lâmina aplicável de forma a não diminuir, significativamente, a produtividade, o que implicaria na manutenção de uma alta eficiência da irrigação.

Na Bacia do Jaguaribe, em especial nos cultivos perenes, onde o investimento é maior e requer um período de maturação dos cultivos para retorno do capital investido, há uma grande necessidade de se dispor de informações que possibilitem o controle e a decisão automática do início e término das irrigações, que atendam requisitos mínimos de eficiência aliados a economia de energia e racionalização do uso da água, estabelecendo uma relação benefício/custo favorável.

Segundo Hernandez (1994), existem várias metodologias e critérios para estabelecer programas de irrigação, que vão desde simples turnos de rega a completos esquemas de integração do sistema solo-água-planta-atmosfera. Uma redução dessa lâmina de irrigação aplicada proporcionaria uma diminuição no número de horas de funcionamento dos sistemas, com uma economia no consumo de energia elétrica, permitindo minimizar impactos ambientais e aumentar a atratividade da atividade agrícola.

2.3 Manejo da irrigação através da determinação da umidade do solo

A umidade do solo é extremamente variável com o tempo, aumentando com a chuva ou com a irrigação e diminuindo com a drenagem ou com a evapotranspiração (REICHARDT, 1987). As propriedades do solo, as práticas culturais e de manejo do solo, a quantidade e intensidade de aplicação de água e o estágio de desenvolvimento das culturas também são fatores que afetam a umidade do solo (PALTINEANU & STARR, 1997) apud LEÃO (2004).

Vários métodos podem ser utilizados para sua determinação, os quais são classificados em diretos e indiretos, conforme forneçam diretamente ou através de estimativas a umidade do solo. Os principais métodos diretos são o método padrão da estufa (REICHARDT, 1987) e o da pesagem (BERNARDO, 1989). Já entre os métodos indiretos destacam-se: resistência elétrica, constante dielétrica, moderação de nêutrons, atenuação da radiação gama e tensiometria (MIRANDA & PIRES, 2001).

A possibilidade de determinação instantânea da umidade torna os métodos indiretos mais adequados para o manejo da irrigação. Segundo Brandelik & Hübner (1996), todos os métodos disponíveis apresentam alguma desvantagem que os afasta do ideal. Coelho (2003) afirma que o melhor método dependerá dos objetivos desejados, da disponibilidade, da precisão e de outros fatores que possam indicá-lo.

2.3.1 Tensiometria

A tensiometria é uma das técnicas de monitoramento da quantidade de água no solo mais acessíveis para o manejo de irrigação, por ser uma alternativa barata e de fácil instalação no campo. Os sensores utilizados nesse método, os tensiômetros, são constituídos de uma cápsula porosa, geralmente de material cerâmico, conectada através de um tubo a um manômetro, com todas as partes preenchidas com água, fornecendo de forma direta o potencial ou a tensão de água no solo e de forma indireta sua umidade. Seu princípio de funcionamento baseia-se na formação do equilíbrio entre a solução do solo e a água contida no interior do aparelho.

No entanto, diversos autores em estudos realizados ao longo do tempo relacionam algumas desvantagens da utilização desse método. Segundo Libardi (1999) uma das principais desvantagens é sua limitação de funcionamento na faixa de 0 a 85 kPa de tensão, razão pela qual cobre apenas uma parte da “água útil do solo”, embora normalmente o solo seja irrigado antes dessa tensão ser atingida. Schmugge et al. (1980) destacam outros problemas, com a

possível contaminação do solo e da água com derramamento do mercúrio metálico; a barreira física que o manômetro de mercúrio representa em áreas mecanizadas e necessidade freqüente de manutenção. Por estas razões, o tensiômetro não é um sensor adequado para a automatização de sistemas não assistidos.

Assis Júnior (1995) menciona ainda que as leituras feitas manualmente são incomodas e consomem tempo, principalmente em situações que muitos tensiômetros são instalados em campo, pois o tempo decorrido para se tomar mais de uma leitura por dia é desanimador e a opção por menor freqüência dessas leituras exclui detalhes do estudo do movimento da água no solo.

2.3.2 Moderação de nêutrons

A moderação de nêutrons é um método de determinação da umidade do solo bastante preciso, é constituído basicamente de uma sonda e de um contador, emitindo nêutrons rápidos que após se chocarem com os átomos de hidrogênio das moléculas de água presentes no solo, retornam lentos à sonda, onde um detector faz sua contagem. Quanto maior a umidade do solo, maior a presença de átomos de hidrogênio, e conseqüentemente maior o número de nêutrons lentos.

Miranda & Pires (2001) citam como limitações o custo elevado, necessidade de calibração para cada solo e utilização de elementos radioativos que implicam cuidados na sua operação. Yoder et al. (1998) apresentam ainda como desvantagem, o fato de o equipamento não poder ser deixado no campo, tornando difícil o seu uso na obtenção de dados remotos ou no controle de sistemas de irrigação.

2.3.3 Constante dielétrica

As técnicas baseadas em propriedades dielétricas são bastante utilizadas atualmente, consistindo em grande número de sistemas comerciais com diversas características específicas de design, resolução, precisão e preço.

Dentre as técnicas dielétricas as mais sofisticadas são as que utilizam o princípio da reflectometria no domínio do tempo (TDR) onde é medido o tempo de propagação de ondas eletromagnéticas, em uma haste metálica inserida no interior do solo. Entretanto, os equipamentos que utilizam essa técnica são relativamente caros e sofisticados, limitando sua aplicação mais ampla. Um outro grupo de equipamentos também utiliza o princípio da medida

de propriedades dielétricas, mas no domínio da freqüência (FDR), muito mais simples do ponto de vista eletrônico, mas com algumas desvantagens como uma maior dependência da salinidade e do tipo de solo (RABELLO et al., 2005).

2.3.4 Resistência elétrica

A utilização de sensores eletrônicos para determinação da tensão de água no solo tem sido cada vez maior, pela importância que esse monitoramento representa para o desenvolvimento das plantas e manejo racional da irrigação. O sensor utilizado para a medida da resistência elétrica do solo é constituído basicamente de dois eletrodos inseridos em um bloco poroso. Quando o bloco entra em contato com o solo, a água da solução do solo desloca-se para o seu interior, buscando o equilíbrio, e quanto mais úmido estiver esse bloco, menor será sua resistência à passagem de corrente elétrica.

Miranda (2003) cita que os sensores tipo resistência elétrica podem ser de gesso, nylon, fibra de vidro ou outros materiais, embora os mais usados sejam os de blocos de gesso e de matriz granular. O bloco de gesso é um instrumento simples e de baixo custo, mas o elemento sensor sofre deterioração com o tempo devido à interação com os compostos físico-químicos do solo (SELKER et al., 1993).

Eldredge et al. (1993) afirmam que os sensores de matriz granular apresentam uma tecnologia capaz de reduzir os problemas de solubilidade apresentados pelos blocos de gesso, não obstante os mesmos contenham em sua constituição o gesso, mas em pequena quantidade e na camada mais íntima entre os eletrodos, encontrando-se protegido no interior da matriz granular formada por materiais na sua maioria não solúveis na solução do solo.

Um dos sensores do tipo resistência elétrica mais utilizados é o de matriz granular da marca Watermark® modelo 200SS, fabricado pela Irrometer Company, Riverside – Califórnia, apresentando amplitude segundo seu fabricante em relação à tensão do solo de 0 a 200 kPa, a qual cobre quase a totalidade da umidade do solo utilizada na agricultura irrigada. Araújo (2008) relata que os sensores Watermark® se apresentaram funcionais mesmo em condições extremas de textura do solo.

A utilização desses tipos de sensores pode ser uma alternativa prática e econômica. Miranda (2003) cita algumas particularidades em relação aos sensores do tipo resistência elétrica, como a não necessidade de manutenção periódica, o que seria uma grande vantagem, principalmente para sua utilização em sistemas de irrigação automatizados; no

entanto, há necessidade de um fator de correção para maior precisão da resposta destes sensores, visto que é afetado pela temperatura e a necessidade de calibração.

Outros trabalhos destacam a importância de uma rígida calibração e que mesmo assim não apresentam a precisão exigida em trabalhos de pesquisa. No entanto para o manejo de irrigação poderá ser uma alternativa interessante, pois muitas vezes a variabilidade espacial do solo e conseqüentemente o teor de água no solo variam mais do que o erro que o sensor apresenta. Com relação às calibrações existentes para esses tipos de sensores, são encontradas duas equações principais, de Thomson e Armstrong (1987) e de Shock et al. (1996).

Equação de Thomson e Armstrong (1987):

$$T = \frac{R}{0{,}474483 - 0{,}0138697.t + 0{,}000147019.t^2 - 0{,}01306.R}$$

Equação de Shock et al. (1996):

$$T = \frac{2{,}678 + 0{,}003892.R}{1 - 0{,}01201.t}$$

Em que:
T = tensão de água no solo (kPa);
R = resistência elétrica do sensor (KΩ);
t = temperatura do solo (ºC).

Bausch & Bernard (1996) compararam a tensão de água no solo a partir da resistência do sensor de umidade Watermark® e da temperatura do solo, com os valores encontrados por tensiometria, obtiveram melhores resultados quando utilizada a equação de Shock et al. (1996) em relação à equação de Thomson e Armstrong (1987). Segundo Araújo (2008) as duas equações se mostram eficazes para a determinação da tensão de água no solo.

A variação de comportamento desses sensores pode ser atribuída a vários fatores, dentre eles podemos destacar: instalação inadequada, variação espacial das características físicas do solo, e interação com meio ambiente. Esse componente eletrônico apresenta também variação na sua resistência elétrica em função da temperatura a que ele é submetido,

necessitando que essa grandeza seja monitorada utilizando conjuntamente sensores de temperatura do solo.

Com relação a sua instalação, eles devem ser dispostos de modo que possam amostrar adequadamente a tensão da água no solo. Para que a amostragem seja satisfatória, deve ser instalado um número adequado de sensores para se estimar uma média da umidade no solo, pois solos em locais com baixa densidade de raízes permanecem úmidos por um longo tempo, e em regiões onde essa densidade se torna mais elevada, podem secar rapidamente. Sendo de fundamental importância o conhecimento da distribuição do sistema radicular da cultura para o manejo correto dessa irrigação, orientando na localização tanto dos sensores de umidade, como dos emissores (MONTENEGRO et al., 2005).

2.4 Automação

A determinação *in situ* do conteúdo de umidade do solo é de considerável interesse para a irrigação de precisão. Esse interesse tem levado ao desenvolvimento de novas tecnologias, e com a evolução cada vez maior da informática nos dias de hoje, há uma crescente utilização de sistemas informatizados no manejo da irrigação, e grande parte dessas inovações tecnológicas tem como princípios básicos dispositivos eletrônicos.

O propósito de qualquer sistema de controle é regular uma ou mais variáveis dinâmicas de um processo, e o controle automático da irrigação é um passo a frente da tecnologia de calendário de irrigação. A automação tem sido neste século, uma tecnologia de profunda repercussão, cuja importância provém não só de substituir o trabalho humano nas tarefas monótonas e/ou cansativas, mas também, e principalmente, do fato de permitir sensível melhoria na qualidade dos processos, com pequena elevação no custo do equipamento (CASTRUCCI, 1969).

Com a automação, os controladores desenvolvidos são capazes de acionar ou desligar os sistemas de irrigação a partir dos dados enviados continuamente pelos sensores de umidade do solo. Esses sensores são utilizados para detectar estímulos ou sinais de natureza física como pressão, umidade, luminosidade, etc., bem como quantificá-los. Quando estes estímulos são convertidos em uma grandeza elétrica como tensão, corrente, etc., tornando possível a comunicação com sistemas de aquisição de dados, então estes sensores são também denominados transdutores (HOROWITZ & HILL, 1989) apud LEÃO (2004).

Existe uma gama considerável de opções de sistemas de aquisição de dados, e a escolha do sistema adequado depende essencialmente do tipo de grandeza a ser medida e do objetivo da medida. Com base nestes dois parâmetros é possível definir características como: velocidade da medição, número de grandezas distintas, exatidão e a configuração do sistema, determinando os tipos de componentes utilizados.

Um sistema de aquisição de dados envolve um programa para a leitura de sinais com o uso de microcomputadores. Através de conversores, sinais de tensão elétrica são digitalizados, sendo assim lidos no computador. Estes sinais de tensão elétrica podem ser gerados por uma grande variedade de sensores, e através de uma conversão adequada, a grandeza de interesse pode ser lida diretamente no programa. O programa é responsável pelo controle do sistema, permitindo ao usuário comandar e monitorar o processo de aquisição dos dados, armazenando os sinais captados na forma de arquivos que podem ser posteriormente analisados.

Segundo Gornat e Silva (1990) apud Maciel (2005), a automatização do sistema de irrigação apresenta as seguintes vantagens:

a) Melhor administração da propriedade ou projeto agrícola: controle centralizado, tomada de decisão automática, monitoração ou supervisão da operação do sistema, obtenção do histórico completo das aplicações de água e fertilizantes;

b) Obtenção de maiores produtividades a um menor custo: controle preciso do tempo de aplicação da irrigação, irrigações sob condições ótimas, medições precisas das quantidades de água e fertilizante;

c) Economia de mão-de-obra: abertura e fechamento automático de válvulas e registros, operação automática de bombas de recalque e de reforço;

d) Economia de água;

e) Economia de energia;

f) Economia de fertilizante.

Um sistema automatizado de irrigação bem programado e instalado garante a umidade necessária às culturas em cada estágio de desenvolvimento, evitando a escassez ou o excesso de irrigação. Esses sistemas devem controlar o fluxo de água às culturas de uma maneira que maximize a produção e otimize o consumo de água e energia.

Uma análise de custos de áreas irrigadas e que adotam esse sistema de manejo, indica uma redução significativa na lâmina d’água aplicada, redução no consumo de energia e menor incidência de pragas e doenças, além de um substancial incremento no rendimento da cultura por unidade de área.

2.5 Análise Econômica

A análise econômica ajuda a interpretar os resultados obtidos nos diferentes sistemas de cultivo e deve ser empregada, tendo como objetivo auxiliar na tomada de decisões, sobretudo no que se refere à irrigação. A função de resposta da cultura à água constitui-se no elemento básico utilizado nos estudos econômicos relativos ao planejamento da irrigação, uma vez que a cultura apresenta comportamento produtivo diferenciado em razão da quantidade e freqüência de irrigação durante o ciclo fenológico.

Em termos econômicos, a implantação e a operação de sistemas de irrigação envolvem custos elevados e, normalmente, a máxima produtividade física não corresponde à maior receita líquida, devido à natureza complexa da resposta das culturas à irrigação, variabilidade climática e flutuações das condições econômicas (ALGOZIN et al., 1988). Logo, para uma empresa agrícola a determinação de aplicação de uma lâmina de água de irrigação que proporcione a maior receita líquida, torna-se importante.

Uma maneira de se escolher uma lâmina de água economicamente viável entre diferentes opções de lâminas de água existentes, é a utilização de técnicas que auxiliem na tomada de decisão. Segundo English et al. (1990) pode-se obter aumento na receita líquida quando o volume de água disponível é limitante à produção e a água economizada pela aplicação de uma lâmina de irrigação, pode ser utilizada no aumento da área irrigada.

A receita líquida é dada pela diferença entre a receita bruta e os custos de produção envolvidos (fixos e variáveis). Segundo Hart et al. (1980), o custo total de produção de uma cultura irrigada pode ser apresentado por uma função linear, apresentando três importantes características: o limite inferior, ou intercepto com a ordenada, representa os custos fixos anuais (equipamentos, maquinaria e operações de campo) e os custos variáveis de produção (sementes, fertilizantes, colheita); a declividade representa os custos marginais de produção (bombeamento, água, mão-de-obra, manutenção); e o limite superior, a capacidade total do sistema.

Os custos de investimento e custos variáveis associados à irrigação abrangem os gastos relacionados com energia, tarifa de água, mão-de-obra, depreciação e manutenção dos equipamentos e da infra-estrutura utilizados na operação do sistema. Diversas metodologias têm sido utilizadas para cálculo do custo da irrigação. Dessas, algumas deixam de embutir certos componentes do custo total, outras tem estimativas bem próximas do valor real a ser cobrado.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em um lote de produtor (Figura 1), no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi (DIJA), no município de Limoeiro do Norte – CE (latitude 05°08' S, longitude 37°59' W, altitude 160 m), no período de novembro de 2005 a abril de 2007. De acordo com a classificação de Köeppen, a região apresenta clima do tipo BSw'h', caracterizado por ser quente e semi-árido, com precipitação pluviométrica média anual de 772 mm, concentrada nos meses de janeiro a abril, e temperatura média anual de 28 °C, sendo as médias de temperatura mínima e máxima de 22 °C e 35 °C, respectivamente. A região apresenta uma umidade relativa média anual de 62% e evaporação potencial média anual de 3.215 mm. Os dados climáticos referentes ao período de execução do experimento foram obtidos na Estação Meteorológica do Instituto Centro de Ensino Tecnológico – CENTEC, localizada no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi (Tabela 1).

FIGURA 1 – Imagem de satélite da área experimental localizada no DIJA.

TABELA 1 – Médias climáticas diárias medidas na estação meteorológica do CENTEC, no Distrito de Irrigação Jaguaribe-Apodi, de Novembro/2005 a Abril/2007.

Mês	Temperatura do ar (^oC)		Umidade relativa (%)	Radiação solar ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$)	Velocidade do vento ($km.d^{-1}$)	ETo ($mm.d^{-1}$)
	Máxima	Mínima				
Novembro/2005	35,98	21,67	58,10	23,49	265,46	6,65
Dezembro/2005	35,49	22,79	60,77	20,11	251,94	5,94
Janeiro/2006	36,21	22,74	59,15	21,05	230,34	6,09
Fevereiro/2006	34,39	23,44	70,82	18,16	186,96	4,81
Março/2006	32,66	22,84	79,57	21,61	132,26	5,52
Abril/2006	31,36	22,71	84,78	18,35	97,50	3,84
Maio/2006	30,67	22,03	83,23	18,22	112,57	3,72
Junho/2006	30,42	21,23	77,12	16,87	157,68	3,69
Julho/2006	32,49	20,45	70,20	18,94	177,85	4,43
Agosto/2006	33,64	20,22	64,59	20,45	216,66	5,20
Setembro/2006	35,38	20,88	60,49	22,85	235,98	6,12
Outubro/2006	35,93	21,59	60,85	22,25	245,94	6,21
Novembro/2006	35,60	21,45	63,23	21,26	227,60	5,78
Dezembro/2006	35,23	22,47	65,29	19,23	227,37	5,38
Janeiro/2007	35,53	22,66	65,83	19,45	222,74	5,42
Fevereiro/2007	32,62	22,91	78,02	16,41	144,88	4,00
Março/2007	31,95	22,46	79,94	21,47	134,70	4,59
Abril/2007	32,42	22,41	78,77	19,09	137,36	4,25

3.2 Características físico-hídricas e químicas do solo

O solo da área experimental apresenta relevo plano, textura franco argilosa e está classificado como Cambissolo, caracterizado principalmente por ser bem drenado, de alta fertilidade natural e muitas vezes cascalhento (EMBRAPA, 1999). Tendo em vista a estimativa dos principais parâmetros do solo de interesse para a pesquisa, foram coletadas amostras com estrutura deformada para análise de suas características físicas e químicas (Tabela 2), e amostras com estrutura indeformada para determinação das curvas características de umidade.

TABELA 2 – Características físico-químicas do solo da área experimental na camada de 0 - 0,20 m.

Determinação	Valor	Unidade
Argila	308	$g.kg^{-1}$
Areia	446	$g.kg^{-1}$
Silte	226	$g.kg^{-1}$
Matéria orgânica (M. O.)	20,7	$g.dm^{-3}$
Fósforo (P)	45	$mg.dm^{-3}$
Potássio (K)	3,5	$mmolc.dm^{-3}$
Cálcio (Ca)	42	$mmolc.dm^{-3}$
Magnésio (Mg)	12	$mmolc.dm^{-3}$
Sódio (Na)	4,2	$mmolc.dm^{-3}$
Alumínio (Al)	< 1	$mmolc.dm^{-3}$
Cobre (Cu)	0,9	$mmolc.dm^{-3}$
Manganês (Mn)	12,2	$mmolc.dm^{-3}$
Zinco (Zn)	0,6	$mmolc.dm^{-3}$
Capacidade de Troca Catiônica (C. T. C.)	73,5	$mmolc.dm^{-3}$
Hidrogênio mais Alumínio (H + Al)	11,7	$mmolc.dm^{-3}$
Saturação de Bases (V%)	84	%
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,6	

A obtenção das curvas características nas camadas de 0-0,20 m e de 0,20-0,40 m foi realizada através da coleta de amostras em anéis volumétricos, sendo estas posteriormente levadas ao laboratório, onde foram saturadas por capilaridade durante um período de 24 horas, pesadas e em seguida levadas ao sistema de extração de água, utilizando a metodologia da câmara de pressão proposta por Richards (1965), determinando uma coleção de pares de umidade do solo correspondente à tensão de água aplicada. Para ajuste desses dados foi empregado o modelo de Van Genuchten (1980), apresentando uma equação para cada camada do solo estudada.

Através das equações 1 e 2, foram determinados os valores de umidade nas respectivas tensões indicadas pelos sensores, obtendo a capacidade de campo de acordo com a inflexão da curva característica, conforme Ferreira & Marcos (1983), equivalente à tensão de 10 kPa, correspondendo a uma umidade do solo de 0,27 $m^3.m^{-3}$ para a camada de 0-0,20 m (Figura 2) e de 0,23 $m^3.m^{-3}$ para a camada de 0,20-0,40 m (Figura 3), dados esses utilizados para fins de cálculo da lâmina líquida de irrigação.

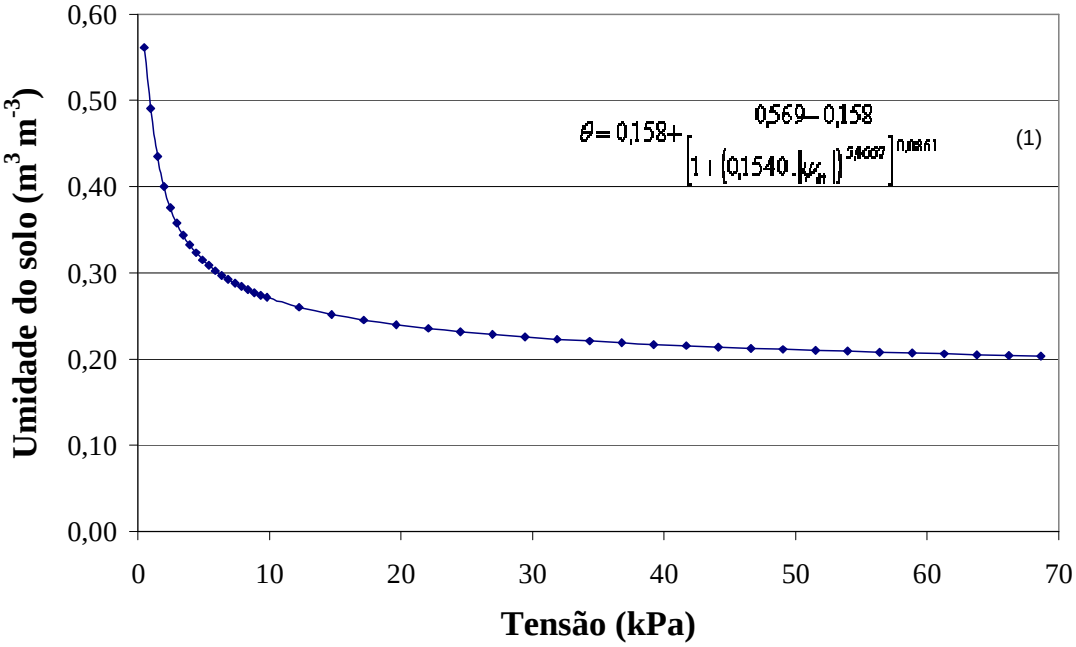


FIGURA 2 – Curva de retenção de água do solo na camada de 0-0,20 m.

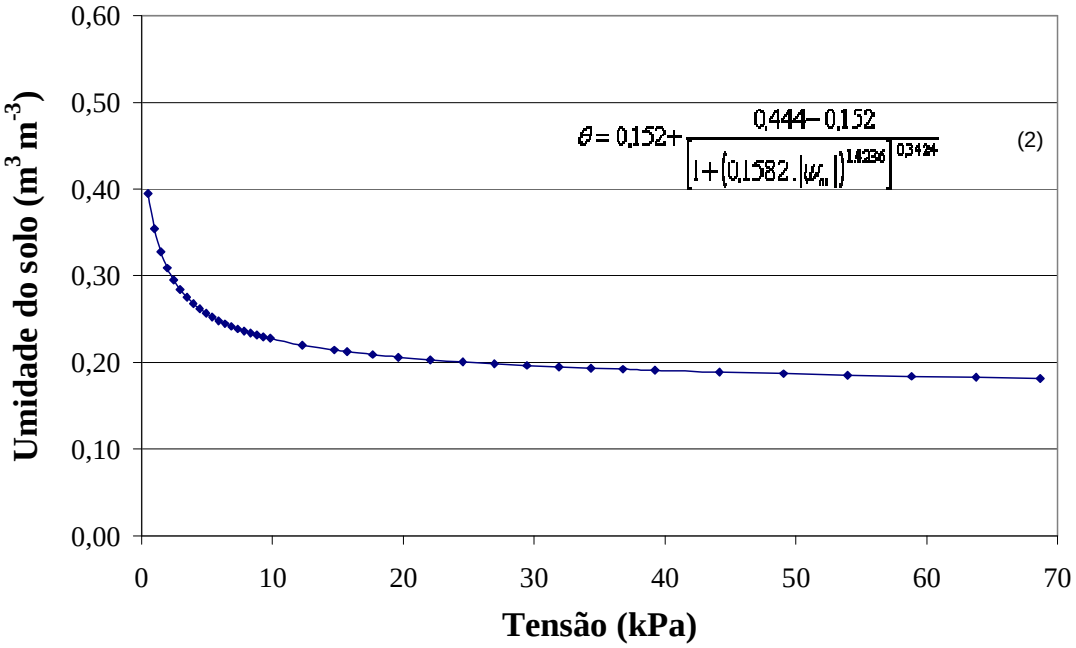


FIGURA 3 – Curva de retenção de água do solo na camada de 0,20-0,40 m.

3.3 Instalação do experimento

Utilizou-se a cultivar de banana Pacovan Ken, um híbrido tetraplóide obtido a partir da cultivar Pacovan, tendo como principal característica a resistência à sigatoka-negra, à sigatoka-amarela e ao mal-do-Panamá. Seus frutos são mais doces e apresentam resistência ao despencamento semelhante aos da Pacovan..

O preparo da área constou de aração, gradagem e marcação das covas. Adotou-se um espaçamento em fileiras duplas, com distâncias de 2,5 m entre plantas na linha, 2,0 m entre linhas de plantas na fileira dupla e 4,0 m entre fileiras duplas. A adubação de fundação foi realizada uma semana antes do plantio, aplicando-se em cada cova 30 litros de esterco ovino e 100 g de fosfato monoamônico, sendo as demais adubações fracionadas de acordo com a análise de solo (Tabela 3).

TABELA 3 – Nutrientes e fertilizantes aplicados em cobertura durante a realização do experimento.

Dias após o plantio (DAP)	N	P	K	Uréia	MAP*	Cloreto de potássio	Sulfato de amônio	FTE**
	kg / ha			g / planta				
90	34	64	0	0	100	0	80	0
180	45	39	50	64	61	65	0	50
210	47	0	50	80	0	65	0	0
240	45	39	50	64	61	65	0	0
270	47	0	50	80	0	65	0	50
300	47	0	50	80	0	65	0	0
330	47	0	50	80	0	65	0	0
360	47	0	50	80	0	65	0	0
390	45	39	50	64	61	65	0	0
420	47	0	50	80	0	65	0	0
450	47	0	50	80	0	65	0	0
480	47	0	50	80	0	65	0	0
510	45	39	50	64	61	65	0	0

* Fosfato monoamônico (9% de N e 48% de P_2O_5)
** FTE (fertilizante com micronutrientes)

O plantio foi realizado no dia 14 de novembro de 2005, utilizando mudas obtidas a partir de meristema. Na Figura 4a é apresentado o experimento no início de sua implantação com as mudas de banana recém transplantada e na Figura 4b a área com 70 dias após o plantio.

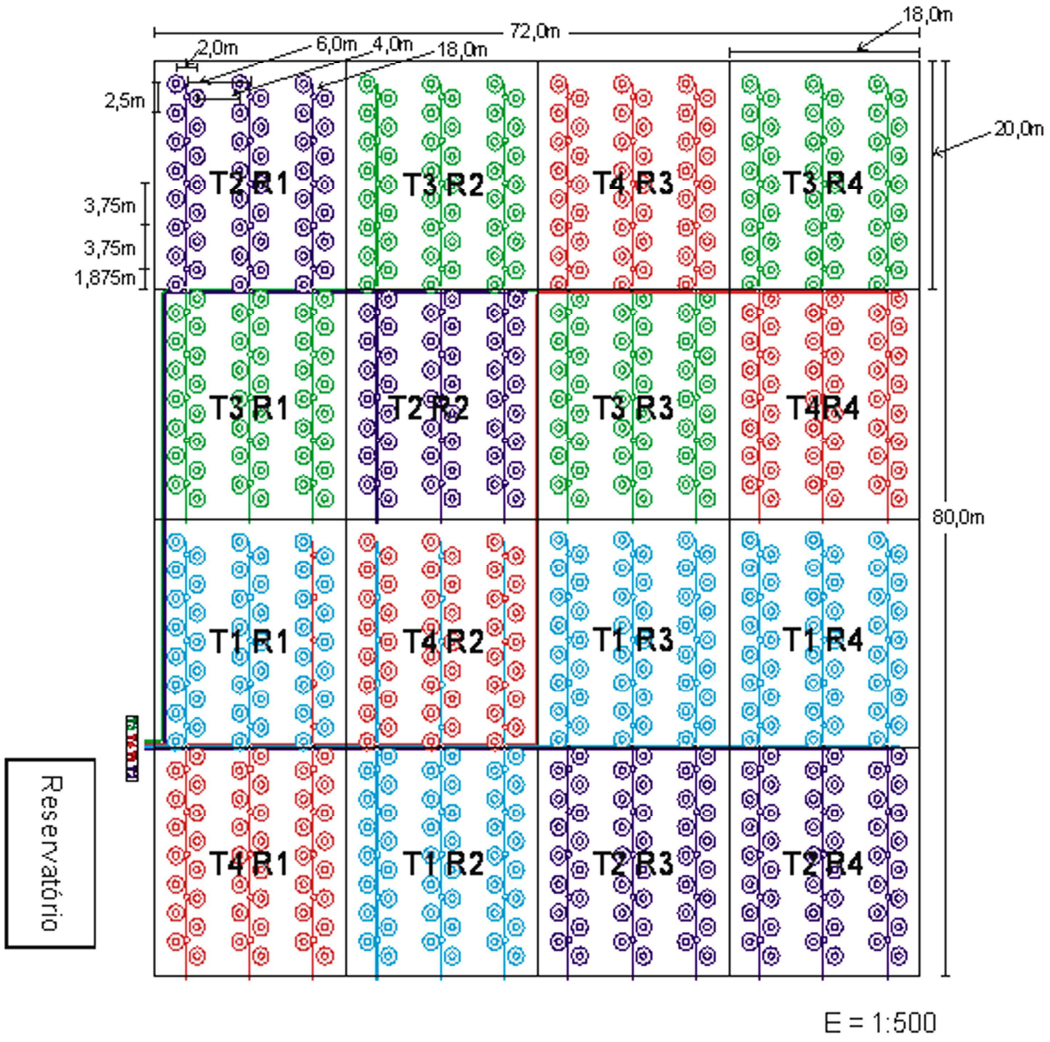
(a) (b)

FIGURA 4 – Mudas de banana recém transplantadas para o campo (a) e 70 dias após o plantio (b).

As ervas daninhas foram controladas com o uso de herbicidas e de campinas manuais. Outros tratos culturais foram realizados durante o experimento, como desfolha e desbaste das plantas a cada 35 dias, rebaixamento final a cada 180 dias e rebaixamento inicial sempre após a colheita.

3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de quatro tensões de água no solo como indicativas do momento de irrigar. As tensões preestabelecidas foram de 15, 30, 45 e 60 kPa, para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente (Figura 5). O experimento ocupou uma área total de 5.760 m² (80 m x 72 m). Cada parcela foi constituída de três fileiras duplas, totalizando 45 plantas em uma área de 360 m² (20 m x 18 m).



* Figura desenvolvida com a participação de Carlos Alexandre Costa.

FIGURA 5 – Croqui da área experimental mostrando a disposição das parcelas no campo*.

3.5 Sistema de aplicação de água

A cultura foi irrigada por um sistema de irrigação localizada totalmente automatizado, tipo microaspersão, contendo quatro unidades de bombeamento, uma para cada tratamento. A eletrobomba era composta por um motor elétrico monofásico de 1 CV e uma bomba centrífuga (Figura 6a). Cada cabeçal de controle apresentava os seguintes componentes: uma ventosa, um filtro de disco de 1” e um manômetro de glicerina (Figura 6b).

(a) (b)

FIGURA 6 – Sistema de bombeamento (a) e cabeçal de controle do sistema de irrigação localizada (b).

As linhas principais eram de PVC com 50 mm de diâmetro nominal, o mesmo utilizado nas linhas de derivação. As linhas laterais eram de polietileno com diâmetro de 16 mm, comprimento de 18 m, espaçadas de 6 m e instaladas entre as linhas de plantas em cada fileira dupla, dotadas de microaspersores do tipo autocompensante da marca PLASTRO® (modelo RFR), apresentando para uma pressão de serviço de 15 m.c.a., uma vazão média de 55 $L.h^{-1}$ e um raio de alcance de 2,5 m, espaçados a cada 3,75 m, com um emissor para três plantas.

O sistema de irrigação foi avaliado através da metodologia proposta por Merriam & Keller (1978), sendo tomado para análise quatro linhas laterais (inicial, 1/3, 2/3 e final) e quatro emissores (inicial, 1/3, 2/3 e final). No intuito de minimizar erros foram feitas quatro repetições para cada emissor, apresentando um coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de 91,6%.

Na primeira linha lateral de cada tratamento foi instalado um hidrômetro para controle da lâmina de irrigação (Figura 7).

FIGURA 7 – Hidrômetros utilizados para o monitoramento das lâminas de irrigação aplicadas.

3.6 Sistema automático de monitoramento da tensão da água no solo e controle das irrigações

O sistema automático para monitoramento e controle das irrigações utilizado no experimento, descrito por Canafístula et al. (2005), foi constituído por sensores de umidade do solo tipo resistência elétrica, de matriz granular (Watermark®, Irronmeter) modelo 200SS, sensores de temperatura do solo (Thermistor C100F103G, Thermometrics), conectados a um datalogger (CR10X, Campbell Scientific), através de dois multiplexadores (AM 16/32, Campbell Scientific), possuindo ainda um controlador de carga (SDM-CD16AC, Campbell Scientific), chaves de partida e bombas centrífugas (Figura 8).

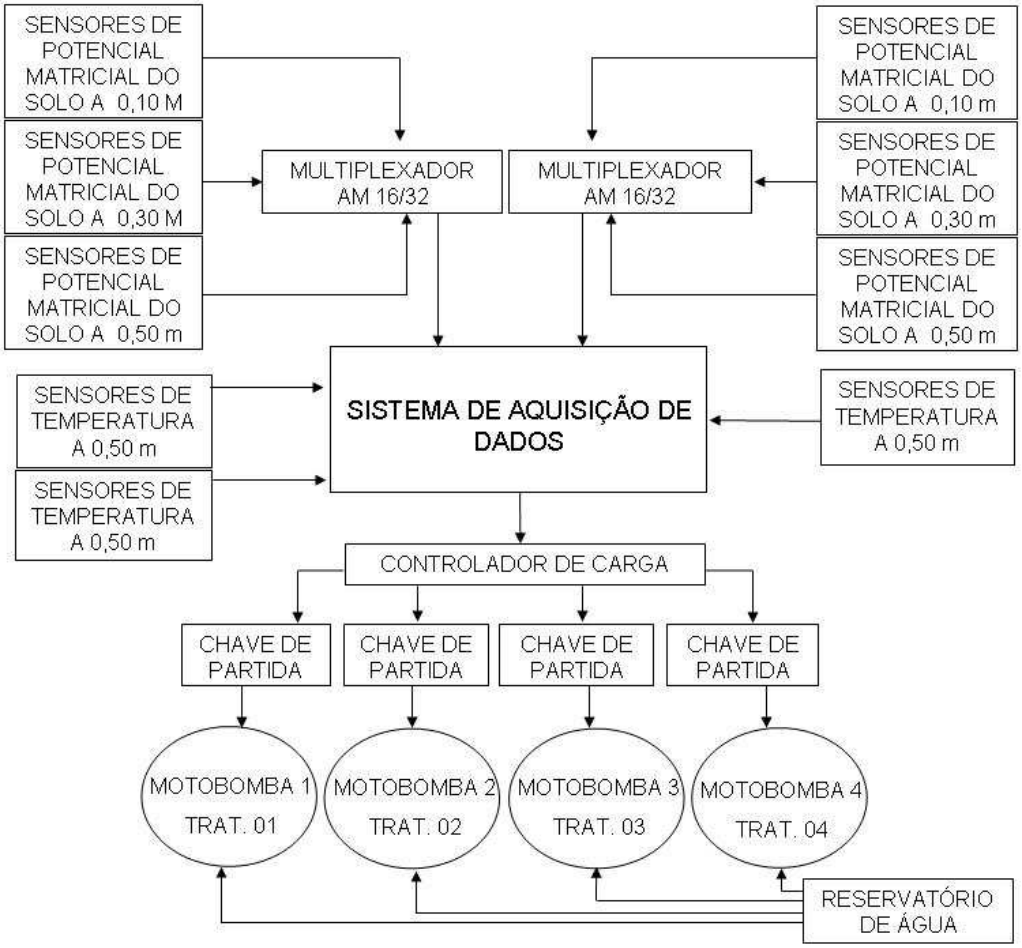


FIGURA 8 – Diagrama esquemático do sistema de aquisição de dados e controle das irrigações.

3.6.1 Sensores de umidade e de temperatura do solo

O sensor de umidade Watermark® modelo 200SS, mede 22,2 mm (7/8”) de diâmetro por 50,8 mm (2”) de comprimento (Figura 9). Quando em operação, este sensor está constantemente absorvendo ou perdendo a umidade para o solo, e à medida que o solo seca, a umidade do sensor é reduzida e a resistência elétrica entre os dois eletrodos aumenta.

Como esses sensores de umidade são sensíveis à variação de temperatura, os dados dos mesmos precisam ser corrigidos, sendo necessário então monitorar essa grandeza através de termistores, modelo C100F103G, que tem seu princípio de funcionamento baseado na tecnologia dos semicondutores.

FIGURA 9 – Sensor de umidade Watermark® modelo 200SS utilizado na área experimental.

Foram instalados 48 sensores de umidade do solo, três para cada parcela experimental, nas profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m (Figura 10) utilizando trado e tubos de PVC de 19 mm para suporte. As profundidades de instalação dos sensores de umidade foram escolhidas em virtude dos resultados observados por Montenegro et al. (2005), que avaliando o sistema radicular da banana Pacovan, em uma área ao lado onde foi realizado o presente estudo, concluíram que 92% das raízes estavam distribuídas na camada de 0,0 a 0,4 m de profundidade.

FIGURA 10 – Bateria de sensores de umidade instalados na parcela experimental, nas profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m.

Cada bateria de três sensores (Watermark®) foi colocada na fileira dupla central da parcela, a uma distância de 0,50 m do pseudocaule da planta. Para o monitoramento da temperatura foram utilizados em toda a área experimental três termistores, instalados em um único local, nas mesmas profundidades dos sensores de umidade.

3.6.2 Sistema de aquisição de dados

O processamento dos dados era realizado pelo datalogger CR10X utilizando os valores das grandezas medidas pelos sensores, efetuando as leituras a cada 60 segundos e gravando a média das amostragens de dados a cada 60 minutos, além também de atuar nos dispositivos de controle do sistema (Figura 11a). Dois multiplexadores modelo AM16/32, com 16 canais para ligações diferenciais ou 32 canais para ligações simples foram adicionados ao sistema para aumentar a capacidade em número de sensores instalados, viabilizando a aquisição dos dados de vários sensores por apenas um canal do sistema de aquisição de dados. Através do multiplexador, cada sensor tinha seu sinal enviado em seqüência predefinida no tempo, e o período que o sinal de cada sensor ficava disponível para o sistema de aquisição de dados era definido pela programação do mesmo (Figura 11b).

O controlador de carga (Figura 11c) recebia as informações através de um endereço do datalogger para controlar os dispositivos acionadores de carga elétrica, contendo 16 relés, controlados com uso de um interruptor com três posições, “ON” e “OFF” para controle manual, e “AUTO” para controle através do datalogger, sendo este ultimo determinado pelo processamento do programa do sistema de aquisição de dados, ativando ou não a chave de partida que ligava o sistema de bombeamento.

A chave de partida era composta de um contactor de força, um relé térmico de sobrecarga e botoeiras liga e desliga, esse dispositivo tinha como função ativar os motores elétricos que acionavam as bombas centrífugas do sistema, além de proteger a carga contra sobrecarga e curto circuito.

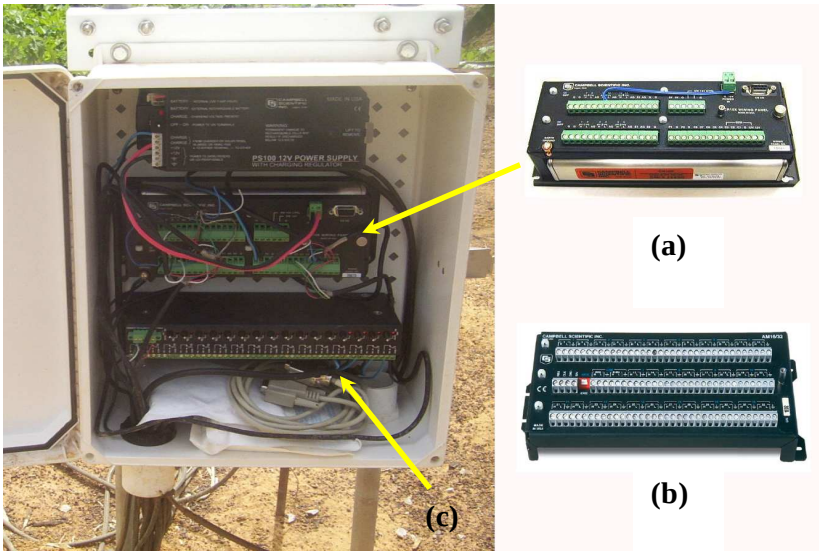


FIGURA 11 – Datalogger CR10X (a), multiplexador AM 16/32 (b) e controlador de carga SDM-CD16AC (c) utilizados para o controle automático das irrigações.

A interação entre o usuário, o datalogger e o microcomputador, foi realizada através do software PC208W (Campbell Scientific), transferindo os dados armazenados periodicamente para serem posteriormente analisados (Figura 12).

FIGURA 12 – Transferência de dados para um microcomputador, pelo software PC208W.

3.6.3 Manejo da irrigação

Desde três dias antes, até uma semana após o plantio, todas as parcelas foram irrigadas diariamente com uma lâmina de irrigação de 12 $mm.d^{-1}$, a fim de garantir o pegamento das mudas. A partir da segunda semana após o plantio o manejo da irrigação foi realizado pelo monitoramento da tensão da água no solo através do sistema automático de controle.

O processo de controle das irrigações tinha início com a aquisição dos valores de resistência elétrica dos sensores de umidade, em kOhms e de temperatura, em graus Celsius, obtidos nas diferentes profundidades de instalação e utilizados para cálculo da tensão de água no solo pela equação descrita por Shock et al. (1996):

$$T = \frac{2{,}678 + 0{,}003892.R}{1 - 0{,}01201.t} \qquad (3)$$

Em que:

T = tensão de água no solo (kPa);

R = resistência elétrica do sensor (KΩ);

t = temperatura do solo (ºC).

Os valores de tensão obtidos em cada tratamento, quatro para cada profundidade de instalação, eram comparados com o valor limite para a tomada de decisão quanto ao início da irrigação. Sempre que a tensão de água no solo de três dos quatros sensores colocados na profundidade de 0,10 m atingisse o limite de tensão pré-estabelecido, o sistema de irrigação do tratamento era acionado.

O término da irrigação ocorria quando decorrido o tempo necessário (Equação 6) para aplicar a lâmina de água requerida para elevar a umidade do solo à capacidade de campo na camada de 0,0 a 0,4 m, de acordo com as curvas características. Os sensores de umidade instalados nas profundidade de 0,10 m e 0,30 m foram utilizados para cálculo da lâmina de irrigação, e os sensores instalados a 0,50 m serviam apenas para monitoramento da umidade do solo e acompanhamento do manejo da irrigação.

$$LL = \frac{(\theta_{cc} - \theta_i).Z}{1000} \quad (4)$$

Em que:

LL = lâmina líquida de irrigação de cada tratamento (mm);

θ_{cc} = umidade do solo na capacidade de campo ($m^3.m^{-3}$);

θ_i = umidade do solo na tensão estabelecida de cada tratamento ($m^3.m^{-3}$);

Z = profundidade do solo que se deseja irrigar (m).

$$LB = \frac{LL}{CUD.Es} \quad (5)$$

Em que:

LB = lâmina bruta de irrigação de cada tratamento (mm);

LL = lâmina líquida de irrigação de cada tratamento (mm);

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição (decimal);

Es = eficiência associada à capacidade do solo para armazenar água (decimal). Solo argiloso (Es = 1,00)

$$Ti = \frac{LB.Sl.Sg}{Q_{méd}} \quad (6)$$

Em que:

Ti = tempo de irrigação (h);

LB = lâmina bruta de irrigação de cada tratamento (mm);

Sl = distância entre linhas laterais (m);

Sg = distância entre gotegadores na lateral (m);

Q méd = vazão média do microaspersor ($L.\ h^{-1}$).

3.7 Avaliações

3.7.1 Desenvolvimento da cultura

Aos 150 dias após o transplantio foram avaliadas a altura e a circunferência do pseudocaule. Em cada parcela foram avaliadas três plantas situadas na fileira dupla central, totalizando 12 plantas por tratamento. A circunferência do pseudocaule foi medida a 0,30 m do solo utilizando fita métrica (Figura 13a) e a altura da planta do colo até o meristema apical, utilizando uma trena sustentada por um tubo de PVC (Figura 13b).

(a) (b)

FIGURA 13 – Medições da circunferência do pseudocaule (a) e da altura da planta (b) no campo.

3.7.2 Rendimento da cultura

A colheita do primeiro ciclo ocorreu no mês de outubro de 2006 (330 dias após o plantio) e a segunda colheita no mês de abril de 2007 (510 dias após o plantio). Foram avaliadas quatro plantas situadas na fileira dupla central de cada parcela, totalizando 16 plantas por tratamento. Os cachos foram despalmados e as palmas pesadas em balança digital. Logo a seguir foi realizada a contagem dos frutos de cada palma.

As variáveis de rendimento avaliadas foram: número de frutos por palma (NFP), número de frutos por cacho (NFC), número de palmas por cacho (NPC), peso médio do fruto (PMF) e produtividade (PROD).

3.8 Análise estatística

As análises estatísticas foram feitas com base no delineamento adotado no experimento, realizando-se a análise de variância dos dados à significância de 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, e a comparação das diferenças entre as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey, quando o teste F apresentou-se significativo, utilizando o programa computacional 'SAEG'.

3.9 Eficiência de uso da água

A eficiência de uso da água (EUA) foi calculada dividindo-se o rendimento da cultura pela lâmina total de água aplicada durante o ciclo, segundo a equação:

$$EUA = \frac{PROD}{Lt} \tag{7}$$

Em que:
EUA = eficiência de uso da água ($kg.mm^{-1}.ha^{-1}$);
PROD = produtividade obtida no tratamento ($kg.ha^{-1}$);
Lt = lâmina bruta total aplicada no tratamento (mm).

3.9 Análise econômica

Na presente pesquisa, o custo da irrigação (Ci) foi composto apenas pelo custo de aplicação da irrigação. Na estimativa do custo de aplicação considerou-se uma situação hipotética padrão para irrigação de uma área de 5,0 ha, subdividida em quatro setores, com as seguintes características: a) vazão do microaspersor, 55 $L.h^{-1}$; b) pressão de serviço, 15 mca; c) espaçamento entre microaspersores, 3,75 m; d) diâmetro da linha lateral, 20 mm; e)

comprimento da linha lateral, 49 m; f) número de linhas laterais por setor, 42; g) vazão do setor, 30 $m^3.h^{-1}$; h) comprimento da linha secundária, 124 m; i) diâmetro da linha secundária, 75 mm e 100 mm; j) comprimento da linha principal, 275 m; k) diâmetro da linha principal, 100 mm; l) altura manométrica total, 32 m.c.a; m) unidade de bombeamento, bomba centrífuga + motor elétrico monoestágio de 5,8 CV/3500 rpm.

O preço do quilo-watt-hora (kwh) de energia elétrica, segundo informações da Companhia Energética do Ceará – COELCE, foi de 0,21807 e 0,10436 R$ por kwh nas tarifas normal e verde (21:30 – 06:00). Dessa forma, os custos de aplicação de água foram de 0,5174 $R\$.(mm.ha)^{-1}$ na tarifa normal e 0,2476 $R\$.(mm.ha)^{-1}$ na tarifa verde, os quais foram calculados pela metodologia aplicada por Andrade Junior et al. (2001):

$$Cap = \left(\frac{Cee}{Lt}\right).Pe \tag{8}$$

Em que:

Cap = custo de aplicação de água ($R\$.(mm.ha)^{-1}$);

Cee = consumo de energia elétrica total ($kwh.ha^{-1}$);

Lt = lâmina bruta total aplicada no tratamento (mm);

Pe = preço do quilowatt-hora de energia elétrica ($R\$.kwh^{-1}$).

No custo de amortização adotou-se o modelo utilizado por Gondim (1998) calculado por milímetro aplicado de água, através dos seguintes componentes: depreciação, juros e manutenção do equipamento de irrigação (Anexo 1). Segundo metodologia citada por Duarte (1997), o custo de manutenção é equivalente a 3% do custo de implantação do sistema. Assumiu-se como condição simplificadora, que os custos indiretamente dependentes da quantidade de água aplicada são constantes, conforme sugerido por Frizzone (1998):

$$Co = COC + A \tag{9}$$

Em que:

Co = custos fixos de produção por unidade de área ($R\$.ha^{-1}$);

COC = custo operacional do plano de cultivo ($R\$.ha^{-1}$);

A = custo de amortização dos investimentos no sistema de irrigação ($R\$.ha^{-1}$).

O indicador empregado para mensurar a eficiência econômica dos tratamentos, e, logicamente, identificar o mais econômico, foi à receita líquida, definida como:

$$RL = PROD \ .P_y - \left(Li.Ci + Co\right) \tag{10}$$

Em que:

RL = receita líquida ($R\$.ha^{-1}$);

PROD = produtividade obtida no tratamento ($kg.ha^{-1}$);

P_y = preço do produto ($R\$.kg^{-1}$);

Li = lâmina bruta total aplicada no tratamento (mm);

Ci = custo da irrigação ($R\$.mm^{-1}.ha^{-1}$);

Co = custos fixos de produção ($R\$.ha^{-1}$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As lâminas de irrigação e os volumes de água aplicados por planta durante o experimento, bem como as quantidades decorrentes das precipitações e as estimativas da evapotranspiração de referência (ETo) pelo método Penman-Monteith-FAO são apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4 – Lâminas de irrigação, Volume de água aplicado por planta (VPL), precipitações (PPT) e evapotranspiração de referência (ETo), observados na área experimental durante dois ciclos de produção da bananeira cv. Pacovan Ken.

Mês	ETo (mm)	PPT (mm)	Lâmina de irrigação (mm) e VPL ($L.pl^{-1}.d^{-1}$)							
			15 kPa		30 kPa		45 kPa		60 kPa	
			mm	$L.pl^{-1}.d^{-1}$	mm	$L.pl^{-1}.d^{-1}$	mm	$L.pl^{-1}.d^{-1}$	mm	$L.pl^{-1}.d^{-1}$
Nov/2005	120	0	132	52	157	62	155	61	124	49
Dez/2005	197	15	215	52	256	62	254	61	202	49
Jan/2006	189	0	162	39	245	59	268	65	134	32
Fev/2006	135	28	118	31	282	76	351	94	110	29
Mar/2006	171	298	158	38	54	13	153	37	15	4
Abr/2006	115	290	35	9	22	5	69	17	29	7
Mai/2006	115	139	8	2	8	2	37	9	10	2
Jun/2006	111	30	207	52	75	19	54	14	65	16
Jul/2006	137	8	185	45	103	25	79	19	45	11
Ago/2006	161	16	186	45	120	29	142	34	108	26
Set/2006	184	0	170	42	132	33	161	40	80	20
Out/2006	193	2	194	47	201	49	178	43	95	23
Nov/2006	173	13	195	49	169	42	225	56	99	25
Dez/2006	167	12	196	47	217	52	236	57	100	24
Jan/2007	168	15	124	30	134	33	254	62	121	29
Fev/2007	112	153	47	13	41	11	79	21	28	8
Mar/2007	142	166	51	12	30	7	66	16	24	6
Abr/2007	128	168	154	39	123	31	120	30	64	16
TOTAL	2741	1353	2538	-	2369	-	2880	-	1454	-

A lâmina total de água aplicada durante todo o experimento variou de 1454 a 2880 mm para as diferentes tensões estudadas, sendo a maior lâmina aplicada para o tratamento de 45 kPa, provavelmente em virtude da variação espacial das características físico-hídricas do solo ou do mal funcionamento dos sensores. Foram observadas irrigações consecutivas para esse tratamento, pois mesmo aplicando a lâmina requerida para se elevar a

umidade do solo para a capacidade de campo, a leitura do sensor se mantinha elevada iniciando assim uma nova irrigação. Foram observados turnos de rega médios de 1, 2, 2 e 4 dias para os tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente, sendo mais freqüentes as irrigações nos tratamentos com menor tensão da água no solo.

4.1 Desenvolvimento das plantas

A altura da planta e circunferência do pseudocaule a 0,30 m da superfície do solo apresentaram variação significativa em relação aos tratamentos estudados ($p<0,01$) (Tabela 5).

TABELA 5 – Análise de variância da altura da planta (APL) e da circunferência do pseudocaule a 0,30 m do solo (CPC), para a bananeira cv. Pacovan Ken submetida a diferentes tensões de água no solo.

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	
		APL	CPC
Tensões	3	0,5360185**	76,34259**
Resíduo	9	3,855E-02	2,07716
valor-P		0,00002	0,00100
CV (%)		3,737	2,236

** Valores significativos a 1% de probabilidade.

Para o manejo de irrigação com os níveis de tensão de água no solo até 45 kPa, a altura da planta não foi afetada significativamente (Tabela 6). Os valores variaram de 5,34 a 4,73 m, superiores ao valor médio de 3,43 m encontrado por Donato et al. (2006) para a mesma cultivar, no primeiro ciclo de produção nas condições climáticas do sudeste da Bahia.

TABELA 6 – Médias* de altura da planta e da circunferência do pseudocaule a 0,30 m do solo, para a bananeira cv. Pacovan Ken submetida a diferentes tensões de água no solo.

Tensão de água no solo (kPa)	Altura da planta (m)	Circunferência do pseudocaule (m)
15	5,34 a	0,63 b
30	5,38 a	0,67 a
45	5,57 a	0,69 a
60	4,73 b	0,59 c

* Médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

As maiores circunferências do pseudocaule foram observadas para as tensões de 30 kPa e 45 kPa. Esses resultados indicam a possibilidade de manejo de irrigação para a Chapada do Apodi considerando o aumento das tensões de água no solo, o que para a região onde foi conduzido o experimento, poderia diminuir problemas com tombamento de plantas sem afetar a produtividade da cultura. No entanto, essa variável teria que ser melhor analisada, pois sua avaliação foi realizada apenas no primeiro ciclo de produção.

O tombamento de plantas e a quebra do pseudocaule pela ação dos ventos estão relacionados com a produção de cachos grandes, reduzida circunferência do pseudocaule e elevado porte das plantas (TEIXEIRA, 2001b). Segundo Silva (2008), a cultivar Pacovan Ken vem sendo testada em diferentes regiões há alguns anos, e apesar do seu elevado porte, vem apresentando valores de diâmetro do pseudocaule superiores aos de algumas cultivares, como Pacovan e Prata Comum.

Analisando os dados em função das lâminas de irrigação aplicadas, foi constatada uma tendência quadrática para ambas as variáveis (Figura 14 e 15), semelhante ao resultado observado por Coelho et al. (2003) para o diâmetro do caule do mamoeiro com o aumento dos níveis de irrigação. No entanto, resultados divergentes foram encontrados por Silva et al. (2004), verificando que o modelo linear era o que melhor se ajustava para a variação tanto da altura da planta, quanto da circunferência do pseudocaule para a cultivar de banana FHIA18.

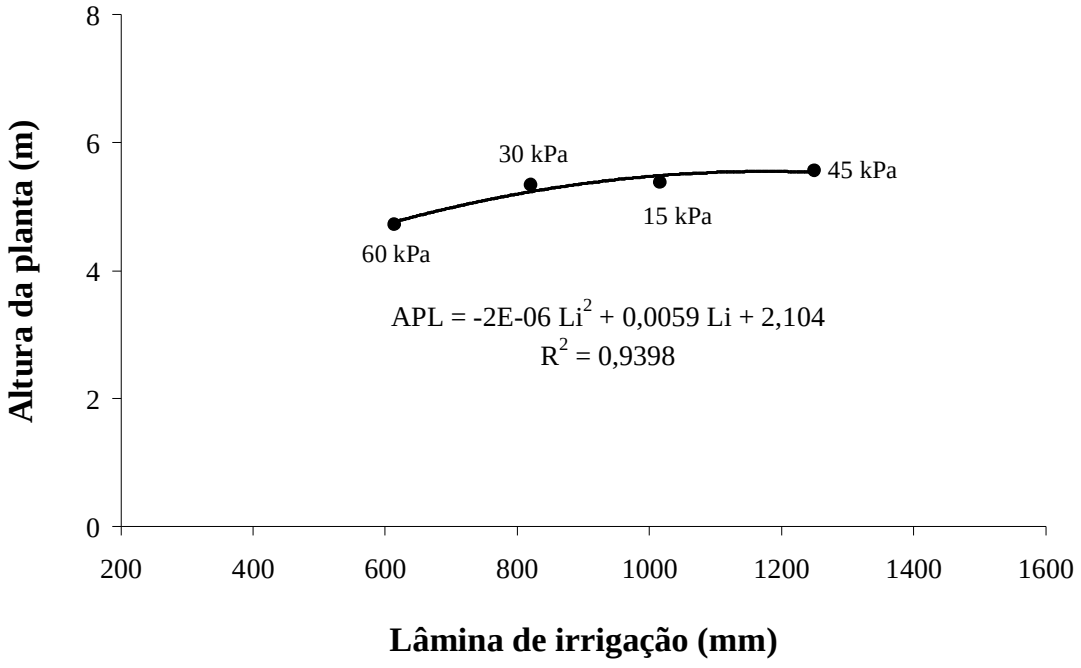


FIGURA 14 – Altura da bananeira cv. Pacovan Ken em função das lâminas de irrigação aplicadas.

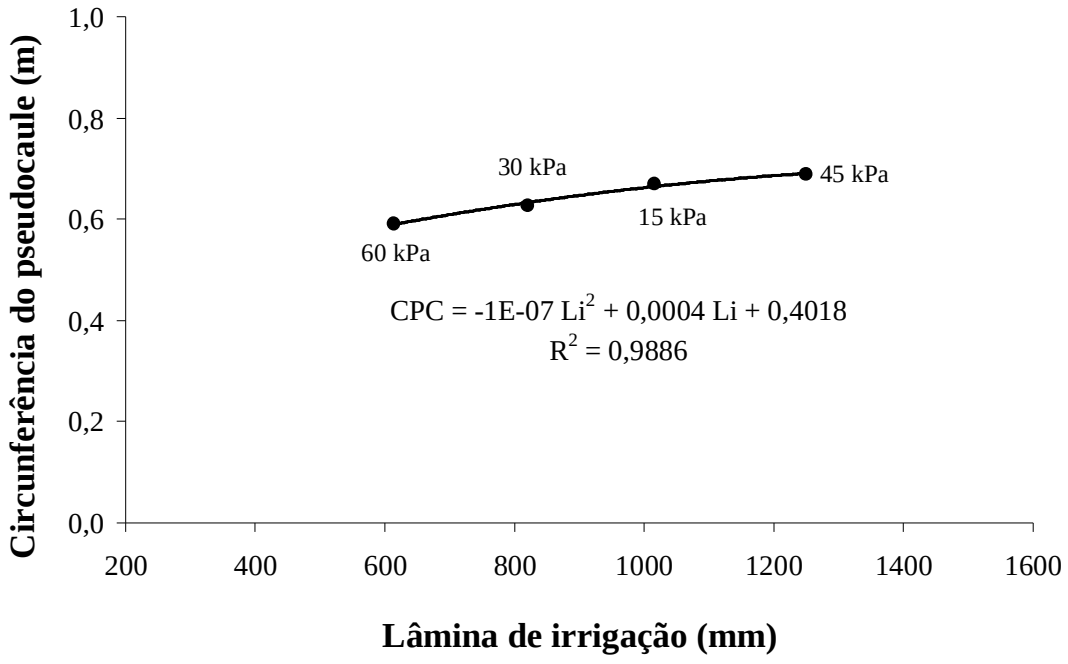


FIGURA 15 – Circunferência do pseudocaule da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

4.2 Características de produção

Foram avaliados independentemente os dados da primeira e segunda colheita e posteriormente feita à junção dos resultados para uma análise conjunta, calculando as médias das duas colheitas para todas as variáveis, sendo que para a produtividade foi considerado um valor total. Para a análise dos dados em função da lâmina de irrigação aplicada durante todo o experimento, foram utilizados apenas os resultados obtidos da junção dos dois ciclos de produção.

Das variáveis estudadas que expressam o rendimento da cultura, apenas o número de frutos por palma (NFP) nos dois ciclos e o número de palmas por cacho (NPC) no segundo ciclo, não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos analisados pela análise de variância (Tabela 7).

TABELA 7 – Análise de variância das variáveis de rendimento: produtividade (PROD), peso médio do fruto (PMF), número de frutos por cacho (NFC), número de palmas por cacho (NPC) e número de frutos por palma (NFP), para a bananeira cv. Pacovan Ken submetida a diferentes tensões de água no solo.

Fonte de variação		G.L.	Quadrado médio				
			PROD	PMF	NFC	NPC	NFP
1° Ciclo	Tensões	3	0,35877E+08**	930,2628**	191,9206*	0,51432*	0,40439ns
	Resíduo	9	2303241	132,3185	35,5039	0,1046	0,1625
valor-P			0,00066	0,00983	0,02108	0,02725	0,12658
CV (%)			6,958	6,470	6,491	4,964	2,863
2° Ciclo	Tensões	3	0,88243E+08**	2179,471**	188,0104*	0,39583ns	0,58209ns
	Resíduo	9	9213960	238,1843	31,3611	0,1285	0,1515
valor-P			0,00367	0,00427	0,01575	0,08296	0,05060
CV (%)			10,872	7,596	5,464	5,031	2,708
1° e 2° Ciclo	Tensões	3	0,22841E+09**	1461,358**	168,5583**	0,41243*	0,33192ns
	Resíduo	9	1,17E+07	97,3159	21,9532	6,35E-02	0,1176
valor-P			0,00028	0,00075	0,00749	0,01246	0,09934
CV (%)			6,877	5,179	4,823	3,694	2,411

* e **: valores significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.
ns não significativo

Considerando o primeiro ciclo e a média dos dois ciclos de produção o NPC não apresentou diferença significativa até a tensão de água no solo de 45 kPa, apresentando o menor valor para a tensão de 60 kPa, e esse último, diferindo significativamente apenas do tratamento 15 kPa (Tabela 8). O mesmo comportamento foi observado em relação à variável número de frutos por cacho (NFC) no segundo ciclo da cultura e para a média dos dados de produção (1° e 2° ciclo).

O número de frutos por cacho no primeiro ciclo variou de 82,31 a 98,00 frutos/cacho, e no segundo ciclo de 95,50 a 111,56 frutos/cacho Resultados semelhantes foram encontrados por Donato et al. (2006) apresentando médias de 88,68 e 107,57 frutos/cacho para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Segundo Flores (2000), o primeiro ciclo não é o momento oportuno para analisar o numero de frutos, pois há uma tendência de elevação nos ciclos posteriores no valor dessa variável.

TABELA 8 – Médias* das variáveis de rendimento: produtividade (PROD), peso médio do fruto (PMF), número de frutos por cacho (NFC), número de palmas por cacho (NPC) e número de frutos por palma (NFP), para a bananeira cv. Pacovan Ken submetida a diferentes tensões de água no solo.

	Tensão de água no solo (kPa)	PROD (t ha^{-1})	PMF (g)	NFC	NPC	NFP
1° Ciclo	15	23,58 a	180,09 ab	98,00 a	6,81 a	14,39 a
	30	22,42 a	176,20 ab	95,69 a	6,69 ab	14,30 a
	45	23,83 a	195,99 a	91,19 ab	6,56 ab	13,90 a
	60	17,42 b	158,85 b	82,31 b	6,00 b	13,72 a
2° Ciclo	15	32,17 a	216,23 a	111,56 a	7,56 a	14,75 a
	30	26,31 ab	197,14 ab	99,50 ab	7,06 a	14,07 a
	45	31,18 a	226,16 a	103,44 ab	7,06 a	14,65 a
	60	22,01 b	173,18 b	95,50 b	6,81 a	14,02 a
1° e 2° Ciclo	15	55,75 a	198,16 ab	104,78 a	7,19 a	14,57 a
	30	48,73 a	186,67 bc	97,59 ab	6,88 ab	14,19 a
	45	55,01 a	211,07 a	97,31 ab	6,81 ab	14,27 a
	60	39,43 b	166,02 c	88,91 b	6,41 b	13,87 a

* Médias seguidas da mesma letra não são significativamente diferentes entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

O número de palmas e o número de frutos revestem-se de importância no rendimento da bananeira, pois influenciam diretamente no tamanho e no peso do cacho, variáveis que expressam a produtividade da cultura (SILVA et al., 1999).

A produtividade apresentou variação significativa para os tratamentos ($p<0,01$) nos dois ciclos de produção. Essa variação não foi significativa para os níveis de tensão de água no solo até 45 kPa. A produtividade só diferiu significativamente quando a tensão aumentou para 60 kPa, apresentando o menor valor de produção.

Resultados similares foram encontrados por Hedge & Srinivas (1989) em estudo levado a campo na Índia, observando o máximo de crescimento e rendimento da banana cv. Robusta quando a tensão de água no solo se encontrava a 25 kPa, embora os dados não fossem significativamente diferentes dos obtidos para a irrigação a 45 kPa, e quando ultrapassava esse valor de tensão havia uma redução significativa dessas variáveis.

A produtividade total variou de 39,42 a 55,75 t ha^{-1}, valores esses inferiores quando comparado ao de Donato et al. (2006), que avaliando o comportamento de cultivares e híbridos de bananeira em dois ciclos de produção, obtiveram para a cultivar Pacovan Ken uma produtividade de 66,61 t ha^{-1}. Uma das possíveis causas dessa diferença seria a maior densidade de plantio utilizada por aqueles autores no estudo.

Bassoi et al. (2004) em experimento conduzido no Vale do São Francisco com a cultivar Pacovan, obtiveram nos dois primeiros ciclos uma produção total de 25,54 t ha^{-1}, resultado abaixo dos valores encontrados, o que vem reforçar a superioridade na maioria das variáveis analisadas de híbridos sobre seus respectivos parentais.

A plotagem dos dados apresentou o mesmo comportamento tanto para o número de frutos por cacho e número de palmas por cacho, quanto para a produtividade em função das lâminas de irrigação aplicadas, demonstrando que o modelo de melhor ajuste foi o polinomial negativo do 2° grau (Figura 16, 17 e 18). No entanto, seria necessária uma maior quantidade de dados para uma análise mais aprofundada do comportamento dessas variáveis.

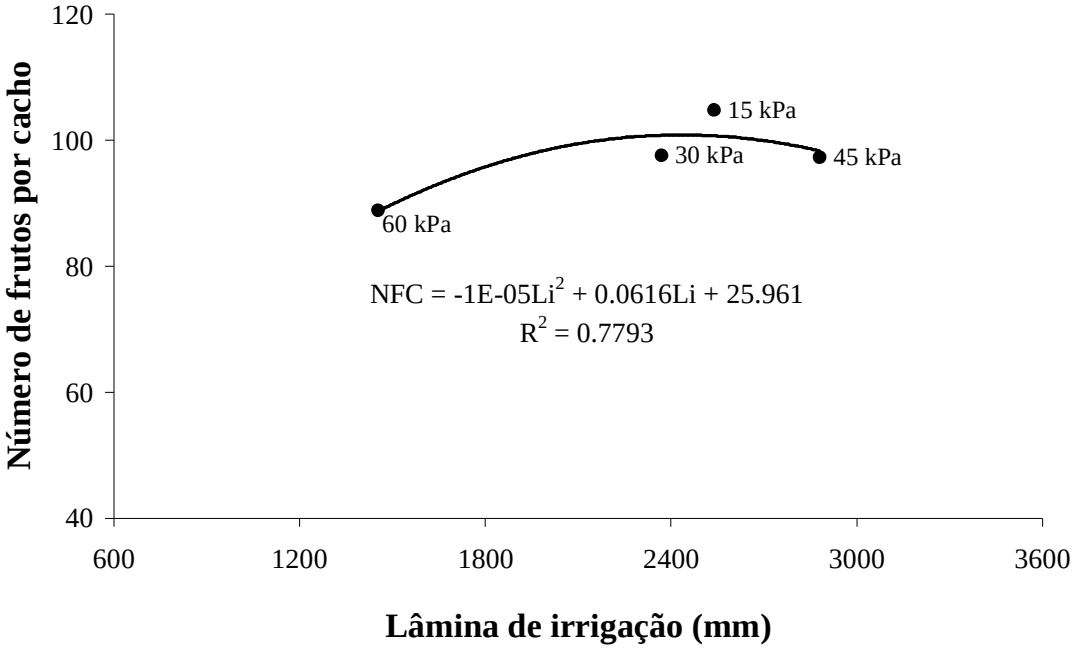


FIGURA 16 – Número de frutos por cacho da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

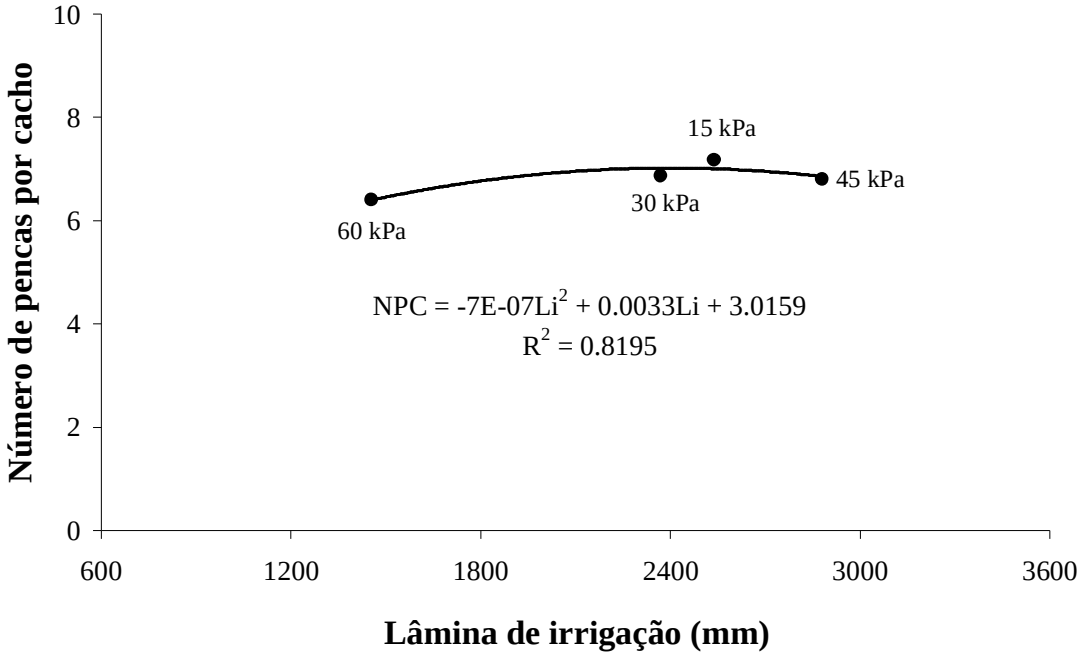


FIGURA 17 – Número de palmas por cacho da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

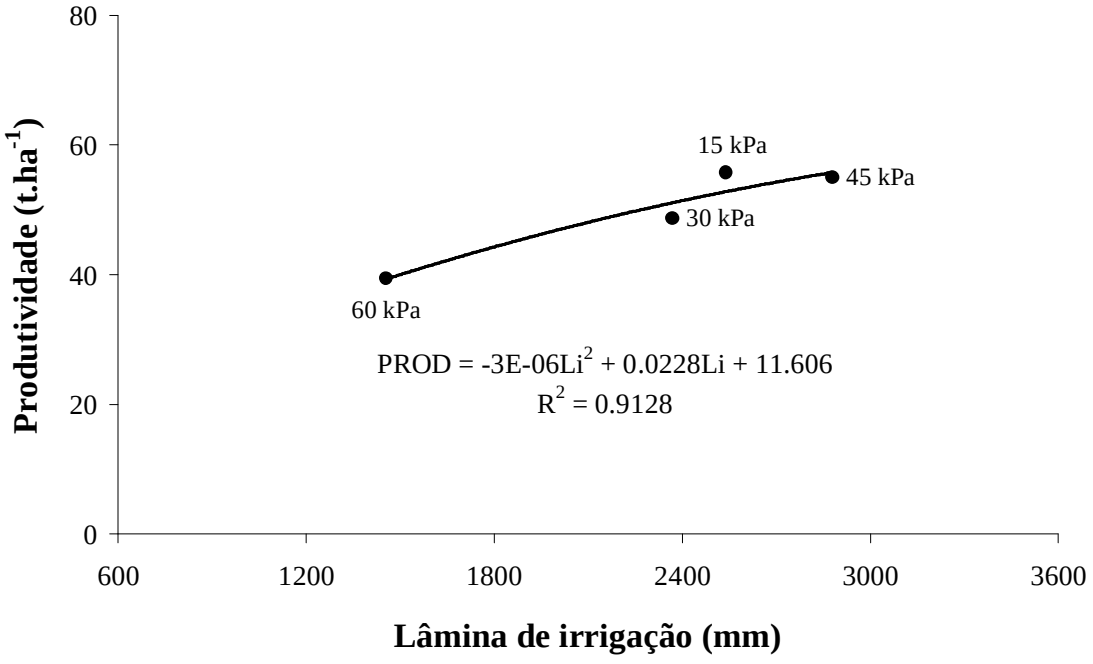


FIGURA 18 – Produtividade da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

O manejo que utilizou a tensão de 45 kPa foi o que apresentou a maior lâmina total de irrigação, o que possivelmente excedeu a capacidade de armazenamento do solo em alguns dias e causou uma maior percolação e, conseqüentemente, maior lixiviação de nutrientes. Tal fato pode ter causado a não observação de diferenças estatísticas de rendimento em relação aos tratamentos de 15 e 30 kPa, que aplicaram menores quantidades de água. No entanto, a avaliação da lâmina de água perdida por percolação não foi realizada no presente estudo.

Coelho et al. (2006b) encontrou no terceiro ciclo de produção sob irrigação por microaspersão em tabuleiros costeiros da Bahia, resultado polinomial similar para a cultivar Grand Naine, e divergente, com uma tendência linear para a cultivar Prata-Anã, com relação a produtividade em função da lâmina de irrigação. No entanto, Coelho et al. (2006a) implantando experimento semelhante no Estado de Minas Gerais, obtiveram para as duas cultivares a mesma tendência quadrática negativa.

Com relação ao peso médio do fruto, houve uma variação significativa ($p<0,01$), para a tensão de água no solo a partir de 45 kPa, como apresentado na Tabela 8. Donato et al. (2006) encontrou resultado de peso médio do fruto em torno de 183,78 e 175,82 g para o primeiro e segundo ciclo da banana Pacovan Ken, apresentando um decréscimo dos valores entre as colheitas, contrariando os dados obtidos que demonstraram um incremento entre os dois ciclos de produção.

Um comportamento diferenciado foi encontrado para o peso médio do fruto em relação às variáveis já analisadas, apresentando uma tendência quadrática positiva em relação às lâminas de irrigação (Figura 19). Garcia (2004) trabalhando na Chapada do Apodi com diferentes níveis de irrigação na cultura do mamão encontrou para o peso médio do fruto uma tendência similar. Já Coelho et al. (2006b) para duas cultivares de banana Prata-Anã e Grand Naine obteve melhor ajuste dos seus dados para o modelo polinomial negativo em relação à quantidade de água aplicada.

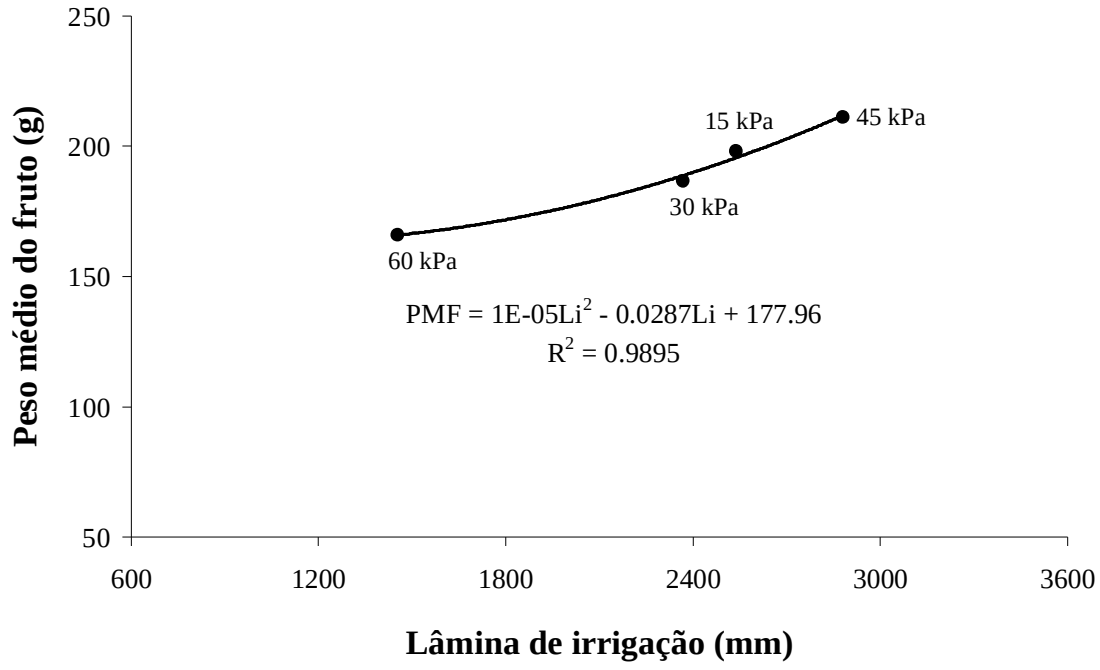


FIGURA 19 – Peso médio do fruto da bananeira cv. Pacovan Ken em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

4.3 Eficiência do uso da água

A eficiência de uso da água é muito importante na seleção de métodos de aplicação e manejo da água de irrigação, pois indica qual a combinação que leva à maior produção com o menor consumo de água; entretanto, é muito variável, encontrando-se na literatura citações de valores muito discrepantes. Na Tabela 9, pode ser observada esta eficiência e sua variação percentual em relação ao menor valor encontrado.

TABELA 9 – Eficiência de uso da água (EUA) para a cultura da banana cv. Pacovan Ken em função de diferentes tensões de água no solo.

Tensões de água no solo (kPa)	Lâminas de irrigação (mm)	Eficiência do uso da água ($kg.ha^{-1}.mm^{-1}$)	Variação percentual (%)
15	2538	21,97	14,99
30	2369	20,57	7,69
45	2880	19,10	-
60	1454	27,13	41,99

A maior eficiência do uso da água foi obtida no tratamento de 60 kPa, já a maior lâmina aplicada para a tensão de 45 kPa foi a que proporcionou a menor EUA. Para uma redução de aproximadamente 50% da maior para a menor lâmina de irrigação, houve um incremento em torno de 42% da EUA.

Resultado semelhante foi obtido por Azevedo (2004) para a cultura da banana submetida a quatro diferentes lâminas de irrigação, apresentando uma variação da eficiência em torno de 50,29% entre a maior e menor lâmina aplicada durante seu período de desenvolvimento.

Dentre as tensões de água no solo que apresentaram maior produtividade e não diferiram estatisticamente entre si (15, 30 e 45 kPa), observou-se um melhor resultado de eficiência de uso da água para o tratamento de 15 kPa. Hedge & Srinivas (1989) obteve para a bananeira cv. Robusta valores de eficiência do uso da água para duas colheitas variando de 28 a 37 $kg.ha^{-1}.mm^{-1}$.

Para a eficiência do uso da água em função da lâmina de irrigação, o modelo que melhor se ajustou foi o polinomial positivo com inclinação descendente (Figura 20), mesmo comportamento encontrado por Coelho et al. (2006a).

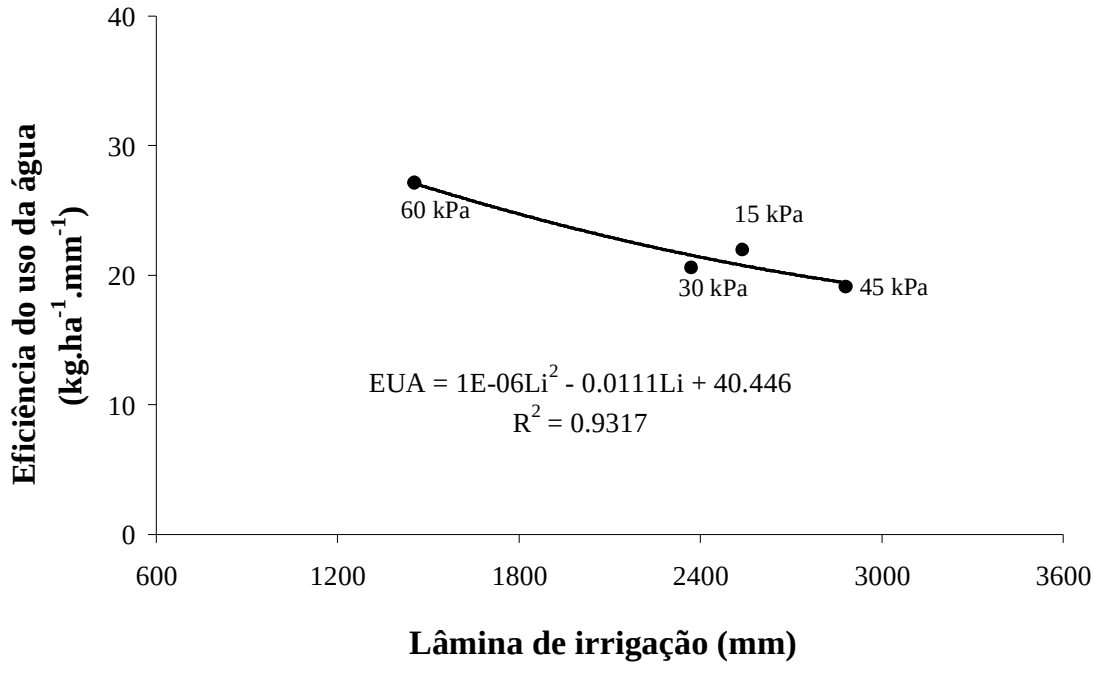


FIGURA 20 – Eficiência do uso da água em função de diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

4.4 Análise econômica

Determinou-se o tempo de funcionamento do sistema de irrigação e seu respectivo consumo de energia para a aplicação das lâminas de irrigação. Os tratamentos que demandaram menor quantidade de água, também apresentaram menor tempo de bombeamento e custo de energia elétrica durante os dois ciclos de produção da cultura.

Na Tabela 10 são apresentados os custos e as receitas obtidas pela produção de 1,0 hectare de banana cv. Pacovan Ken para cada tratamento, não considerando o valor investido na terra. Como todas as operações foram idênticas para as tensões estudadas, as diferenças observadas foram devidas às variações das lâminas por decorrência do método de controle adotado. A discriminação dos custos fixos de produção pode ser observada no Apêndice 1.

TABELA 10 – Custos e receitas obtidas para 1,0 hectare de banana cv. Pacovan Ken cultivada no DIJA, em dois ciclos de produção.

Tratamentos		Custo (R$/ha)			Receita (RS/ha)	
		Fixo (Co)	Irrigação (Ci)	Total (CT)	Bruta (VB)	Líquida (RL)
15 kPa	TN*	13.032,67	1.313,24	14.345,91	19.513,96	5.168,05
	TV**	13.032,67	628,47	13.661,14		5.852,82
30 kPa	TN	13.032,67	1.225,53	14.258,20	17.054,63	2.796,43
	TV	13.032,67	586,49	13.619,16		3.435,46
45 kPa	TN	13.032,67	1.489,99	14.522,66	19.264,53	4.741,88
	TV	13.032,67	713,05	13.745,72		5.518,81
60 kPa	TN	13.032,67	752,12	13.784,79	13.800,35	15,56
	TV	13.032,67	359,94	13.392,61		407,75

* Tarifa normal de energia (TN).
** Tarifa verde de energia (TV).

Como o custo de irrigação foi considerado igual ao custo de aplicação, temos para cada tratamento um valor referente à tarifa normal e tarifa verde de energia, com base na lâmina aplicada. O tratamento que demandou maior percentagem do capital total para o custo com a aplicação da irrigação foi a tensão de 45 kPa, chegando a 10% do valor total gasto por hectare produzido.

Analisando os dados de receita líquida para as tensões de água no solo, obteve-se a seguinte ordem (15 kPa > 45 kPa > 30 kPa > 60 kPa), levando em considerando o preço da banana de R$0,35/kg informado pelo produtor. Assim, o índice de lucratividade mais elevado foi alcançado pela tensão de 15 kPa, com valor máximo de 29% (índice de lucratividade = lucro líquido/receita bruta).

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que para a cultivar de banana Pacovan Ken, nas condições de clima e solo da região do Baixo Jaguaribe, CE, uma tensão de água no solo de até 45 kPa na zona radicular da cultura pode ser utilizada para o manejo da irrigação, sem redução de seu crescimento e rendimento. No entanto, recomenda-se à utilização da tensão de 15 kPa, por apresentar a maior receita líquida e um dos maiores valores de eficiência de uso da água, sem redução significativa da produtividade.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALGOZIN, K.A.; BRALTS, V.F.; RITCHIE, J.T. **Irrigation strategy selection based on crop yield, water, and energy use relationships: A Michigan example**. Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, USA, p.428-31. 1988.

ALVES, E. J; OLIVEIRA, M. A.; DANTAS, J. L. L.; OLIVEIRA, S. L. Exigências climáticas. In: ALVES, E.J. (Org.). **A cultura da banana:** aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. Brasília: EMBRAPA-SPI; Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF, p.35-46, 1997.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A.; BASTOS, E. A; CARDOSO, M. J.; RODRIGUES, B. H. N. **Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.36, n.2, p.301-305, 2001.

ARAÚJO, D. F. de. **Calibração de sensores de umidade tipo resistência elétrica e teste de sistema de comunicação sem fio para monitoramento do potencial da água no solo**. 2008. 74 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ASSIS JÚNIOR, R. N. **Análise de desenvolvimento do tensiômetro câmara de ar na avaliação do potencial mátrico da água**. Piracicaba, 1995, 43 f. Tese (Doutor em Física do Solo) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

AZEVEDO, J. H. O. de. **Resposta de dois cultivares de banana (Musa SP) a quatro lâminas de irrigação no Município de Pentecoste – CE**. 2004. 49 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BARRETO, A. N.; GOES, E. S.; SILVA, J. F.; ALMEIDA, A. M. **Uso do tanque classe "A" na determinação de lâmina para a cultura da bananeira**. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sínteses tecnológicas geradas pelo sistema EMBRAPA. Brasília, 1983. p. 694. (Documento, 3).

BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. C.; LIMA, J. M. P.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G.; RAMOS, C. M. C.; SEDYAMA, G. C. **Guidelines for irrigation scheduling of banana crop in São Francisco Valley, Brazil. II – water consumption, crop coefficient, and physiologycal behavior**. Revista Brasileira de Fruticultura, vol. 26, n. 3, p. 464 - 467, 2004.

BAUSCH, W. C.; BERNARD, T. M. **Validity of the watermark sensor as a soil misture measuring device**. Proceedings of the international conference on evapotranspiration and irrigation scheduling, San Antônio, Texas, ASAE, St. Joseph, MI, p. 933-938. 1996.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 5. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

BORGES, A. L.; CORDEIRO, Z. J. M.; FRANCELLI, M.; SOUZA, L. da S.; SILVA, S. de O.; COELHO, E. F.; LIMA, M. B.; MEDINA, V. M.; RITZINGER, C. H. S. P.; FOLEGATTI, M. I. da. S.; SOUZA, A. da S.; MESQUITA, A. L. M.; CARVALHO, J. E. B. de; TRINDADE, A. V.; ALMEIDA, C. O. de; MATOS, A. P. de; MEISSNER FILHO, P. E.; FREIRE, F. das C. O.; BARROS, L. de M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MOSCA, J. L.; CARVALHO, A. C. P. P. de. **Cultivo da banana para o Agropólo Jaguaribe-Apodi, Ceará**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. (Sistemas de Produção, 5). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/fontesHTML/Banana/BananaCeara/index.htm>. Acesso: em 05 abr. 2008.

BRANDELIK, A.; HUBNER, C. **Soil moisture determination-accurate, large and deep**. Phys. Chem. Earth 21(3): 157-160. 1996.

CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O. O. S. **Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso da água em uma cultura de feijão**. Scientia Agrícola, v.54, p. 1-15, 1997.

CANAFÍSTULA, F. J. F.; TEIXEIRA, A. S.; RIBEIRO, R. S. F; GONDIM, R. S.; MIRANDA, F.R. **Controle de malha fechada para irrigação de precisão**. Item: Irrigação e Tecnologia Moderna, vol. 67, p. 82-85, 2005.

CASTRUCCI, P. B. L. **Controle automático: teoria e projeto**. São Paulo: EDUSP, 1969. 280p.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L de. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso da água**. Bahia Agríc., v.7, n.1, p.57-60, 2005.

COELHO, E. F.; COSTA, E. L. da; LEDO, C. A. da S.; SILVA, S. O. **Produtividade e eficiência do uso de água das bananeiras Prata Anã e Grande Naine no terceiro ciclo no Norte de Minas**. Irriga (Botucatu), v. 11, p. 460-468, 2006a.

COELHO, E. F.; LEDO, C. A. da S.; SILVA, S. O. **Produtividade da bananeira 'Prata Anã' e 'Grande Naine' no terceiro ciclo sob irrigação por microaspersão em tabuleiros costeiros da Bahia**. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 28, p. 435-438, 2006b.

COELHO, E. F.; SILVA, J. G. F. da; ALVES, A. A. A.; CRUZ, J. L. **Irrigação do mamoeiro**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, jul. 2003. 8p. (Embrapa-CNPMF. Série Circular Técnica, 54).

COELHO, S. L. **Desenvolvimento de um tensiômetro eletrônico para o monitoramento do potencial da água no solo**. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

COSTA, E. L. da; COELHO, E. F. **Necessidade hídrica e produtividade das bananeiras 'Prata Anã' e 'Grand Naine' sob irrigação nas condições do norte de Minas**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13., 2003, Juazeiro- BA. Anais... Juazeiro-BA: ABID, 2003.

DONATO, S. L. R.; SILVA, S. O.; LUCCA FILHO, O. A.; LIMA, M. B.; DOMINGUES, H.; ALVES, J. S. **Comportamento de variedades e híbridos de bananeira (*Musa spp.*), em dois ciclos de produção no sudeste da Bahia**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal - SP, 2006. v. 28, n.1.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campinas Grande: UFPB. 1994. 360p. (Estudo FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DUARTE, S. N. **Modelo para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem subterrânea e cálculo de espaçamento de drenos**. Viçosa, Minas Gerais, 1997. 143 f. (Tese doctor scientiae).

ELDREDGE, E. P.; SHOCK, C. C.; STIEBER, T. D. **Calibration of granular matrix sensors for irrigation managament**. Agronomy Journal, Madison, v.85, p.1228-32, 1993.

EMBRAPA - **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999. 412p.

ENGLISH, M.J.; MUSICK, J.T.; MURTY, V.V.N. **Deficit irrigation**. In.: Glen, J.H.; Howel, T.A.; Salomon, K.H. (eds.) Management of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE Monograph, 1990. p.631-663.

FERREIRA, M. M.; MARCOS, Z. Z. **Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico e Regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade**. Ciência e Prática, Lavras, v.7, p. 96-101, 1983.

FIGUEIREDO, F. P. de.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; OLIVEIRA, F. G. **Produtividade e qualidade da banana prata anã, influenciada por lâminas de água, cultivada no Norte de Minas Gerais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.4, p.798-803, 2006. Campina Grande, PB.

FLORES, J. C. de O. **Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira (*Musa spp.*) em quatro ciclos de produção em Cruz das Almas-BA**. 2000. 109 f. Dissertação (Mestrado em Fruticultura Tropical) – Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas- BA, 2000.

FRIZZONE, J. A. **Função de produção**. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELLA, L. A. A.; SILVA, A. M. (Ed.). Manejo da irrigação. Lavras: UFLA/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 86-116.

GARCIA, F. C. de H. **Efeitos de níveis de irrigação na cultura do mamoeiro na Chapada do Apodi, CE**. 2004. 31 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

GOMIDE, R. L. **Monitoramento automático de fluxo de seiva com sondas de balanço de energia e caracterização de estresse hídrico de duas linhagens de milho (*Zea mays L.*)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. *Anais*... Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.

GONDIM, R. G. **Análise econômico-Comparativa do monitoramento da irrigação com caupi (*Vigna unguiculata (L.) Walp*) através de tensiômetros, tanque classe A e método de Hargreaves**. 1998. 104 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

HART, W. E.; NORUN, D.; PERI, G. **Optimal seasonal irrigation application analisis**. Journal of irrigation and Drainage Division. Asce, New York, 106(3):221-235, 1980.

HEDGE, D. M.; SRINIVAS, K. **Effect of soil matric potential and nitrogen on growth, yield, nutrient uptake and water use of banana**. Agricultural water management, vol. 16, n.1-2, p. 109-117, 1989.

HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação por pivô central na cultura do milho**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1994, Viçosa - MG. *Anais*... Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1994. 13 p. (Artigo 286)

LEÃO, R. A. de O. **Desenvolvimento de dispositivo para calibração de sensor de umidade do solo e aplicação em sensores tipo tensiômetro eletrônico e resistência elétrica**. 2004. 72 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2ª ed. Piracicaba: O autor. 1999. 497 p.

LIMA, C. A. de; MEIRELLES, M. L. **Irrigação da bananeira**. Informe agropecuário, Belo Horizonte, v.12, n.133, p. 61-64, 1986.

MACIEL, M. W. **Montagem e instalação de um sistema de controle automático de irrigação**. 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MEDICE, L. O. **Acionador automático de sistemas de irrigação**. Revista da Propriedade Industrial, Rio de Janeiro, n.1399, s.p., 1997.

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

MIRANDA, F. H.; PIRES, R. C. M. **Série Engenharia Agrícola 1 e 2**, Piracicaba: FUNEP, 2001.

MIRANDA, F. R. de. **A distributed control system for priority-based site-specific irrigation**. 2003. Tese (Doutor em Engenharia de Biosistemas) – The University of Tennessee. UT. Estados Unidos.

MONTENEGRO, A. A. T.; GONDIM, R. S.; BEZERRA, M. A.; COSTA, C. A. G.; SABINO, K. V. **Avaliação do sistema radicular da bananeira utilizando imagens digitais**. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005, Canoas - RS. *Anais*... Canoas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2005. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, S. L. de. Irrigação. In: ALVES, E. J. **A cultura da banana: aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais.** Brasília: EMBRAPA, 1997. p. 317-334.

PHENE, C. J.; HOWELL, T. A. **Soil sensor control of high-frequency irrigation systems**. Transactions of the ASAE, vol. 27, n. 2, p. 392-396, 1984.

RABELLO, L. M.; VAZ, C. M. P.; TORRE NETO, A. **Sensor capacitivo para sondagem da umidade no perfil de solo**. Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, no. 71, Nov., 2005, São Carlos, SP.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987.

RICHARDS, L. A. **Physical conditions of water in soil**. In: BLACK, C. A. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: American Society for Testing and Materials, 1965. p. 128-152.

ROBINSON, J. C. **Banana productivity - the impact of agronomic practices**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BANANA AND PLANTAIN FOR AFRICA, 1, 2000, Ibadan. Proceedings… Ibadan: ISHS, 2000.

SCHMUGGE, T. J.; JACKSON, T. J.; MCKIM, H. L. **Survey of methods for soil moisture determination**. Water Resources Research. 16:.961-979. 1980

SELKER, J. R.; GRAFF, L.; STEENHUIS, T. **Noninvasive time domain reflectometry moisture measurement probe**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.57, p. 934-936, 1993.

SHOCK, C. C.; FIBERT, E.; SAUNDERS, M. **Malheur experiment station annual report**. Spetial report 964, Oregon State University, Ontario, OR. 1996.

SILVA, L. B.; NASCIMENTO, J. L. do; NAVES, R. V.; FERREIRA, P. H. **Comportamento vegetativo de cultivares de banana submetidas a diferentes lâminas de irrigação**. Pesquisa agropecuária tropical, Goiânia, v. 34, n. 2, 2004.

SILVA, L. B.; OLIVEIRA, F. C. de.; NASCIMENTO, J. L. do. **Estimativa da demanda suplementar de irrigação da banana (*Musa sp.*) para diferentes épocas de plantio em Goiânia.** Revista Científica Ciências Biomédicas da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 7-14. mai./ago. 2003.

SILVA, S. de O.; CARVALHO, P. C. L. de.; SHEPHERD, K.; ALVES, E. J.; OLIVEIRA, C. A. P.; CARVALHO, J. A. B. S. **Catálogo de germoplasma de bananeira (*Musa spp.*)**. Cruz das Almas: Embrapa-CNPMF, 1999. 140p. (Documentos, 90).

SILVA, S. de O. **Embrapa lança primeiro híbrido de banana do tipo Prata resistente à Sigatoca-negra**. Janeiro de 2008. Disponível em: http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2001/novembro/bn.2004-11-25.7904467354/. Acesso em: 21 de julho de 2008.

SIMMONDS, N. W. **Los plátanos**. 2. ed. Barcelona: Blume, 1966. 538 p.

TEIXEIRA, A. H. C. **Uso de estações meteorológicas automáticas no manejo de irrigação de fruteira**. ITEM, Brasília, n. 51, p. 22-26, 2001a.

TEIXEIRA, L. A. J. **Cultivares de bananeira**. In: RUGGIERO, C. (Coor.). Bananicultura. Jaboticabal: FUNEP, p. 150-170, 2001b.

THOMSON, S. J.; ARMSTRONG, C. F. **Calibration of the Watermark model 200 soil misture sensor.** Applied engineering in agriculture. 3(2):186-189. 1987.

TROCHOULIAS, T.; BENSON, R. J. **Banana production doubled with irrigation**. Banana Bull. 37(1): 10 (Hort. Abst., 43: 9130), 1973.

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

YODER, R.E.; JOHNSON, D.L.; WILKERSON, J.B.; YODER, D.C. **Soil water sensor performance**. American Society of Agricultural Engineers, v. 14, n. 2, p. 121-133, 1998.

ANEXO 1 – Cálculo do valor de amortização

I - Cálculo da depreciação:

$$D = I/(N.h)$$

Em que:

D = depreciação (R$/hora);

I = valor do investimento (R$);

N = vida útil (anos);

h = horas de funcionamento/ano.

II - Cálculo dos juros:

$$j = (J.I)/h$$

Em que:

j = juros (R$/hora);

J = juros anuais (% do I.).

III - Manutenção:

$$m = (M.I)/h$$

Em que:

m = despesa de manutenção (R$/hora);

M = manutenção anual (% do I.).

IV – Custo de amortização por mm aplicado:

$$A = (D + j + m)/Ia$$

Em que:

A = valor da amortização (R$/mm);

Ia = Intensidade de aplicação (mm/h).

APÊNDICE 1 – Custos fixos de produção para 1,0 hectare de banana cv. Pacovan Ken, cultivada no DIJA, em dois ciclos de produção.

DISCRIMINAÇÃO	UN	R$/Un.	TRATAMENTO 1		TRATAMENTO 2		TRATAMENTO 3		TRATAMENTO 4	
			Quant.	(R$/ha)	Quant.	(R$/ha)	Quant.	(R$/ha)	Quant.	(R$/ha)
1. INSUMOS										
Mudas de Meristema (+5%)	Un	1,00	1333	1333,00	1333	1333,00	1333	1333,00	1333	1333,00
Esterco	t	60,00	12	720,00	12	720,00	12	720,00	12	720,00
Ureia	kg	1,74	1200	2088,00	1200	2088,00	1200	2088,00	1200	2088,00
Superfosfato triplo	kg	2,36	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Cloreto de potássio	kg	1,8	1034	1861,20	1034	1861,20	1034	1861,20	1034	1861,20
Sulfato de magnésio	kg	2,5	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
SuIfato de amônia	kg	1,04	107	110,93	107	110,93	107	110,93	107	110,93
MAP	kg	2,95	458	1351,10	458	1351,10	458	1351,10	458	1351,10
FTE BR 12	kg	2,36	200	472,00	200	472,00	200	472,00	200	472,00
2. MECANIZAÇÃO										
Aração	HM	60,00	4	240,00	4	240,00	4	240,00	4	240,00
Gradagem	HM	60,00	2	120,00	2	120,00	2	120,00	2	120,00
3. MÃO-DE-OBRA										
Marcação	DH	20,00	4	80,00	4	80,00	4	80,00	4	80,00
Coveamento	DH	20,00	10	200,00	10	200,00	10	200,00	10	200,00
Adubação de fundação	kg	20,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00
Adubação de cobertura	DH	20,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00
Prep./tratamento de mudas	DH	20,00	8	160,00	8	160,00	8	160,00	8	160,00
Plantio/replantio	DH	20,00	20	400,00	20	400,00	20	400,00	20	400,00
Aplicação de defensivos	DH	20,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00
Desbaste	DH	20,00	30	600,00	30	600,00	30	600,00	30	600,00
Capinas manuais	DH	20,00	40	800,00	40	800,00	40	800,00	40	800,00
Desfolha	DH	20,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00
Colheita//Beneficiamento	DH	20,00	20	400,00	20	400,00	20	400,00	20	400,00
Transporte interno	DH	20,00	5	100,00	5	100,00	5	100,00	5	100,00
4. AMORTIZAÇÃO [1]				796,44		796,44		796,44		796,44
TOTAL				13032,67		13032,67		13032,67		13032,67

[1] Amortização: duração média do sistema de irrigação de 10 anos, com valor do investimento de 3000,00 R$/ha, juros médios de 6% ao ano e taxa de manutenção de 3% ao ano

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.