

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIENCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

MÁRIO DE OLIVEIRA REBOUÇAS NETO

**REDE DE SENSORES SEM FIO APLICADO AO MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM
DIFERENTES FREQUÊNCIAS NA CULTURA DA MELANCIA**

FORTALEZA

2010

MÁRIO DE OLIVEIRA REBOUÇAS NETO

**REDE DE SENSORES SEM FIO APLICADO AO MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM
DIFERENTES FREQUÊNCIAS NA CULTURA DA MELANCIA**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Ph.D. Adunias dos Santos
Teixeira

FORTALEZA

2010

R241r Rebouças Neto, Mario de Oliveira
 Rede de sensores sem fio aplicado ao manejo da irrigação com diferentes
 freqüências na cultura da melancia / Mario de Oliveira Rebouças Neto, 2010.
 96 f.; il. color. enc.

 Orientador: Prof. Ph. D. Adunias dos Santos Teixeira
 Área de concentração: Irrigação e Drenagem
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de
 Ciências Agrárias. Depto. de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2010.

 1. Irrigação 2. Sistema de comunicação sem fio 3. Melancia I. Teixeira,
 Adunias dos Santos (orient.) II. Universidade Federal do Ceará – Programa de
 Pós-graduação em Engenharia Agrícola III. Título

CDD 630

MÁRIO DE OLIVEIRA REBOUÇAS NETO

**REDE DE SENSORES SEM FIO APLICADO AO MANEJO DA IRRIGAÇÃO COM
DIFERENTES FREQUÊNCIAS NA CULTURA DA MELANCIA**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Aprovada em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Adunias dos Santos Teixeira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Pesq. Dr. Rubens Sonsol Gondim (Conselheiro)
EMBRAPA- Agroindústria Tropical

Aos meus queridos pais Hugo e Marlene(*in memória*);

Aos meus irmãos Daniel e Daniely

Aos meus tios Abadias e Margarete

Aos meus cunhados Ana Flavia e Willian

As minhas avós Leocádia e Mocinha(*in memória*)

Aos meus avôs Mário e José (*in memorian*)

AGRADECIMENTOS

A Deus por iluminar a minha vida, e me conduzido por caminhos de sabedoria e simplicidade.

Aos meus pais por toda humildade, e por minha educação, formação, apoio e incentivo.

Diante de todas as dificuldades e força de vontade de concluir o curso de pós-graduação eu não poderia deixar de agradecer de forma especial ao Prof. PhD. Adunias dos Santos Teixeira, por me orientar e passar mais do que conhecimentos, me ensinado-me a persistir e superar os obstáculos.

Ao professor Ms. Clemilson Costa dos Santos do departamento de Engenharia da Computação da UFC de sobral pelo conselhos e contribuição para a melhoria desse trabalho.

Aos amigos Alipio Leão e Firmino Canafistula que me ajudaram a superar as dificuldades encontradas no curso de pós-graduação, a vocês meu sinceros agradecimentos.

Ao pesquisador da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-Agroindústria Tropical) Rubens Sonsol Gondin pelas sugestões visando à melhoria deste trabalho.

À Universidade Federal do Ceará (UFC) pela formação ao nível de graduação e mestrado e a todos os professores que contribuíram para minha formação profissional e passaram mais que conhecimentos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e a Fundação de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDECI/BNB). Sem o apoio financeiro destas instituições não seria possível realizar os trabalhos.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial aos professores Dr. Francisco Marcus Lima Bezerra, Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, Dra. Eunice Maia de Andrade, Dr. Omar Jesus Pereira, Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, Dr. Carlos Alberto Vilioti, Dr. Thales Vinicius de Araújo Viana, Dr. Renildo Luis Mion, Dr. José Carlos de Araújo, Dr. Benito de Azevedo e ao professor Dr. Sérgio Daher do Departamento de Engenharia Elétrica.

Aos colegas do grupo de pesquisa: Tadeu, Paulo, Dimas, Clênio, Mauricélio, Odílio, Simeão, Watylla, Cristina e Rafaela, e ao morador da casa do lote Alex, por toda ajuda e colaboração para o desenvolvimento deste trabalho. E a todos os colegas de turma.

*“É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final.
Eu prefiro na chuva caminhar,
que em dias tristes em casa me esconder.
Prefiro ser feliz, embora louco,
que em conformidade viver ...”*

Martin Luther King

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver componentes de uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) que permitisse a automação de um sistema de irrigação e utilizá-la para avaliar o efeito da frequência da irrigação no desenvolvimento da cultura da melancia. Os sensores capacitivos FDR e os módulos remotos, assim como os dispositivos de acionamento de bomba e válvulas, foram desenvolvidos no Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) da UFC. Foram utilizados neste trabalho, 8 pares de sensores instalados em duas profundidades. A RSSF utilizada é formada por módulos sensores capazes de comunicarem-se entre si por rádio frequência, possuindo um ponto de comunicação final (estação base). O sistema de RSSF foi constituído de 8 módulos sensores, um módulo de acionamento de válvula, um de acionamento de bomba e um módulo mestre conectado ao computador. Os tratamentos consistiram de diferentes manejos da irrigação da melancia, variedade Crimson Sweet: 1 – frequência de 5 irrigações; 2 – 4 irrigações; 3 – 3 irrigações e 4 – 2 irrigações, em horários pré-definidos. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado. Foram avaliados os seguintes parâmetros: crescimento da cultura; massa média, diâmetro e comprimento dos frutos; produtividade e número de frutos por hectare. De posse dos dados aplicou-se o teste F para verificar a significância e havendo diferença significativa as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 e 1%. As respostas dos sensores capacitivos FDR foram coletadas diária e continuamente pelos módulos sensores e os tempos de irrigação foram determinados com base na equação de calibração. A cultura apresentou diferença significativa para a produtividade, quantidade de frutos por hectare, diâmetro e comprimento. A RSSF mostrou-se um sistema dinâmico e preciso e pode, em conjunto com os sensores capacitivos FDR, auxiliar pesquisadores e produtores nas decisões inerentes ao manejo da irrigação. Os módulos de acionamento de bomba e válvulas foram precisos nos comandos ligar e desligar, possibilitando a sua utilização na automação dos sistemas de irrigação. Quanto ao fracionamento das irrigações, o tratamento 2 mostrou-se o mais adequado, pois, diante das variáveis analisadas da cultura, superou os demais tratamentos, principalmente no quesito produtividade, embora não tenha diferido estatisticamente dos tratamentos 1 e 3.

Palavras-chave: Automação. Comunicação sem fio. Frequência de irrigação.

ABSTRACT

Our objectives were to develop components of a Wireless Sensor Network (WSN) that would allow the automation of an irrigation system and the use of the that system to evaluate the effect of the frequency of irrigation in watermelon crop. The capacitive sensors FDR, the remote modules, and the pump and valve actuators were developed in the Department of Agricultural Engineer (DENA) in the Federal University of Ceara (UFC). Eight pairs of sensors, installed at two depths, were used in this work . The intercommunicating wireless sensor modules linked to the base station compose the WSN. The WSN system consists of eight sensor modules, a valve actuator module, a pump actuator module, and a master module connected to the computer. Treatments consisted of different irrigation frequencies of the Watermelon cultivation (Crimson Sweet variety): 1 - irrigation frequency of 5 times a day , 2- irrigation frequency of 4 times a day; 3- irrigation frequency of 3 times a day and 4- irrigation frequency of 2 times a day, all following the pre-defined schedule. The experiment were evaluated: a completely randomized design. The following parameters: crop growth; average weight, length and diameter of fruits, yield and fruit number per hectare. After having collected the data, the F test to assess the significance was applied. When found significant differences, the averages were compared by Tukey test at 5 and 1%. The responses of the capacitive sensors FDR were collected daily and continuously by the sensor modules and the irrigation times were determined from the calibration equation. The culture showed a significant difference in productivity, number of fruits per hectare, fruit diameter and fruit length. The WSN has proved to be a dynamic and accurate system and can, in conjunction with capacitive sensors FDR, help researchers and producers in decisions related to irrigation management. The pump actuator modules and the valve actuator modules were accurate in turning pumps and valves on and off, allowing their use in the automation of irrigation systems. With regard to the irrigation frequencies treatments, treatment 2 was indicated to be the most appropriate, since it outperformed the others, especially in the parameter crop yield, however, it cannot be an absolute conclusion, since treatment 2 did not differ significantly from the treatments 1 and 3.

Keywords: Automation. Wireless communication. Irrigation frequency.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Área experimental cultivada com melancia	32
FIGURA 2	Croqui da área experimental	35
FIGURA 3	Sensor capacitivo sem encapsulamento	37
FIGURA 4	Sensor capacitivo pronto para instalar no campo.....	37
FIGURA 5	Moldura de madeira (a), e processo de marcação (b)	38
FIGURA 6	Sensor preenchido com solo	38
FIGURA 7	Sensores instalado no solo em 2 profundidades	39
FIGURA 8	Rádio transceptor da Laipac, modelo TRF 24 GHz.....	41
FIGURA 9	Módulo remoto	41
FIGURA 10	Diagrama módulo mestre.....	42
FIGURA 11	Módulo mestre (a) e Módulo instalado na casa do produtor (b)	43
FIGURA 12	Instalação do módulo remoto no campo.....	44
FIGURA 13	Painel solar instalado no campo	45
FIGURA 14	Circuito para regular a passagem de tensão do painel solar para a bateria	47
FIGURA 15	Placa inferior de acionamento das válvulas (a)e vista superior da placa base de acionamento das válvulas (b)	48
FIGURA 16	Placa de acionamento do conjunto motobomba.....	49
FIGURA 17	Tela principal da interface	51
FIGURA 18	Tela principal da interface com a função “Adquiri AUTO” ativada	51
FIGURA 19	Dados coletados dos módulos sensores no campo	52
FIGURA 20	Planilha do cálculo do tempo de irrigação	54
FIGURA 21	Medição do crescimento do ramo principal	56
FIGURA 22	Medida do comprimento (a) e medida do diâmetro (b)	57
FIGURA 23	Determinação da massa dos frutos	57
FIGURA 24	Comparação dos valores de umidade do sensor com o método padrão	60
FIGURA 25	Módulos sensores instalados no campo e módulo mestre na estação base	62
FIGURA 26	Distância do módulo de acionamento das válvulas e o módulo mestre	63
FIGURA 27	Módulo sensor alimentado por painel solar	64
FIGURA 28	Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 36 durante o manejo.....	66
FIGURA 29	Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 40 durante o manejo	66
FIGURA 30	Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 42 durante o manejo	67
FIGURA 31	Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 37 durante o manejo	68
FIGURA 32	Variação da umidade volumétrica ao longo do experimento pelo módulo 36.....	69
FIGURA 33	Variação da umidade volumétrica ao longo do experimento pelo módulo 40.....	70
FIGURA 34	Variação da umidade volumétrica ao longo do experimento pelo módulo 42.....	70
FIGURA 35	Variação da umidade volumétrica ao longo do experimento pelo módulo 37.....	71
FIGURA 36	Taxa de crescimento médio da cultura.....	75
FIGURA 37	Relação entre diâmetro e comprimento médio dos frutos	78
FIGURA 38	Área do experimento atacada por doenças	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Análise física do solo.....	33
TABELA 2	Total de nutrientes aplicados na adubação de fundação e fertirrigação...	34
TABELA 3	Horários das irrigações por tratamento	36
TABELA 4	Características do painel solar	46
TABELA 5	Distância dos módulos sensores para o módulo mestre instalado na estação base	62
TABELA 6	Umidade máxima, mínima, média, números de irrigações, volume total de água aplicado e consumo de energia	72
TABELA 7	Massa média do módulo remoto, sensor capacitivo e bateria.....	73
TABELA 8	Análise de variância para a taxa de crescimento	74
TABELA 9	Análise de variância para o numero de frutos/ha	75
TABELA 10	Comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.....	75
TABELA 11	Análise de variância para o diâmetro médio dos frutos.....	76
TABELA 12	Diâmetro médios dos frutos comparado teste de Tukey a 5% de probabilidade	76
TABELA 13	Análise de variância para o comprimento médio dos frutos.....	77
TABELA 14	Comprimento médios dos frutos comparado teste de Tukey a 5% de probabilidade	77
TABELA 15	Análise de variância para a massa média dos frutos.....	79
TABELA 16	Massa média dos frutos por tratamento.....	79
TABELA 17	Análise de variância para a produtividade média dos frutos	80
TABELA 18	Produtividade média comparada pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade	80
TABELA 19	Temperatura média (°C) e precipitação (mm)	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
PIC	Peripheral Interface Controllers
PVC	Policloreto de vinila
RAM	Random Access Memory – memória de acesso aleatório
ISM	Industrial, Scientific, and Medical
FDR	Reflectometria no domínio da frequência
TDR	Reflectometria no domínio do tempo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	Solo	16
2.2	Umidade do solo e métodos de determinação.....	17
2.3	Sensores do tipo capacitivo	19
2.4	Erros de leituras dos sensores.....	20
2.5	Avanços da tecnologia na irrigação	21
2.6	Automação de sistema de irrigação	22
2.7	Atuadores	24
2.8	Aplicação de rede de sensores sem fio (RSSF) na agricultura.....	25
2.9	Painel solar	27
2.10	Manejo da irrigação	28
2.10.1	Utilização de sensores no manejo da irrigação.....	29
2.10.2	Irrigação de alta frequência.....	30
2.11	Cultura da melancia.....	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Área experimental.....	32
3.2	Delineamento experimental	33
3.3	Preparo da área e plantio.....	33
3.4	Condução da cultura.....	34
3.5	Sistema de irrigação	34
3.6	Sensor do tipo capacitivo FDR	32
3.7	Instalação dos sensores no solo	37
3.8	Validação da calibração do sensor em campo.....	39
3.9	Característica da rede de sensores sem fio (RSSF)	39
3.9.1	Módulo remoto	40
3.9.2	Módulo mestre.....	42
3.9.3	Instalação da rede de sensores sem fio (RSSF) no campo	43
3.9.4	Características do painel solar e alimentação do módulo remoto.....	44
3.9.5	Automação de válvula e bomba.....	47
3.9.5.1	Acionamento automático das válvulas.....	47
3.9.5.2	Acionamento automático da bomba.....	48
3.10	Interface de controle e aquisição de dados.....	49
3.11	Manipulação dos dados para controle da irrigação	52
3.12	Avaliação da cultura	54
3.12.1	Avaliação da germinação	55
3.12.2	Taxa de crescimento da cultura	55
3.12.3	Comprimento e diâmetro dos frutos	56
3.12.4	Massa média dos frutos	58
3.12.5	Número de frutos e produção	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	59
4.1	Avaliação da equação de calibração dos sensores.....	59
4.2	Avaliação da RSSF	61
4.2.1	Comunicação dos módulos sensores com o módulo mestre	61
4.2.2	Acionamento via rádio frequência do conjunto motobomba e válvulas.....	63
4.2.3	Fonte de alimentação da RSSF	64

4.4	Monitoramento da umidade através RSSF	65
4.5	Massa média do módulo remoto, sensor capacitivo e bateria	72
4.6	Resposta da cultura aos tratamentos	73
4.5.1	Taxa de crescimento.....	73
4.5.2	Número de frutos por hectare.....	74
4.5.3	Diâmetro e comprimento dos frutos	76
4.5.4	Massa média dos frutos.....	78
4.5.5	Produtividade da melancia	79
5	CONCLUSÕES	82
6	RECOMENDAÇÕES	83
	REFERÊNCIAS	84
	APÊNDICES	93

1 INTRODUÇÃO

O processo de irrigação consiste em disponibilizar água para a planta de forma artificial através de técnicas que vão desde um simples processo, como pegar um recipiente qualquer com água e aplicar sobre a planta, até as mais avançadas técnicas de engenharia da irrigação como as construções de canais de alvenaria ou o dimensionamento de sistema utilizando tubos de PVC rígido e polietileno. Porém é fundamental saber a quantidade necessária de água a ser aplicada e o momento ideal. Esses são parâmetros que devem ser definidos de forma a permitir uma boa eficiência no uso da água, energia e equipamentos e são governados pelas condições climáticas do local, tipo de cultura e estágio de desenvolvimento, profundidade efetiva do sistema radicular e umidade do solo. As considerações desses critérios definem a necessidade de água para a cultura e a frequência de irrigação, do uso eficiente deste bem limitado, principalmente nas regiões semiáridas.

O manejo da irrigação constitui uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental numa atividade agrícola. Através de um manejo adequado da irrigação, pode-se aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade do produto. O déficit de água pode reduzir a produção e/ou a qualidade do produto, enquanto o excesso de irrigação, além das perdas de água e energia, pode contribuir para a lixiviação dos nutrientes e agroquímicos para as camadas inferiores do solo ou até mesmo atingindo o lençol freático.

A necessidade de implementação de novas estratégias de manejo de água às culturas, evidencia a demanda de modelos em linguagem computacional simples e acessível aos potenciais usuários da irrigação. A automação é uma ferramenta que contribui, sobremaneira, na tomada de decisão da programação das irrigações em condições de campo, em tempo quase que real, estimulando, assim, o uso de microcomputadores e "softwares" no dimensionamento da reposição da água demandada pelas plantas no processo de evapotranspiração (GOMIDE, 1998).

No Brasil, a automação de sistemas de irrigação vem sendo implantada com maior intensidade nos últimos anos, principalmente em função do surgimento de técnicas apropriadas que vem acompanhando a modernização crescente da agricultura e abertura do mercado brasileiro às importações, principalmente com relação à irrigação localizada, liderada por empresas americanas, israelenses e européias. A necessidade da busca de otimização dos recursos produtivos, da competitividade no mercado através do aumento de produtividade e redução de custos, leva a uma tendência na adoção de tecnologias capazes de tornar a exploração cada vez mais rentável.

A automação se faz necessária não somente pela possibilidade de diminuição dos custos com mão de obra, mas principalmente por necessidades operacionais, tais como irrigação de grandes áreas no período noturno.

As atividades de produção e manejo, em propriedades rurais, vêm demandando cada vez mais soluções de alta tecnologia. A utilização de uma rede de sensores sem fio (RSSF) permite automatizar a coleta de informações ambientais como temperatura e umidade do ar que são parâmetros fundamentais para o gerenciamento de armazenagem de grão em silos ou mesmo o monitoramento da umidade do solo para auxiliar nas tomadas de decisões de quando e quanto irrigar.

Procurando alternativas de monitoramento de umidade do solo e controle automático de sistemas de irrigações, Santos et al. (2008) desenvolveram um sistema de comunicação sem fio utilizando componentes de baixo preço e de fácil disponibilidade no mercado. Santos (2008) testou esta RSSF em um campo agrícola cultivado com melancia coletando dados, via rádio frequência, dos teores de água no solo fornecidos por sensores de umidade FDR. Segundo o autor, a RSSF possibilitou acompanhar em tempo real o processo de variação do conteúdo de água no solo, adquirindo dados em distâncias de 142 metros entre os módulos sensores e o módulo mestre, mostrando-se um sistema bastante flexível para aplicação na agricultura.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver componentes de uma RSSF que permitissem a automação de um sistema de irrigação e utilizar a RSSF para avaliar o efeito da frequência da irrigação no desenvolvimento da cultura da melancia.

2.REVISÃO DE LITERATURA

Na visão inicial, a irrigação era vista somente como a aplicação de água e tinha como objetivo principal à luta contra a seca. No novo conceito, a irrigação evoluiu de simples aplicação de água na agricultura para um importante instrumento no aumento da produção, produtividade e rentabilidade (MANTOVANI et al., 2007). Porém, em função do volume de água necessário, é preciso fazer uso de sistemas de irrigação e de tecnologias que permitam monitorar a quantidade de água necessária e o momento certo de ser aplicada em determinada cultura.

2.1 Solo

O solo, de uma forma geral, pode ser definido como um complexo dinâmico, resultado da ação integrada da atmosfera, litosfera e biosfera (AMARO FILHO et al., 2008). O solo é constituído de partículas sólidas, líquidas e gasosas. O volume de sólidos pode ser considerado praticamente fixo, enquanto os gases e a solução dividem o espaço poroso do solo. Se a quantidade de solução ou a umidade do solo aumentam, a quantidade de gases diminui. Na realidade, o solo pode ser considerado um grande reservatório, cuja quantidade de água armazenada varia com a umidade (BERNADO et al., 2008).

O solo é formado pelos processos de intemperismo das rochas fragmentadas e desgastadas da superfície terrestre. A decomposição das rochas ocorre por processos físicos e químicos sendo anterior e atualmente estimulada pela atividade geológica e pelos resíduos acumulados de numerosas espécies de plantas e animais macro e microscópicos (AMARO FILHO et al., 2008).

A matriz sólida do solo inclui partículas que variam na composição mineralógica, no tamanho e na orientação, sendo composta, além disso, de substâncias amorfas, particularmente, de matéria orgânica que está atrelada aos grãos minerais que, em geral, une-os formando agregados. As características geométricas dos espaços porosos, onde sucede a transmissão e/ou a retenção da água e do ar, são ditadas pela organização dos componentes sólidos (HILLEL, 1980 apud SILVA, 2005).

A estrutura é um atributo edáfico que serve como referência aos estudos de solo no campo. Em outras palavras, quase tudo no solo gira em torno de sua estrutura, as partículas são consideradas não só como separados mecânicos individuais, mas também como agregados ou elementos estruturais que se formam pela agregação das frações menores. Como muitos solos são formados de partículas agregadas, apresentam o espaço poroso dividido em microporos (porosidade dentro do agregado) e macroporos (porosidade entre os agregados), (AMARO FILHO et al., 2008).

2.2 Umidade do solo e métodos de determinação

A umidade do solo é o índice quantificador mais básico da água numa dada amostra de solo e, tradicionalmente, tem sido expressa à base de massa e à base de volume (LIBARDI, 2005). A umidade à base de massa é representada pela relação entre a massa ocupada pela água em uma amostra de solo num dado instante e a massa de sólidos da amostra. A relação entre umidade à base de massa (u) e umidade à base de volume (θ) é dada pela densidade do solo.

Vários são os métodos de determinação de umidade no solo, os quais, por sua vez, não diferem em relação à finalidade de quantificar sua umidade. Suas principais diferenças resumem-se à forma e local de medição, instalação, preço, tempo de resposta e, principalmente, operacionalidade no campo (MANTOVANI et al., 2007).

Klar (1988) afirma que todos os métodos utilizados na determinação da umidade do solo apresentam limitações, ou quanto à precisão, ou por serem dispendiosos, ou excessivamente morosos.

Libardi (2005) também comenta que todos os métodos apresentam as limitações citadas anteriormente, ou ainda, o elevado nível de complexidade de alguns métodos.

Segundo Miranda et al. (2001), a escolha do método a ser utilizado vai depender de suas limitações que podem ser a baixa precisão, alta complexidade, ou por exigirem equipamentos que não estejam disponíveis. Diversos autores classificam os métodos em diretos e indiretos.

Os métodos diretos são aquele em que se obtém diretamente o valor de umidade sem a necessidade de se utilizar curvas de calibração sendo o método gravimétrico ou método padrão da estufa como referência para todos os outros métodos. Este método é baseado na

diferença de peso de uma amostra em que se deseja determinar a umidade antes e após a secagem.

Os equipamentos utilizados são uma balança de precisão e uma estufa comum, aquecida a uma temperatura entre 105 e 110°C. Depois de pesada a amostra é colocada na estufa por 24 a 48 horas. Seu principal inconveniente é a demora no tempo de resposta.

Os métodos indiretos são aqueles que necessitam de uma calibração para obtenção do valor de umidade, dentre estes se destacam: O tensiômetro que mede a tensão de água no solo, sendo a umidade medida de forma indireta através da equação da curva característica de retenção de água no solo; o instrumento, conhecido como medidor de umidade de nêutrons, ou sonda de nêutrons, consiste de dois componentes principais: uma sonda, introduzida verticalmente no solo por meio de um tubo de acesso previamente instalado, que contém uma fonte emissora de nêutrons rápidos e um detector de nêutrons lentos ou termalizados e um medidor que faz o monitoramento dos nêutrons lentos próximos ao detector, tendo como princípio de funcionamento a emissão de nêutrons rápidos que se chocam com núcleos atômicos que vão gradativamente perdendo velocidade diminuindo sua energia cinética sendo essa perda máxima quando o nêutron choca-se com um núcleo que tenha aproximadamente a mesma massa, no caso, o núcleo de hidrogênio (AMARO FILHO et al., 2008). O cuidado que se deve tomar na utilização da sonda de nêutrons é a não exposição à radiação gama emitida pela fonte.

O TDR envolve a medida da constante dielétrica do solo por meio da medida do tempo decorrido por um pulso eletromagnético, obtido através da introdução de hastes de aço inoxidável no solo. Esse tempo decorrido é proporcional à constante dielétrica do solo e varia unicamente com o seu conteúdo de água (MANTOVANI et al., 2007). A relação da leitura do TDR com a umidade do solo é expressa por sua curva de calibração, podendo ser descrita por modelos estatísticos totalmente empíricos, ou baseados em princípios físicos ou, ainda, mistos. Esta curva pode ser da umidade em função da permissividade ou do tempo medido pelo equipamento, este último deve resultar em uma relação linear (HOOK et al., 1992). Diversos são os modelos para a calibração do TDR, sendo o proposto por Topp et al. (1980), o que tem sido usado como referência. Este modelo admite que a constante dielétrica aparente do solo fosse apenas uma função do conteúdo de água do mesmo. O modelo desconsidera as demais variáveis do solo, mas apresenta melhores coeficientes de ajuste em solos homogêneos, sendo utilizado por diversos fabricantes de equipamentos TDR, a fim de medir o conteúdo de água do solo, uma vez que apresenta coeficientes de ajuste elevados em solos minerais com conteúdo de água menor que $0,5 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (SERRARENS et al., 2000).

O FDR é uma técnica de medida e observação de fenômenos semelhante ao TDR na medida em que se baseia no princípio da reflexão. No entanto, essas medidas e observações são feitas no domínio da frequência (ARAÚJO, 2004). Silva (2005) desenvolveu um sensor FDR e o avaliou quanto à resposta da variação da umidade no solo, obtendo um resultado positivo e concluindo que o mesmo pode ser utilizado no manejo da irrigação. Oliveira (2008) utilizou esse mesmo sensor para realizar o manejo da irrigação em um cultivo de melancia e concluiu que o sensor permite medir a umidade em tempo real. Santos et al. (2008) foram mais além e desenvolveram um sistema de redes de sensores sem fio, de baixo custo, para o monitoramento e controle de irrigação de precisão. Em suas avaliações, os autores obtiveram dados de infiltração de água no solo, adquiridos por dois sensores capacitivos FDR, através da transmissão entre um módulo sensor e o módulo mestre conectado a um PC e evidenciaram o correto funcionamento do sistema, podendo ser facilmente instalado em campo. Cruz (2009), realizando o manejo da irrigação na cultura do milho, utilizando os mesmos equipamentos desenvolvidos por Santos et al. (2008), concluiu que o mesmo pode monitorar eventos de irrigação e chuva mostrando-se altamente robusto ou seja resistente às intempéries ambientais como sol, chuva e vento.

2.3 Sensores do tipo capacitivo

Mead et al. (1994) apud Silva (2005) afirmam que a medição da constante dielétrica do solo em frequências menores que 1 GHz é um método alternativo de medição da umidade do solo, e que a microeletrônica possibilita a medição da capacitância dos eletrodos e a posterior correlação com a dinâmica da umidade volumétrica do solo. As vantagens dos sensores capacitivos, em relação aos métodos nucleares tradicionais de monitoramento da umidade são bem maiores, tais como: equipamentos mais leves, instalação permanente, rápida resposta, ausência de efeitos radioativos e pouco erro aleatório de contagem associado.

Nadler e Lapid (1996) afirmam que existe a necessidade de desenvolvimento de dispositivos para medir a umidade do solo com acurácia, a preços acessíveis e estrategicamente convenientes, capazes de substituir a sonda de nêutrons. Além disso, características como equipamentos mais leves, instalação permanente, rápida resposta, ausência de efeitos radioativos e poucos erros aleatórios associados tornam os sensores capacitivos bem mais vantajosos que os nucleares tradicionais.

O método da capacitância é uma ótima opção, pois é calibrado com facilidade em laboratório e, além disso, é uma técnica menos dispendiosa comparada ao método TDR, que exige maior instrumentação e requer mais conhecimento técnico para sua utilização (MIRANDA et al., 2009).

Os sensores do tipo capacitivos têm por base o uso de um capacitor em um circuito RC, constituindo um oscilador onde a frequência depende do teor de água no solo onde o mesmo está inserido (OLIVEIRA, 2008).

Considerando um capacitor de placas paralelas e planas, obtêm-se a capacitância pela equação 1.

$$C = \xi * (ab/d), \quad (1)$$

sendo ab , a área das placas em (m²); d , a distância que as separa em (m) e ξ , a permissividade do meio em (F m⁻¹). A capacitância é medida em Farads (C V⁻¹ ou C² (N m)⁻¹).

A capacitância de qualquer capacitor depende do tipo de dielétrico, da área das placas e da distância entre as mesmas. Segundo Hickey (1961), o próprio ar é um dielétrico, e diferentes dielétricos produzem diferentes capacitâncias. A habilidade de um material dielétrico aumentar a capacitância é denominada constante dielétrica. Silva (2005) desenvolveu um sensor capacitivo que usava como material dielétrico o solo.

Recentemente os sensores capacitivos vêm sendo utilizados de forma mais constante em pesquisas, mas o seu desenvolvimento inicial foi inspirado em trabalhos desenvolvidos por Topp et al. (1980), em que foi utilizado um modelo matemático baseado em um polinômio do terceiro grau para relacionar umidade do solo à constante dielétrica do mesmo. Em trabalhos recentes Silva (2005) também encontrou uma tendência polinomial de terceiro grau ao relacionar a resposta do sensor capacitivo com conteúdo de água no solo. Porém, outros autores, dentre eles Silva et al. (2007), Oliveira (2008) e Cruz et al. (2009), se depararam com modelos matemáticos baseados em curvas potenciais explicando a relação dos teores de água no solo com a resposta de seus sensores capacitivos.

2.4 Erros de leituras dos sensores

Os sensores podem apresentar erros de leituras, isto é, podem registrar um valor diferente do valor real. Pereira (2002) afirma que devido ao fato do valor verdadeiro da medida

ser, normalmente, desconhecido, o erro de uma leitura é a diferença entre a leitura e a média de várias leituras, deixando claro que a precisão do sensor é que define o erro de leitura.

A presença de sais ou outras substâncias presentes em matérias colocadas no solo como, por exemplo, o esterco pode influenciar diretamente o comportamento da constante dielétrica e com isso alterar a leitura do sensor.

Ruth (1999) revela que os fios utilizados na sonda capacitiva, desenvolvida em seu estudo, podem levar a um fluxo induzido da água no solo, entretanto, afirma que no processo de encolhimento e expansão, os fios não criam rachaduras evitando, assim, falsas leituras. Não obstante, os fios que ligam o sensor propriamente dito ao circuito, influenciam na capacitância, por acrescentarem um valor de capacitância que, pode mascarar o valor real das medidas. Cruz (2007) relata que ao testar algumas medidas de comprimento de cabo relacionadas com a resposta fornecida por uma placa de aquisição de dados e por um frequencímetro digital, encontrou respostas reais dos sensores capacitivos FDR quando o cabo encontrava-se com o comprimento de 1,5 metros.

Os erros dos sensores são classificados em: a) erros de instalação, quando no ato de inserção do sensor no sistema, o parâmetro a ser medido é alterado; b) erros de aplicação são os causados pelo operador e ocorrem, por exemplo, quando o sensor é colocado em um local diferente do desejado; c) erros de característica são os erros inerentes ao próprio sensor, consistindo na diferença entre a curva de calibração do sensor, a qual é especificada pelo fabricante e a curva real do sensor; d) erros de dinâmica são relativos às respostas dos sensores sob condições de mudança rápida do parâmetro que está sendo medido, ocorre quando o tempo de resposta dos sensores não acompanha a taxa de mudança do fenômeno que está sendo medido; e) erros ambientais são os erros decorrentes dos fatores do ambiente, no qual o sensor está sendo utilizado como temperatura, vibração, umidade, dentre outros (THE UNIVERSITY OF QUEENSLAND, 2004 apud LEÃO, 2004).

2.5 Avanços da tecnologia na irrigação

Atualmente, nota-se uma intensa modificação do meio rural. Ela se deve ao uso intensivo de tecnologia de ponta, voltada para aumentar a capacidade de trabalho na propriedade e a precisão dos equipamentos, visando uma economia dos recursos naturais e redução do efeito nocivo ao meio ambiente (QUEIROZ, 2007).

O desenvolvimento da eletrônica, associada à expansão crescente do mercado, tem possibilitado o acesso à tecnologia e ferramentas de ponta que antes eram disponíveis em apenas centro de pesquisas (GOMIDE, 1998). A irrigação de um modo geral, tem se beneficiado desse avanço tecnológico, seja no desenvolvimento de novos equipamentos, seja na adaptação dos já disponíveis em outros setores da produção (VILELA et al., 2003).

Na agricultura, vários cientistas têm trabalhado em diferentes áreas, utilizando algum tipo de sistema de aquisição de dados com a finalidade de monitorar eventos em suas pesquisas (GARCIA et al., 2003).

Com a modernização da agricultura, as empresas passaram a utilizar microcomputadores em suas atividades. Projetistas e engenheiros utilizam esta valiosa ferramenta para agilizar seus cálculos e para elaborar a apresentação e a manipulação de seus projetos (MARQUES, 2000).

Com a grande utilização da informática nos dias de hoje, há uma crescente utilização de sistemas informatizados no manejo da irrigação. Sistemas de irrigação computadorizados foram desenvolvidos por Cahoon et al. (1990), Phene et al. (1992), e Zazueta et al. (1994), dentre outros.

Segundo Baltra (1987), o cálculo computacional abriu um novo e vasto panorama com muitas vias de solução para os problemas da água, sua distribuição e seu benefício por meio da irrigação.

2.6 Automação de sistema de irrigação

Automação (do latim *Automatus*, que significa mover-se por si), é um sistema de controle pelo qual os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e introduzindo correções, sem a necessidade da interferência do homem (HOLANDA, 1975).

Para viabilizar a automação de um determinado processo, existe uma necessidade preliminar de realização de um estudo técnico (também chamado de engenharia básica ou levantamento de dados) que verificará todas as necessidades para o processo desejado, servindo como subsídio para a identificação, análise e determinação da melhor estratégia de controle e para a escolha dos recursos de hardware e/ou software necessários para a aplicação (AUTOMAÇÃO, 2010).

A automação de processos tem sido 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).

No Brasil, a automação de sistemas de irrigação vem sendo implantada com maior intensidade nos últimos anos, principalmente em função do surgimento de técnicas apropriadas que vem acompanhando a modernização crescente da agricultura e abertura do mercado brasileiro às importações, principalmente com relação à irrigação localizada, liderada por empresas americanas, israelenses e européias. A necessidade da busca da otimização dos recursos produtivos, da competitividade no mercado, da necessidade de aumento da produtividade e redução dos custos, leva a uma tendência de adoção de tecnologias capazes de tornar a exploração cada vez mais competitiva e rentável.

A automação se faz necessária não somente pela possibilidade de diminuição dos custos com mão de obra, mas principalmente por necessidades operacionais, tais como irrigação de grandes áreas no período noturno (SUZUKI e HERNANDEZ, 2010).

Maciel (2005) trabalhando com automação de sistema de irrigação montou um sistema automático por temporizador onde o conjunto motobomba era acionada por um contactor onde se programava a data e o tempo de funcionamento do sistema de irrigação.

Podem-se destacar como vantagens da automação de sistemas de irrigação os seguintes itens:

- Diminuição de mão-de-obra;
- Possibilita irrigações noturnas sem a necessidade de um operador;
- Diminui a potência de acionamento da bomba;
- Diminui custo com bombeamento;
- Precisão nos tempos e turnos de irrigação;
- Melhor eficiência na aplicação de água.

Por essas vantagens, pode-se ver que uma simples automação supre muita das necessidades da exploração racional e rentável, tais como otimização dos recursos produtivos e redução de custo.

O pivô central é segundo Vilela (2002), o sistema de irrigação por aspersão mais automatizado que existe no mercado, podendo essa automação variar desde um simples acessório a controladores que permitem o seu acionamento a distância por meio de ondas de

rádio ou telefone celular. No entanto, esse é um tipo de automação que tem a finalidade apenas de economizar tempo e mão-de-obra, já que o sistema opera em malha aberta. A automação desejada e implementada deve ser aquela que considera a informação de sensores no solo, na planta ou na atmosfera, para o acionamento do sistema de irrigação e não um calendário programável.

Em sistemas de irrigação como o pivô central, que se aplica a grandes áreas, a comunicação de sensores com um controlador via cabos é inviável por causa da grande distância. Portanto, a utilização de sistemas de transmissão de dados via radiofrequência mostra-se como uma ferramenta cada vez mais atraente e aplicável e, com isso, a exemplo da mecanização, a irrigação poderá ser de precisão (QUEIROZ et al., 2008).

2.7 Atuadores

O atual desenvolvimento da tecnologia e, em termos mais específicos, da automação, levou ao surgimento de novas técnicas de implementações de funcionalidades de forma a aperfeiçoar a produção industrial, a operação de equipamentos, construção de dispositivos simples e baratos em larga escala e, em último caso, fornecer um benefício ao usuário final. O aumento da capacidade computacional dos dispositivos de processamento, o surgimento de novas formas de comunicação industrial, com protocolos bem definidos e de desempenho eficiente, o desenvolvimento de sistemas embarcados e implementação em hardware, as novas formas de gerenciamento de informações de produção, através de sistemas especializados, enfim, a tecnologia evoluiu bastante e, a serviço da automação dispõe uma variedade de alternativas para a implementação de formas mais eficazes na resolução de problemas. (NEVES et al., 2007).

Várias são as possibilidades de automação de um sistema de irrigação sendo necessária nesta tarefa, a utilização de equipamentos especiais que serão descritos a seguir: Válvula de controle elétrico, cuja abertura ou fechamento é controlado por uma válvula solenóide, ativada por corrente elétrica ou por pulsos elétricos. Normalmente a tensão de acionamento dos solenóides é de 24 volts, apresentando uma corrente de atracação e outra de retenção, que variam em função do fabricante, válvula de controle hidráulico que tem sua abertura ou fechamento a partir de um comando de pressão, conduzidos por tubos de controle, de um centro de controle remoto, válvula reguladora de pressão que mantém a pressão de saída constante, independentemente da flutuação da pressão de entrada e/ou da vazão. As válvulas de controle de bomba onde sua principal função é controlar a partida e parada do bombeamento, de forma a torná-lo suave, para evitar os danos causados pelas ondas geradas no início e no fim do funcionamento do bombeamento (Golpe de Ariete), válvula de controle

de retrolavagem que é uma válvula selecionadora, ativada pela pressão da rede, que fecha a entrada do filtro e abre a saída do fluxo de lavagem, causando um fluxo reverso no filtro, módulos “wireless” (manual e controle remoto) que são controladores que são conectados diretamente em válvulas, dispensando cabos elétricos, permitindo um controle programado remotamente e controlado sem extensões de fio. A fonte de energia desses módulos remotos, normalmente é proveniente de uma bateria alcalina de 9 volts, acoplada ao circuito controlador. Nas válvulas tipo "wireless" (sem fio) de programação manual, existem seletores acoplados que possibilitam programar o início e duração da irrigação, e o horário, porém a faixa de programação é restrita. Já os de programação por controle remoto possuem uma faixa mais ampla de programação, além de possuir outros recursos, tal como desligamento automático (modalidade chuva) e os controladores eletrônicos que em um sistema de irrigação são considerados o "gerente" da irrigação. É ele que armazena e processa todas as informações nele embutidas e faz o equipamento trabalhar de forma ordenada e eficaz. Em geral os controladores apresentam uma fonte de alimentação de 110 ou 220 Volts, com saída para as válvulas de 24 volts, possuem de 2 a 4 programas independentes, programação dos dias da semana, 3 a 16 horários de partida ("start"), tempo programado em minutos e horas, mantém a hora, data e programação em caso de queda de energia utilizando pilha alcalina 9 volts, programação individual semi-automática ou manual e admitem o acoplamento de sensor de chuva, ou outros sensores de controle da irrigação. Vários são os fabricantes destes controladores (SUZUKI et al., 2010).

2.8 Aplicação de rede de sensores sem fio (RSSF) na agricultura

A área de redes de sensores sem fio (RSSF) constitui um campo de pesquisa emergente com amplas implicações ao conectar o reino digital ao mundo físico. A íntima conexão com o ambiente físico permite que os sensores forneçam medições locais detalhadas, as quais são difíceis de obter através de técnicas de instrumentação tradicionais ou de sensoriamento remoto (MAINWARING et al., 2002). A utilização de redes de sensores traz novas e amplas perspectivas para o monitoramento de variáveis ambientais. Por outro lado, trazem novos problemas e desafios, como a limitação da fonte de energia e o local ideal de instalação.

Redes de sensores sem fio (RSSF) são sistemas distribuídos que apresentam vários desafios em muitas áreas de estudo, devido as suas peculiaridades. Uma RSSF possui características únicas se comparadas com outras redes. A principal dessas características é a restrição de energia, dado que um nó sensor é alimentado apenas pela energia finita de uma bateria. Isto indica que a rede deve ser desenvolvida para ser tão eficiente em nível de energia quanto possível (QUINTÃO et al., 2004).

Embora o gerenciamento de energia no nível dos nós sensores individuais reduza o consumo de energia na rede, é importante que a comunicação entre os nós também seja

conduzida de uma forma eficiente em energia. Uma vez que a transmissão de dados no meio sem fio representa uma grande parcela do consumo total de energia em RSSF, decisões sobre gerenciamento de energia que levam em conta o efeito da comunicação entre os nós propiciam economias de energia significativamente altas. Para conseguir comunicação eficiente de energia é necessário identificar e tirar proveito dos vários protocolos desempenho-energia que existem no subsistema de comunicação (DELICATO, 2005).

A utilização de painel solar pode ser uma alternativa para aumentar a eficiência energética na utilização de rede de sensores sem fio, já que o mesmo utiliza como fonte infinita de energia, o sol, sendo o painel associado a uma bateria recarregável para que durante a noite o sistema seja acionado pela bateria e durante o dia o sistema seja acionado pela energia gerada pelo painel solar, que tanto alimenta a RSSF como carrega a bateria.

O uso de redes de sensores na agricultura está em estágio inicial. Sensores ambientais são usados para estudar resposta da vegetação às variações climáticas, rastrear e medir população de pássaros ou outros animais. Os projetos de pesquisa geralmente usam sensores tradicionais (sem capacidade de comunicação). Usam um dispositivo chamado de “datalogger”. Este dispositivo é conectado aos sensores e armazena os dados coletados, permitindo posterior sincronização com “laptops” e PDAs localmente. Este tipo de coleta de dados é muito trabalhosa e susceptível a erros de armazenagem durante a transmissão (WANG et al., 2006).

Em busca de novos meios para determinação mais rápida e precisa do monitoramento de umidade do solo e controle automático de sistemas de irrigações, Santos et al. (2008) desenvolveram um sistema de comunicação sem fio utilizando componentes eletrônicos de baixo custo e de fácil disponibilidade no mercado. Santos (2008) testou esta RSSF em uma área agrícola cultivada com melancia, coletando dados, via rádio frequência, dos teores de água no solo fornecidos por sensores de umidade FDR. Segundo o autor, a RSSF possibilitou acompanhar em tempo real o processo de variação do conteúdo de água no solo, adquirindo dados em distâncias de 142 metros entre os módulos sensores e o módulo mestre, mostrando-se um sistema bastante flexível para aplicação na agricultura.

2.9 Painel solar

Segundo Moehlecke (2005) um sistema de geração fotovoltaica tem como elemento básico o módulo, que por sua vez é composto de células conectadas em arranjos com a finalidade de obtenção de tensão e corrente em níveis adequados para utilização, pois cada célula convencional é capaz de gerar 30 mA/cm² e de 0,46 a 0,48 volts, tendo uma área variando de 50 a 150 cm². Atualmente a matéria prima básica para a produção de células fotovoltaicas se concentra nas lâminas de silícios mono e multicristalino, 90,9%.

A energia solar fotovoltaica está difundida em várias localidades do Brasil, aplicada a diversas finalidades. Segundo Michellis et al. (2009), uma aplicação dessa forma de energia é o bombeamento de água, representando solução às famílias residentes em pequenas propriedades em regiões áridas e semiáridas.

Cruz (2009) utilizando uma RSSF para o monitoramento da irrigação realizou um teste em laboratório do consumo da bateria de módulo sensor com leitura do sensor a cada 4 minutos sem a transmissão dos dados e a duração da bateria foi de aproximadamente 16 horas reduzindo a tensão de 12,2 a 8 volts. No teste realizado por Santos (2008), observou-se esta tensão em um intervalo de aproximadamente 11 horas e 30 minutos.

Em RSSF o tempo de vida é limitado por causa do tamanho reduzido dos dispositivos, que recorrem apenas à capacidade disponibilizada pela bateria para desempenhar os estágios de escutar, receber, transmitir e dormir, onde cada uma destas funções vai demandar determinada quantidade de energia e a taxa a qual o trabalho é terminado é medida em Joules por segundo (J/s) ou Watts (BARBEAU; KRANAKIS, 2007).

Zhang (2004), realizando um teste de consumo da bateria de um nodo sensor CrossNet CN1100 LX da Crossbow, observou perda significativa do sinal após 8 horas contínuas de funcionamento. O módulo utilizado pelo autor é alimentado com tensão de 6 volts, enquanto que o módulo remoto utilizado neste trabalho precisa de uma tensão de 9 a 12 volts.

A utilização de painéis solares em redes de sensores sem fio seria uma alternativa de fonte de energia para manter sempre carregadas as baterias que alimentam a rede, aumentando dessa forma o tempo de vida útil da RSSF, principalmente na região nordeste onde existe uma grande incidência de radiação solar que permite o uso dessa tecnologia durante todo o ano.

2.10 Manejo da irrigação

Sabe-se que o manejo correto da água possibilita o suprimento adequado das necessidades hídricas das plantas, ao mesmo tempo em que evita a lixiviação profunda e as restrições ao suprimento de oxigênio para as raízes. Para este fim as plantas devem ser corretamente irrigadas antes que a tensão da água no solo aumente a ponto de causar prejuízos ao desenvolvimento das plantas. A idéia é simples, porém para que o objetivo de irrigar adequadamente seja atingido, o agricultor requer parâmetros instrumentais bem definidos para estabelecer o momento, a lâmina e a taxa de irrigação (CALBO et al., 2008).

O conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas constitui-se em aspecto importante na agricultura irrigada para que haja uma adequada programação de manejo de irrigação. 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.

Para Pereira e Allen (1997), a medida direta da evapotranspiração é extremamente difícil e onerosa. Difícil, porque exige instalações e equipamentos especiais e, onerosa, porque tais estruturas são de alto custo, justificando-se apenas em condições experimentais. Entretanto, de acordo com Oliveira e Silva (1990), a identificação da evapotranspiração real (ET_r) contribui para melhor eficiência no manejo da água de irrigação e, conseqüentemente, evita que se coloque à disposição da cultura água em excesso ou em déficit.

Em termos de manejo de irrigação, diferentes estratégias podem ser adotadas no sentido de se otimizar a disponibilidade de água para as plantas, em função da análise da relação entre o intervalo ótimo do potencial de água no solo e valores de densidade para o solo (TORMENA et al., 1999).

Segundo Costa (1991) embora seja uma técnica que visa ao aumento da produtividade das culturas, em especial em regiões áridas e semi-áridas, a irrigação apresenta grande impacto nas disponibilidades hídricas dos mananciais de água, uma vez que grandes demandas de água são alocadas para os sistemas de irrigação, sobretudo em regiões onde se verificam altas concentrações de áreas irrigadas, principalmente em épocas de escassez de chuva. Especial atenção deve ser dada a essas regiões quanto ao gerenciamento da água para irrigação que, geralmente, consome grande volume de água comparativamente ao consumo urbano e industrial.

2.10.1 Utilização de sensores no manejo da irrigação.

Com o avanço da tecnologia e a multidisciplinaridade entre as várias áreas do conhecimento foi possível associar tecnologia e agricultura visando desenvolver novos equipamentos que possibilitem auxílio nas tomadas de decisão, principalmente quando se fala em agricultura de precisão.

O desenvolvimento de sensores para utilização no manejo da irrigação promoveu grandes avanços no que se refere à economia de água e energia, já que a partir do mesmo é possível determinar quando e quanto se deve irrigar.

A reflectometria no domínio do tempo (TDR) é também largamente utilizada para medir o conteúdo de água no solo, a densidade, a condutividade elétrica e a deformação de massa de rocha. As medidas tomadas com o TDR são não destrutivas e oferecem excelente acurácia e precisão (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2010).

Dentre as boas técnicas de manejo de irrigação disponíveis está o sistema irrigás (CALBO e SILVA, 2001), que em uma concreção básica pode consistir apenas de uma cápsula porosa, que é o sensor, conectada a um dispositivo de pressurização de ar, com o qual se faz a leitura.

Visando uma alternativa prática e eficiente na determinação da umidade do solo para a realização do manejo da irrigação, Silva (2005) desenvolveu um sensor do tipo capacitivo que apresentou boa resposta a variação de umidade podendo ser usado para o manejo da irrigação.

Oliveira (2008) realizando o manejo da irrigação na cultura da bananeira e da melancia utilizando sensores do tipo capacitivo conseguiu reduzir a aplicação de água em relação aos métodos empíricos utilizados pelos produtores concluindo que os dados dos sensores serviram de base para o manejo da irrigação

Rocha Neto et al. (2009), utilizou uma grade de sensores capacitivos para determinar o bulbo úmido do gotejador com o intuito de definir qual o melhor local para a instalação do sensor de forma a representar a variação da umidade.

Cruz (2009) realizando o manejo da irrigação na cultura do milho utilizou sensores do tipo capacitivo com transmissão de dados via rádio frequência que permitiu monitorar os eventos de irrigação e chuvas mostrando-se altamente robusto e preciso.

2.10.2 Irrigação de alta frequência.

O manejo de irrigação com aplicações freqüentes condiciona o solo a manter-se com ótimo teor de água, favorecendo o desenvolvimento da cultura e conseqüentemente maior produtividade.

Entretanto, fatores como a freqüência de irrigação e a quantidade de água a ser aplicada precisam ser determinados em função, principalmente, das variações climáticas e das características físico-hídricas dos solos. O método de irrigação por gotejamento foi desenvolvido para alta freqüência de irrigação e níveis de água no bulbo úmido estáveis e próximos do limite superior de água disponível (RAWLINS, 1973; BRESLER, 1978 apud SOUZA et al., 1999).

Aragão Júnior et al. (1991), relacionaram freqüência de irrigação, teor de água no solo e produtividade do meloeiro cultivado em solo arenoso. O maior rendimento foi obtido com teor de água no solo próximo da capacidade de campo, o qual foi mantido, com aplicação de água diária.

A resposta às aplicações de fertilizantes nitrogenados é influenciada pelo manejo da irrigação, freqüência de aplicação, tempo de aplicação, como também, processos de nitrificação do solo, desnitrificação, imobilização, volatilização e lixiviação (QUIÑONES et al., 2007).

2.11 Cultura da melancia

Originária das regiões tropicais da África Equatorial, a melancia (*Citrullus lanatus*) ocupa lugar de destaque entre as principais olerícolas produzidas e consumidas no Brasil, na região Nordeste, onde apresenta excelente adaptação, em virtude das condições climáticas locais serem bastante semelhantes às condições de origem. A quantidade de melancia produzida no Brasil ocupa o quarto lugar dentre as olerícolas, que têm produção anual em torno de 12,5 milhões de toneladas. As regiões Sul e Nordeste são as principais produtoras, destacando-se os estados do Rio Grande do Sul e Bahia (GRANGEIRO; CECÍLIO FILHO, 2004).

Na região Nordeste o clima seco e quente proporciona a produção de frutos de excelente qualidade, gerando emprego e renda, sobretudo nos períodos de estiagem, quando as dificuldades nessa região são mais evidentes (PEDROSA, 1997).

A cultura da melancia, a exemplo de outras olerícolas tem, na nutrição mineral, um dos fatores que contribuem diretamente na produtividade e na qualidade dos frutos. O nitrogênio e o potássio são os elementos mais exigidos e devem ser aplicados de acordo com as exigências de cada cultivar, produção esperada, estágio de crescimento e condições climáticas (RODRIGUEZ, 1982).

A irrigação por gotejamento apresenta um excelente potencial de uso na cultura da melancia, permitindo aumentar a produtividade da cultura e a eficiência de uso da água, quando comparado ao uso de outros métodos de irrigação (SRINIVAS et al., 1989).

Clark et al. (1996) afirmam que com o uso do gotejamento os produtores têm condições de controlar com maior precisão as aplicações de água e fertilizantes ao longo de todo o ciclo da melancia, em comparação com o uso da irrigação por aspersão ou por superfície.

A aplicação de fertilizante via água da irrigação tem demonstrado ser de ótimo aproveitamento pelas plantas, sendo fornecido no momento e em quantidades adequadas, reduzindo dessa forma as perdas por lixiviação, escoamento superficial e volatilização. Na adubação convencional, com aplicação dos adubos a lanço, pesquisas têm demonstrado que apenas 1/3 dos adubos nitrogenados e potássicos incorporados ao solo são aproveitados pelas plantas, com o restante se perdendo.

O principal problema da fertirrigação está associado ao manejo incorreto, em razão da falta de informações adequadas e/ou utilização, de forma empírica (VILLAS BÔAS et al., 2001).

A cultura da melancia responde bem à fertirrigação. Pesquisas realizadas por Sousa et al. (1998), no projeto Jaibas, mostraram que a fertirrigação em melancia propiciou bom desenvolvimento da cultura, obtendo-se produtividade comercial acima de 34 e 36 Mg ha⁻¹ para as cultivares Omara Yamato e Crimson Sweet, respectivamente. Esses valores foram muito superiores à média de 12 Mg ha⁻¹ no projeto, utilizando irrigação por aspersão e adubação convencional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi conduzido no período de 18 de novembro de 2009 a 10 de janeiro de 2010, no perímetro irrigado do baixo Acaraú situado nos municípios de Marco, Acaraú e Bela Cruz e está localizado a 210 km de Fortaleza, cujas coordenadas geográficas são 3°07'13" de latitude Sul e 40°05'13" de longitude Oeste.

A área experimental foi composta por 1,0 ha, do Lote C07/1, cultivada com melancia da variedade Crimson Sweet, em espaçamento de 0,9 m entre plantas e 3,0 m entre linhas (Figura 1), totalizando 3.704 plantas.



Figura 1 – Área experimental cultivada com melancia.

As características físicas do solo referente à área do experimento podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise física do solo

Amostra	Profundidade	Composição Granulométrica (g/kg)				Classificação Textural
		Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	
A 1	20 cm	554	325	29	92	Areia Franca
A 2	20 cm	578	294	28	100	Areia Franca

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Aw', tropical chuvoso, com precipitação média anual de aproximadamente 900 mm e umidade relativa do ar em torno de 70%, a evaporação anual no tanque classe A é de 1.600 mm ano⁻¹. Possui temperatura média anual de 28,1 °C, sendo a mínima e a máxima anuais de 22,8 e 34,7 °C, respectivamente, insolação de 2.650 h ano⁻¹ (DNOCS, 2010).

3.2 Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 tratamentos, onde cada tratamento correspondia aos níveis de frequência de irrigação. O tratamento 1 corresponde a 5 frequências de irrigações, tratamento 2 corresponde a 4, o tratamento 3 a 3 e o tratamento 4 a 2, todos os tratamentos foram aplicados todos os dias até o final do ciclo da cultura.

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância pelo teste F a 1 % e 5 % de probabilidade. Quando verificado efeito significativo, as médias entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 1 e 5 % de probabilidade.

O programa utilizado para realizar a análise estatística foi o ASSISTAT 7.5 versão beta.

3.3 Preparo da área e plantio

O preparo do solo consistiu de uma gradagem com uma profundidade de corte de aproximadamente 25 cm. Após o preparo da área com o trator foi realizado o coveamento de forma manual utilizando uma enxada, sendo a dimensão de cada cova aproximadamente de 30 x

30 x 30 cm e espaçada por 0.9 m na linha e 3 m entre as linhas perfazendo um total de 3704 covas/ha, em seguida foi colocado em cada cova aproximadamente 25 g de calcário dolomítico e 2 kg de esterco de caprino e bovino bem curtido e misturado com solo, logo após foi distribuído uma mistura de adubo químico que era constituído de sulfato de amônio, MAP granulado, Cloreto de potássio vermelho, Super simples e FTE BR 12 sendo distribuído em cada cova 70 g da mistura. O plantio foi realizado logo após a adubação de cobertura sendo realizada de forma manual colocando-se duas sementes de melancia por cova da cultivar Crimson Sweet.

3.4 Condução da cultura

No dia 25 de novembro, germinaram 82% das sementes no 7º dia após o semeio (DAS). No 10º DAS, fez-se o replantio nas covas em que não ocorreu germinação e realizou-se aos 20º DAS o desbaste, deixando-se uma planta por cova. Durante o ciclo da cultura fez-se, sempre que necessário, controles das plantas invasoras e fitossanitários, onde foram realizados 2 capinas e 18 pulverizações ao longo do ciclo da cultura.

No 33º DAS foram colocadas 4 caixas de abelhas dentro da área para melhorar a eficiência da polinização. O calendário da fertirrigação foi realizado conforme recomendações técnicas (Apêndice A) e o total de nutrientes aplicado durante todo o ciclo pode ser visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Total de nutrientes aplicados na adubação de fundação e fertirrigação

Nutrientes	Total (kg ha ⁻¹)
N	119.7
P	108
K	129.25
Ca	30.45
S	9.6

3.5 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação é composto por um conjunto motor bomba de 3 CV, uma tubulação principal de 106,0 m de comprimento composta por tubos de PVC de 75 mm, quatros

linhas de derivação de 66,0 m com tubos de PVC de 50 mm e 64 linhas laterais de 55 m formadas por tubos de polietileno de 17 mm dotados de gotejadores, a cada 30 cm, com vazão de $1,49 \text{ L h}^{-1}$ a uma pressão de serviço de 8,0 kPa. O cavalete era composto por 4 válvulas do tipo leitch de 2 polegadas. Esse sistema de irrigação permite, pelo seu dimensionamento, uma irrigação de 0,25 ou 0,5 ha por vez. O sistema foi montado num esquema experimental com a distribuição das linhas de gotejadores de forma aleatória para cada tratamento, conforme pode ser visto na Figura 2.

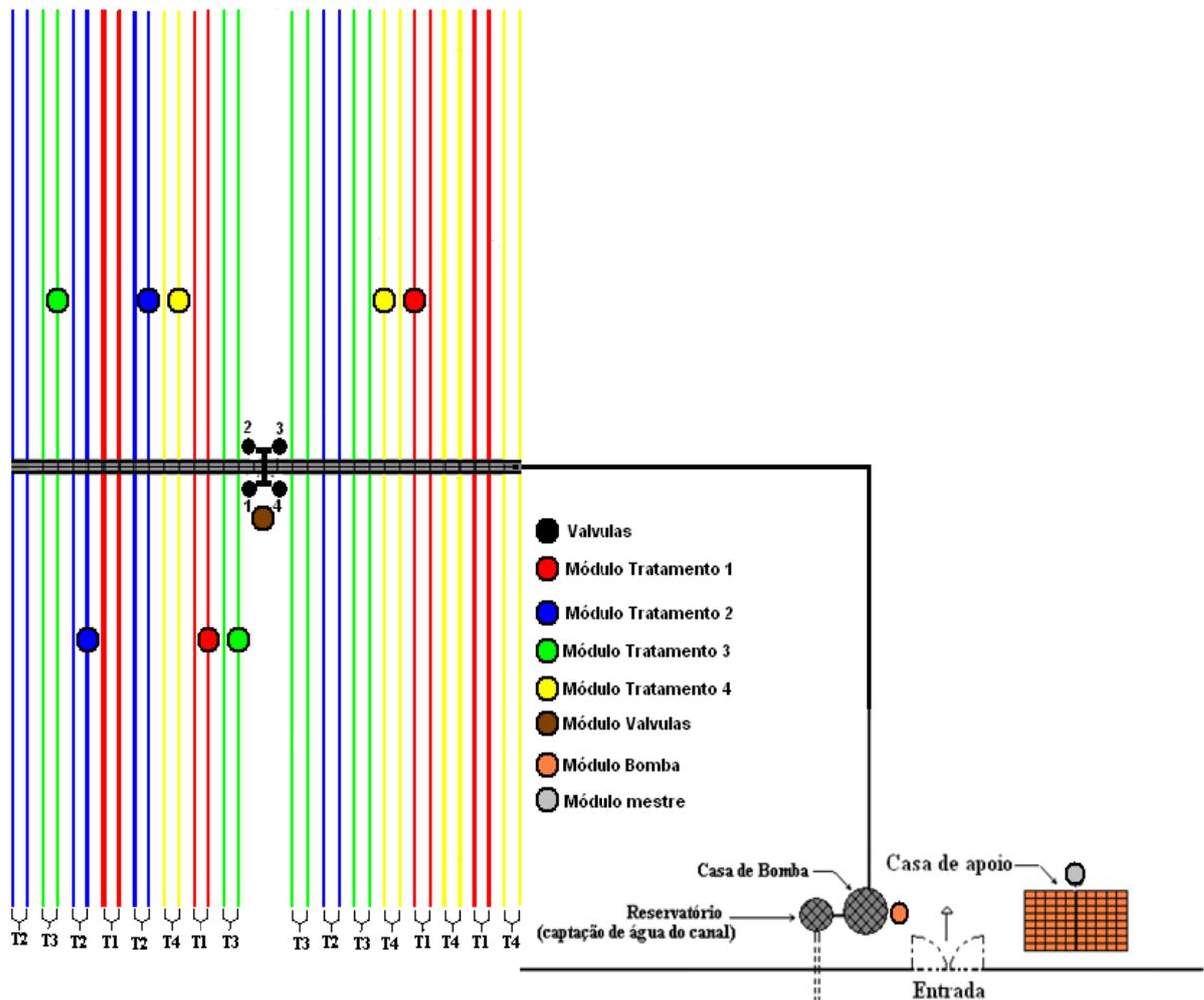


Figura 2 - Croqui da área experimental.

O sistema de irrigação era acionado 8 vezes por dia conforme a Tabela 3 e os tempos de irrigações eram calculados de acordos com os dados dos sensores para que o solo atingisse um valor de $\theta = 0,17 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ correspondente a umidade na capacidade de campo.

Tabela 3- Horários das irrigações por tratamento

Tratamentos	Horários das irrigações							
	7:00	8:00	9:00	11:00	12:00	13:00	15:00	16:00
1	X		X	X		X	X	
2			X	X		X	X	
3		X			X			X
4		X			X			

X corresponde aos horários que eram realizadas as irrigações.

3.6 Sensor do tipo capacitivo FDR

Os sensores de umidade do solo utilizados foram os do tipo capacitivo, produzidos no Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA), do Departamento de Engenharia Agrícola (DENA), pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC). São confeccionados na forma retangular em placas de circuito impresso (fibra de vidro, com uma fina camada de cobre em um dos lados), com espessura, largura e comprimento aproximados de 0,2 cm, 3 cm e 15 cm, respectivamente (Figura 3). As placas são posicionadas paralelamente definindo os eletrodos do capacitor, separadas por um pequeno tubo de cobre de 0,5 cm de comprimento e cobertas por um verniz, para evitar oxidação das placas de cobre, devido ao contato com o solo, como para eliminar o efeito da condutância elétrica da carga através do dielétrico. A área da placa que constitui o campo elétrico é de 25,48 cm². O sensor é composto de um oscilador, cuja frequência é definida pelo capacitor que pode variar o dielétrico e por um resistor fixo de 10 kΩ (OLIVEIRA, 2008). O Sensor pronto para instalação pode ser observado na Figura 4.



Figura 3- Sensor capacitivo sem encapsulamento.

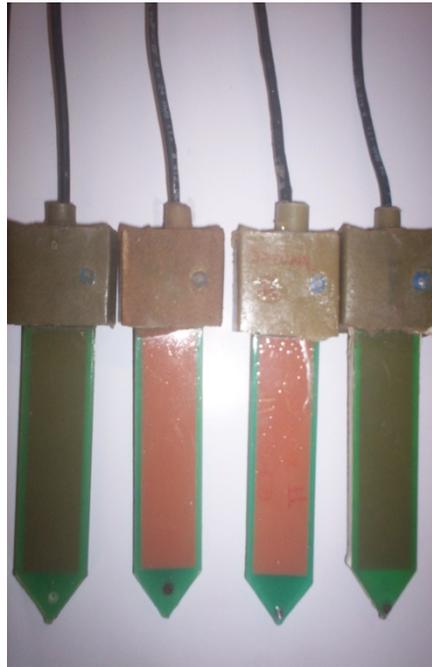


Figura 4- Sensor capacitivo pronto para instalar no campo.

3.7 Instalação dos sensores no solo

O sensor deve ser instalado próximo à planta e ao gotejador. De acordo com Rocha Neto et al. (2009) trabalhando com uma grade de sensores para determinação do bulbo úmido de um sistema de irrigação por gotejamento, encontraram valores de faixa molhada de 0,2 a 0,4 m de profundidade e de 0,02 a 0,15 m de distância do emissor na mesma área de estudo.

Dessa forma foi confeccionada uma moldura de madeira conforme Figura 5a com o intuito de padronizar a instalação dos sensores para que os mesmos não ficassem em distância diferente dos demais e para não serem instalados fora do bulbo úmido. A moldura tinha as seguintes dimensões: 10 x 10 cm e a distância de instalação dos sensores definida da seguinte forma: o sensor da primeira profundidade ficava a uma distância de 2,5 cm e o sensor da segunda profundidade ficava a uma distância de 7,5 cm do emissor, conforme pode ser visto na Figura 5b.

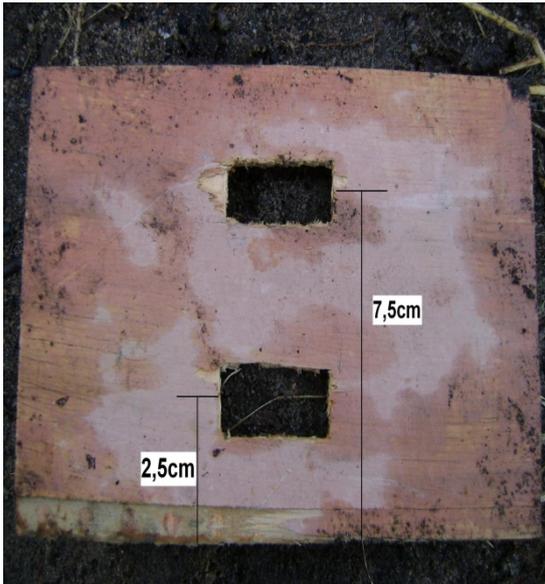


Figura 5a – Moldura de madeira.



Figura 5b - processo de marcação.

No processo de instalação dos sensores se faz necessário primeiramente o preenchimento entre as placas com solo, isso se faz manualmente retirando uma pequena amostra do solo onde será inserido o sensor e umedecendo para que o mesmo preencha por completo o espaço entre as placas conforme a Figura 6. Este processo de enchimento se faz com as mãos colocando o solo aos poucos entre as placas e tendo o cuidado para não ficarem espaços vazios entre as placas.



Figura 6 – Sensor preenchido com solo.

Depois de realizado o preenchimento com solo, o sensor foi inserido no solo de acordo com a profundidade de instalação sendo o da primeira profundidade instalado a 15 cm e o da segunda a 30 cm abaixo da superfície. Vale salientar que se o solo apresentar resistência à penetração do sensor é necessário umedecer este solo para facilitar a instalação ou o sensor pode

ser danificado. Na Figura 7 pode-se observar o sensor instalado no solo abaixo mostra o sensor instalado no solo.



Figura 7 – Sensores instalados no solo a duas profundidades.

3.8 Validação da calibração do sensor em campo

Durante a realização do experimento foi realizada uma comparação dos dados de respostas dos sensores capacitivos FDR adquiridas pela RSSF, com o método padrão da estufa. As amostras de solos foram coletadas durante o manejo da irrigação da melancia, em posições semelhantes ao local de instalação dos sensores, para determinar o teor de água pelo método gravimétrico.

Assim, as amostras de solo foram retiradas de locais próximos dos sensores nas duas profundidades de instalação, tomando por base a planta ao lado totalizando 16 amostras. Este procedimento foi efetuado antes da primeira irrigação do dia. Logo após a coleta das amostras foi realizada uma leitura dos sensores para a realização da comparação dos valores de umidade.

3.9 Característica da rede de sensores sem fio (RSSF)

As redes de sensores podem ser constituídas de diferentes tipos de elementos sensores (sísmico, térmico, visual, acústico, etc), os quais são capazes de monitorar uma grande variedade de condições ambientais, tais como, temperatura, umidade, movimento de veículos, condições de iluminação, pressão, constituição do solo, níveis de barulho, presença ou ausência de certos tipos de objetos, níveis de desgaste mecânico em juntas, além de características correntes como velocidade, direção, e tamanho de um determinado objeto (ZHAO, 2004).

3.9.1 Módulo remoto

O módulo remoto é composto pelos seguintes componentes: resistores, capacitores, diodos, regulador de tensão, transistor, microcontrolador, LEDs, conectores, placa de circuito impresso e um transceptor (SANTOS, 2008).

O microcontrolador utilizado foi o PIC 18F4550 da Microchip, capaz de trabalhar com baixo consumo de energia, com grande quantidade de memória RAM (MICROCHIP, 2009) e ainda constituído de vários recursos internos que o torna adequado para aplicações de monitoramento que requerem leitura de vários tipos de sinais. O microcontrolador possui, ainda, canais de conexão com computadores pessoais, para transferência de dados e posterior processamento.

O transceptor utilizado foi o modelo TRF 2.4 GHz da Laipac, conforme pode ser apresentado na Figura 8, com alcance, segundo o fabricante, de 150 metros utilizando taxa de transmissão de 1 Mbps (LAIPAC, 2010). Ele opera em banda de frequência ISM de 2.4 GHz com espalhamento espectral e não necessita de licença da Anatel. Sua escolha decorreu de suas características, que permitem alcançar distâncias satisfatórias com baixo consumo de energia, taxa de transmissão de dados compatível com as diversas variáveis que podem ser monitoradas em campo. Outro fator considerado na sua escolha foi a disponibilidade no comércio com custo de compra reduzido.

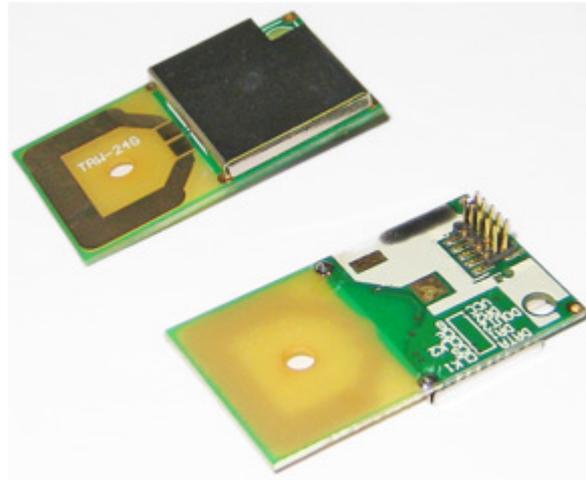


Figura 8- Transceptor laipac TRF 2.4GHz. Laipac tech (2010).

Este mesmo módulo foi utilizado por Cruz (2009) e produziu um ótimo resultado na transmissão dos dados que serviram de base para o manejo da irrigação.

O módulo remoto é constituído de duas placas sendo uma placa base, responsável pelo processamento, comunicação e gerenciamento da carga da bateria. A segunda é responsável pela interface de conexão com os sensores de umidades instalados no solo, montados em placas separadas, procura-se atingir uma maior modularidade do sistema permitindo o uso das placas base em outras unidades como será observado nas unidades de controle das válvulas latch e acionamento de bombas. Na Figura 9 são mostradas as placas do módulo remoto conectadas e prontas para serem acondicionadas nos tubos de PVC.

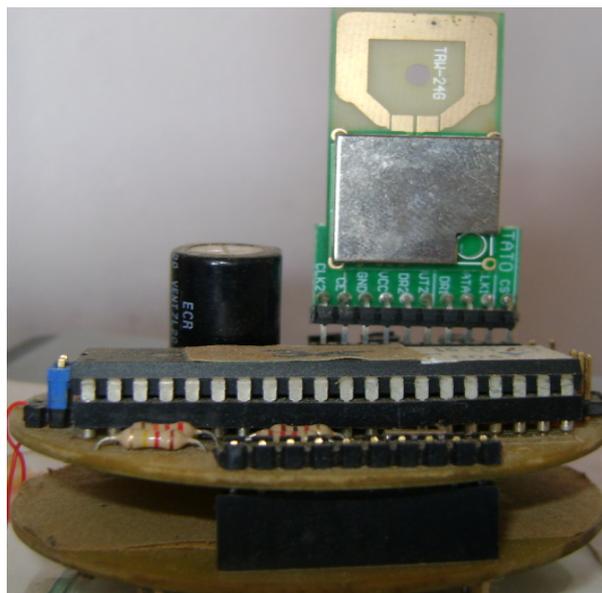


Figura 9- Módulo remoto.

3.9.2 Módulo mestre

A confecção do módulo mestre foi realizada por Santos (2008) que segundo sua descrição iniciou-se a partir de ensaios básicos, ainda na matriz de contato, e à medida que o circuito era desenvolvido e o desempenho dos componentes comprovado, estes passavam a integrar o circuito definitivo. A alimentação desse módulo era feita por uma fonte ligada à rede elétrica. A comunicação do módulo mestre com o computador é baseado no padrão de comunicação serial RS232, por ser, ainda, uma maneira muito difundida e de baixo custo. A conexão serial trabalhando em conjunto com o programa de interface permitiu o controle, configuração e coleta dos dados dos módulos remotos, sendo o módulo mestre conectado ao computador utilizando umas das portas disponíveis, COM 0, COM 1 ou outras, através de um cabo com conectores do tipo DB9. Na Figura 10 é mostrado o módulo mestre e sua etapa de conexão serial com um computador e unidade de comunicação RF, além da fonte de alimentação.

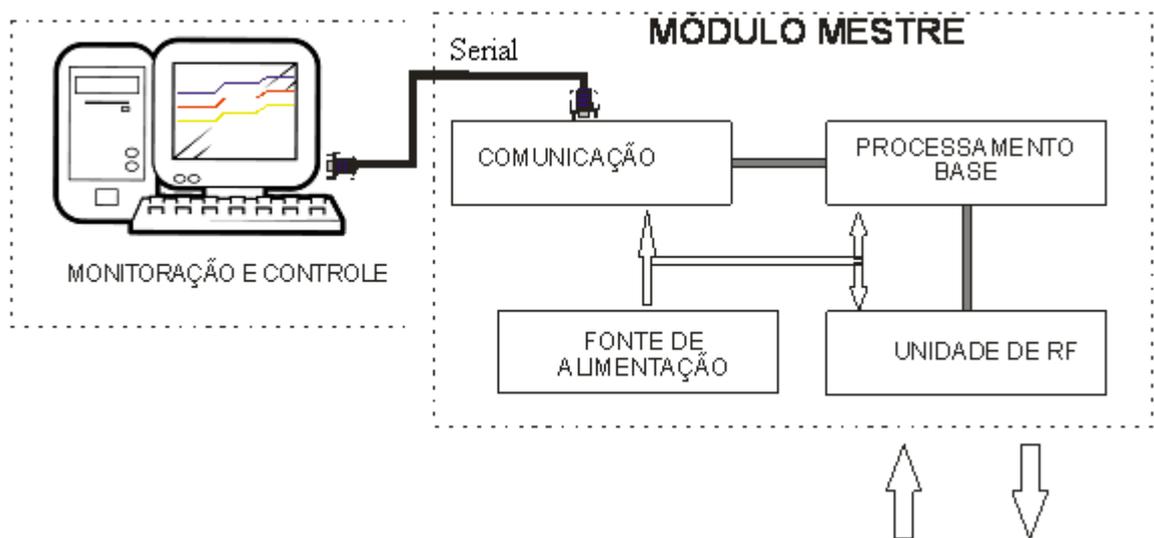


Figura 10 – Diagrama módulo mestre. Figura obtida de Santos (2008).

Este mesmo módulo mestre foi utilizado por Cruz (2009) e produziu um ótimo desempenho na aquisição dos dados, sendo o módulo acondicionado dentro de uma estrutura de PVC rígido para proteger do sol e da chuva e instalado na casa estação base a uma altura de 3m aproximadamente para facilitar a visada do transceptor com os módulos remotos. Nas Figuras 11a e 11b podem ser observadas a placa do módulo mestre e o mesmo instalado na estação base.



Figura 11a – Módulo mestre.



Figura 11b – Módulo instalado na estação base.

3.9.3 Instalação da rede de sensores sem fio (RSSF) no campo

Os módulos sensores foram distribuídos no campo de forma aleatória para cada tratamento na área experimental, sendo dois módulos por tratamento perfazendo um total de oito módulos.

A rede de sensores sem fio foi montada antes do plantio das sementes de melancia com o intuito da realização de teste de comunicação dos módulos e leituras dos sensores, todos os módulos foram acondicionados numa estrutura de PVC rígido com uma altura de aproximadamente 80 cm (Figura 12) acima da superfície do solo. Essa altura ficou limitada devido ao tamanho dos cabos dos sensores que tinha aproximadamente 1,5 m. O comprimento dos cabos dos sensores de umidade é limitado por causa das interferências de leituras causadas pelos efeitos das atenuações capacitivas, resistivas e indutivas inerentes ao próprio condutor. As variações de frequências do sinal gerado pelos sensores em função do comprimento dos cabos tendem a provocar erros de leitura, fato observado por Cruz (2007), que ao testar algumas medidas de comprimento de cabo relacionadas com a resposta fornecida por uma placa de aquisição de dados e por um frequencímetro digital, encontrou um modelo linear ($R^2 = 0,9972$) que melhor identificou os dados reais de respostas dos sensores capacitivos FDR quando o cabo encontrava-se com o comprimento de 1,5 m.



Figura 12 – Instalação do módulo remoto em campo.

Os módulos sensores foram instalados no final do primeiro terço e no início do segundo terço da linha de gotejadores para representar o ponto médio de pressão em uma linha de irrigação.

A rede de sensores sem fio era alimentada por uma bateria de 12 volts e 1,3 Ah da marca HAZE POWER, cuja mesma é recarregável e constituída de chumbo, ácido sulfúrico e polipropileno, de fácil acesso no mercado, sendo esta recarregada por um painel solar.

3.9.4 Características do painel solar e alimentação do módulo remoto

O painel solar foi montado numa estrutura de madeira de aproximadamente 1,5m de altura e instalado ao lado do módulo sensor (Figura 13) numa posição que favorecesse o maior tempo de incidência de radiação solar, para que fosse efetuado o carregamento da bateria ao longo de todo o dia. As características do painel solar são apresentado pelo fabricante (SOLAR BRASIL) e podem ser observadas na Tabela 4.



Figura 13- Paine solar instalado no campo.

Tabela 4: Características do painel solar

Módulo gerador solar	KS 5 T
Características elétricas	
Potência nominal=Watt pico	5
Potência Watt por dia	25
Corrente Amper por dia	1,45
Corrente nominal Amper	0,29
Corrente curto-circuito amper	0,31
Tensão nominal Volts	17,40
Tensão de circuito aberto Volts	21,70
Dimensões:	
Peso (kg)	1,50
Comprimento (mm)	354
Largura (mm)	206
Espessura (mm)	22

Fonte: (SOLAR BRASIL, 2010).

Foi elaborado como parte do sistema de carregamento da bateria um circuito (Figura 14) regulador de carga a qual evitava que a tensão fornecida pelo painel solar de até 21,7 não ultrapasse 13 volts, aumentando assim a integridade das baterias

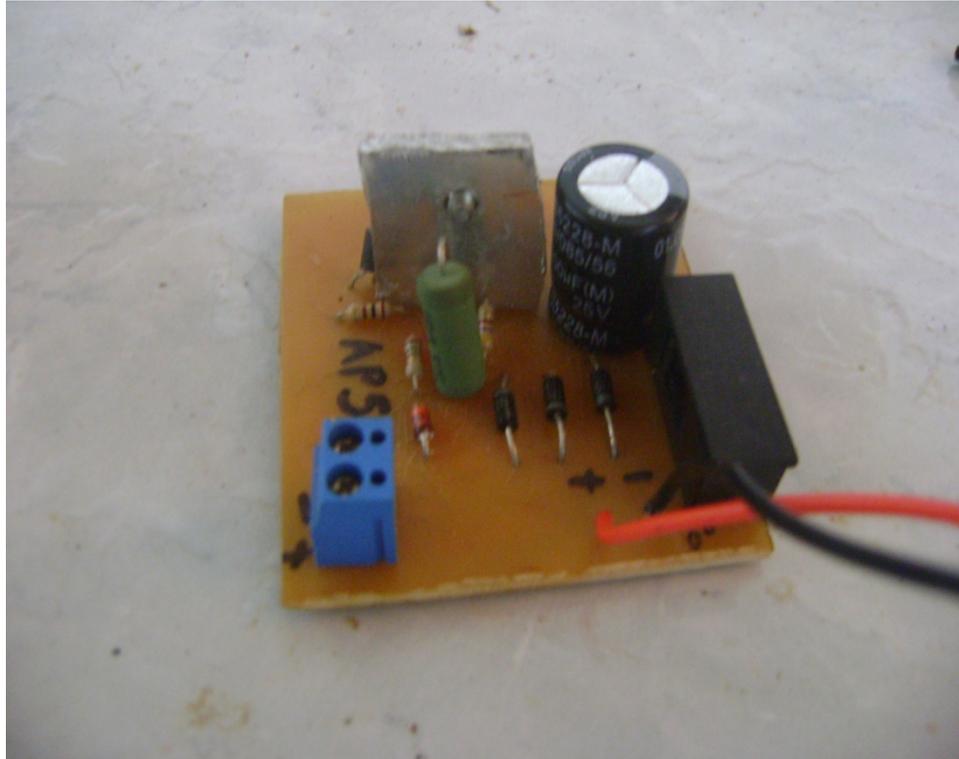


Figura 14- Circuito para regular a passagem de tensão do painel solar para a bateria.

3.9.5 Automação de válvula e bomba

As placas de circuito integrado de comunicação sem fio para o acionamento automático das válvulas e conjunto motor bomba foram desenvolvidas no Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA).

3.9.5.1 Acionamento automático das válvulas

As placas das válvulas foram desenvolvidas para acionar até 4 válvulas latch de forma independente, sendo acionada uma por vez. As placas foram confeccionadas na forma circular, seguindo o mesmo padrão de modularidade já utilizado nos módulos sensores, constituindo-se de mais uma expansão para as placas bases, já mencionadas anteriormente no tópico 3.9.1 Módulo remoto e conforme apresentada na Figura 15a. A forma circular foi inicialmente pensada, para que os circuitos pudessem ser acondicionados em tubos de PVC

rígido, material de fácil aquisição e de comprovada resistência às conhecidas intempéries do meio agrícola (Figura 15b).

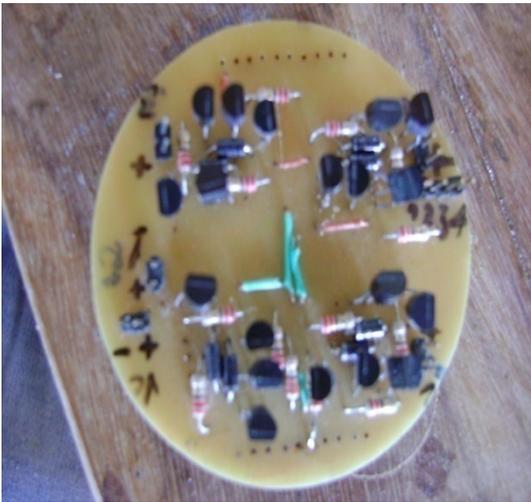


Figura 15a – Placa inferior de acionamento das válvulas.



Figura 15b – Vista superior da placa base de acionamento das válvulas.

As válvulas utilizadas nesse trabalho foram do tipo lech de 2 polegadas, por oferecer uma eficiência energética superior a do tipo solenóide. As válvulas conectadas aos módulos de acionamento passam a ser controladas via rádio e alimentadas por uma fonte de alimentação diferenciada dos demais módulos. Neste módulo, a bateria de 12 Volts é ligada a um painel solar, o que garante a carga necessária para comutação dos estados de abertura e fechamento de sua respectiva malha hidráulica mesmo nos períodos noturnos.

3.9.5.2 Acionamento automático da bomba

Para o acionamento da bomba o circuito eletrônico de controle da chave de partida foi montado numa placa de circuito impresso universal utilizando a mesma placa de processamento já mencionada e alimentado pela rede elétrica e instalado na parede externa da casa de bomba. Neste circuito, a interface de acionamento do conjunto motor bomba exige novos cuidados no isolamento das etapas de potência e processamento de comandos. Para isso foram utilizados optoaclopadores para o controle das chaves contactoras de acionamento das bombas. O circuito foi acondicionado em uma caixa de PVC e instalado na parede externa da casa do cabeçal de controle, conforme apresentada na Figura 16.

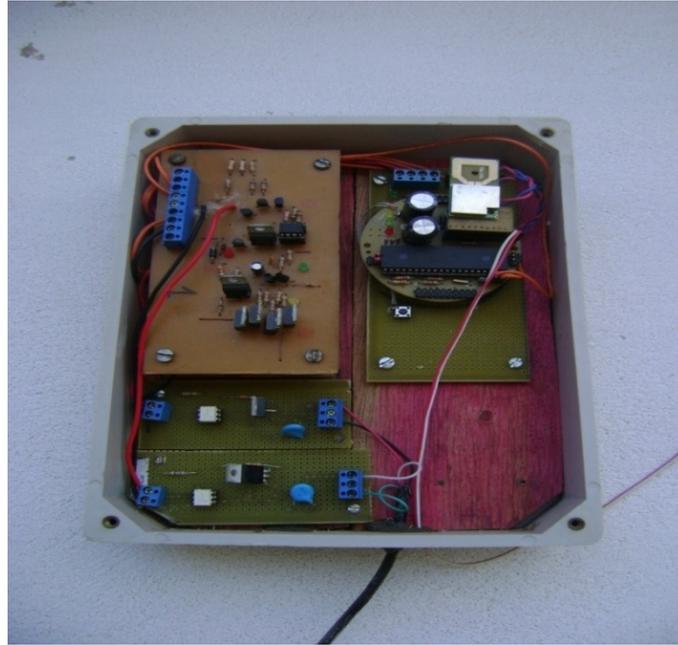


Figura 16- Placa de acionamento do conjunto motobomba.

3.10 Interface de controle e aquisição de dados.

Foi desenvolvida uma interface de aquisição e controle implementada em linguagem C para realizar a comunicação entre o módulo mestre e um computador pessoal, possibilitando a configuração dos módulos remotos via rádio e o armazenamento dos dados adquiridos (SANTOS, 2008).

A interface integra as ferramentas de acesso do operador aos recursos de ajuste do sistema para tomada de dados e organização dos módulos. Na Figura 17 é apresentada a tela principal da interface de controle e comunicação dos módulos.

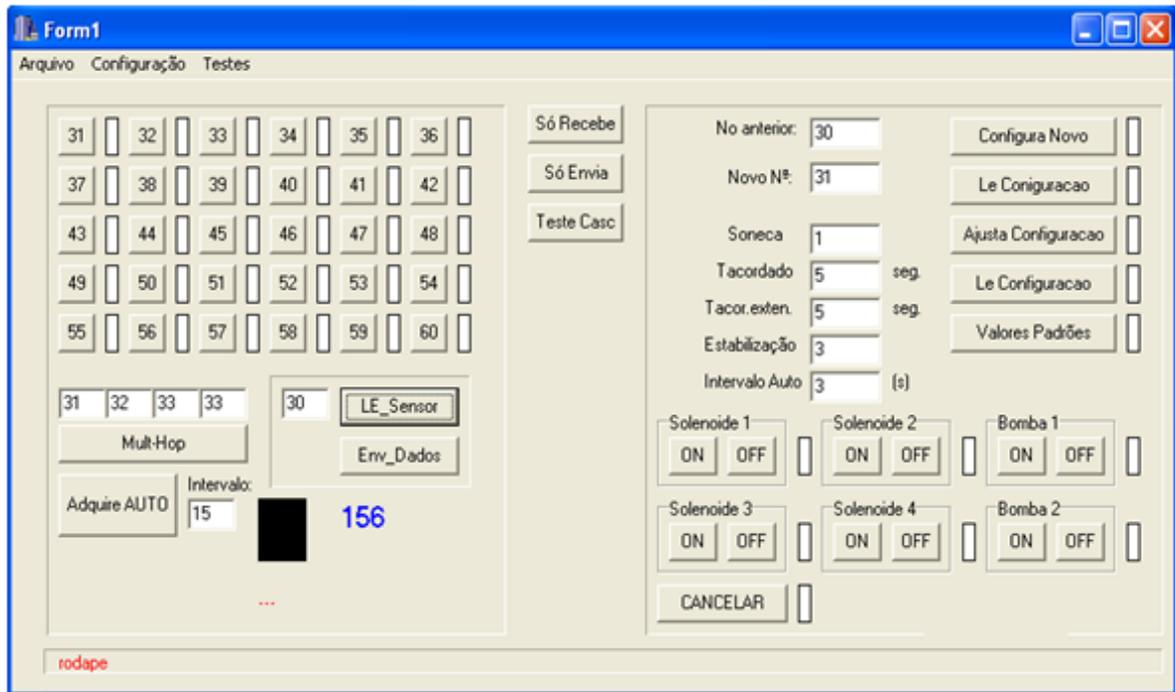


Figura 17- Tela principal da interface.

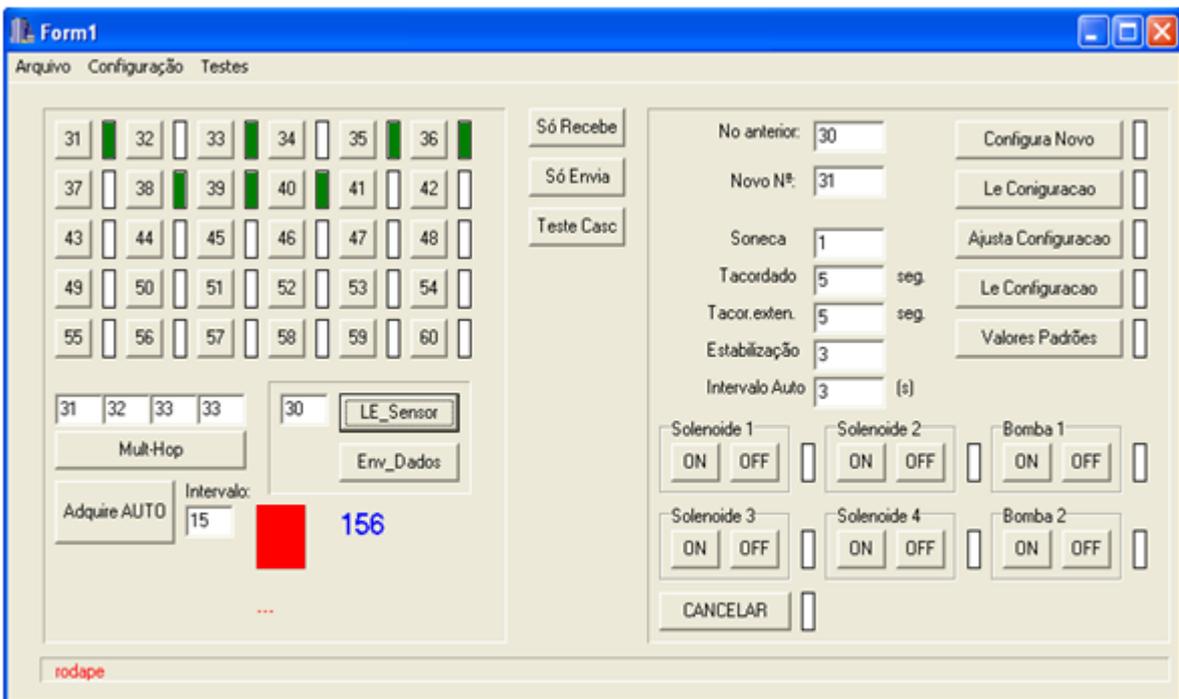


Figura 18- Tela principal da interface com a função “Adquirir AUTO” Ativada.

Através desta interface pode-se configurar remotamente via rádio, os parâmetros básicos dos módulos. Os botões com as numerações indicam a identificação de cada módulo no campo para realização das leituras de forma individual, o botão Mult-Hop foi montado para fazer a comunicação em cascata, utilizando-se os quatro campos para montar a sequência de módulos. A sequência configura da esquerda para a direita, sendo o primeiro módulo a origem e

o último o destino. O botão “Le-sensor” faz a leitura atual do sensor e armazena no módulo e o botão “Env_Dados” envia os dados da leitura realizada naquele momento. Já o “Adquire AUTO” faz a coleta automaticamente de todos os módulos instalados no campo de forma contínua, onde no campo das sequências dos botões aparece a cor verde (Figura 18) indicando que os dados daquele módulo referente à numeração foi adquirido, quando a função “Adquirir AUTO” está ativada aparece no campo ao lado a cor vermelha e desativada quando aparece a cor preta. Vale ressaltar que quando essa função está ativada não é possível realizar nenhuma outra tarefa na interface, como por exemplo acionar as válvulas ou a bomba, sendo necessário primeiro a desativação da função para ter acesso aos demais comando da interface de controle.

As variáveis que estão expostas no quadro da direita da área de trabalho da interface, onde o segundo campo de cima para baixo “Novo N^o” atribui um novo número ao módulo. O segundo campo “Soneca” faz o ajuste do intervalo de sono (modo *sleep*). O terceiro campo “Tacordado” define o intervalo de tempo em que o módulo ficará acordado monitorando o meio, com o rádio receptor ativado. O quarto campo “Taco.exten” refere-se a um incremento ao intervalo de tempo acordado quando o nó sensor detecta transmissão proveniente do módulo mestre, constituindo-se de uma margem de espera a um provável comando destinado ao seu endereço. Já os campos “Estabilização” e “Intervalo auto” são responsáveis pela configuração de leitura dos sensores, respectivamente pelo tempo de alimentação necessário para que o sensor atinja uma leitura estável e o intervalo de tomadas de dados, ou seja, a frequência de aquisição.

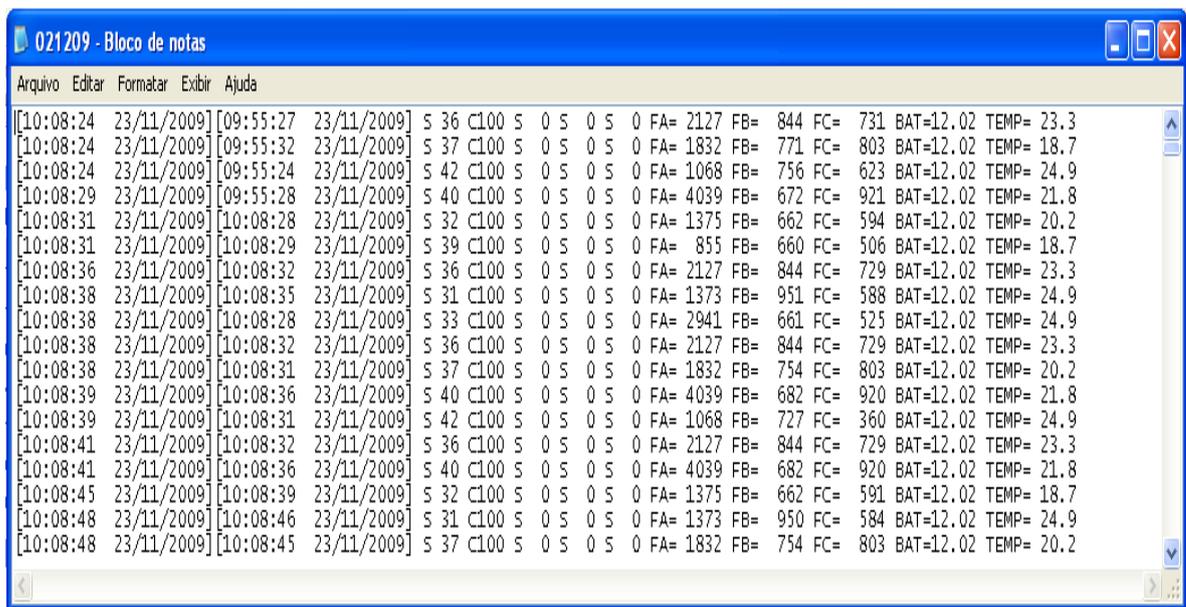
Os campos solenóide 1 até solenóide 4 permitem fazer a abertura e fechamento de cada válvula e ao lado, o botão bomba1 ligar e desligar o conjunto motobomba do sistema de irrigação, no caso da necessidade de instalar outra bomba, a interface já tem implementado um segundo campo para acionar e desligar a bomba através do botão bomba 2. O botão cancela foi implementado com o objetivo de cancelar o processo de ligar ou desligar tanto das válvulas como do conjunto motobomba.

3.11 Manipulação dos dados para o controle da irrigação

Os dados coletados são gerados em um arquivo txt para ser posteriormente avaliado (Figura 19). Nesta coleta são dispostos em colunas, da esquerda para a direita, os itens:

- 1- Hora e data de envio do pacote;

- 2- Hora e data de realização da coleta;
- 3- O valor S31 ou outro valor se refere à identificação do módulo de origem dos dados;
- 4- As colunas FA, FB e FC são relativas aos três sensores de umidade, ou seja, os seus respectivos contadores. Na coluna FA não tem nenhum sensor fazendo leitura e o valor zero, nas colunas de dados dos sensores, denuncia que neste instante não há nenhum sensor instalado ou apresenta algum problema;
- 5- A coluna “BAT” declara a tensão real da bateria;
- 6- A coluna “TEMP” refere-se à temperatura medida. Vale lembrar que esta função não está em uso.



Timestamp	Date	Time	Sensor ID	FA	FB	FC	BAT	TEMP			
[10:08:24	23/11/2009]	[09:55:27	23/11/2009]	5 36	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 2127	FB= 844	FC= 731	BAT=12.02	TEMP= 23.3
[10:08:24	23/11/2009]	[09:55:32	23/11/2009]	5 37	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1832	FB= 771	FC= 803	BAT=12.02	TEMP= 18.7
[10:08:24	23/11/2009]	[09:55:24	23/11/2009]	5 42	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1068	FB= 756	FC= 623	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:29	23/11/2009]	[09:55:28	23/11/2009]	5 40	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 4039	FB= 672	FC= 921	BAT=12.02	TEMP= 21.8
[10:08:31	23/11/2009]	[10:08:28	23/11/2009]	5 32	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1375	FB= 662	FC= 594	BAT=12.02	TEMP= 20.2
[10:08:31	23/11/2009]	[10:08:29	23/11/2009]	5 39	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 855	FB= 660	FC= 506	BAT=12.02	TEMP= 18.7
[10:08:36	23/11/2009]	[10:08:32	23/11/2009]	5 36	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02	TEMP= 23.3
[10:08:38	23/11/2009]	[10:08:35	23/11/2009]	5 31	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1373	FB= 951	FC= 588	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:38	23/11/2009]	[10:08:28	23/11/2009]	5 33	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 2941	FB= 661	FC= 525	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:38	23/11/2009]	[10:08:32	23/11/2009]	5 36	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02	TEMP= 23.3
[10:08:38	23/11/2009]	[10:08:31	23/11/2009]	5 37	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1832	FB= 754	FC= 803	BAT=12.02	TEMP= 20.2
[10:08:39	23/11/2009]	[10:08:36	23/11/2009]	5 40	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 4039	FB= 682	FC= 920	BAT=12.02	TEMP= 21.8
[10:08:39	23/11/2009]	[10:08:31	23/11/2009]	5 42	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1068	FB= 727	FC= 360	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:41	23/11/2009]	[10:08:32	23/11/2009]	5 36	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 2127	FB= 844	FC= 729	BAT=12.02	TEMP= 23.3
[10:08:41	23/11/2009]	[10:08:36	23/11/2009]	5 40	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 4039	FB= 682	FC= 920	BAT=12.02	TEMP= 21.8
[10:08:45	23/11/2009]	[10:08:39	23/11/2009]	5 32	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1375	FB= 662	FC= 591	BAT=12.02	TEMP= 18.7
[10:08:48	23/11/2009]	[10:08:46	23/11/2009]	5 31	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1373	FB= 950	FC= 584	BAT=12.02	TEMP= 24.9
[10:08:48	23/11/2009]	[10:08:45	23/11/2009]	5 37	C100	5 0 5 0 5 0	FA= 1832	FB= 754	FC= 803	BAT=12.02	TEMP= 20.2

Figura 19 – Dados coletados dos módulos sensores no campo.

As leituras realizadas nos módulos sensores foram determinadas de acordo com cada tratamento e horários definidos conforme a Tabela 3.

Após as leituras dos dados, os mesmos são digitados em uma planilha eletrônica do Excel que converte os valores de contador em frequência através dos parâmetros e equações implementadas que vão ser mostrados a seguir para a realização dos cálculos do tempo de irrigação para cada tratamento conforme pode ser visto na Figura 20.

Os parâmetros utilizados nas equações para calcular o tempo de irrigação são:

- Fator de conversão: 2,56 convertem os dados de contador em frequência;
- Profundidade de instalação do sensor: 150 mm para 1º e 300 mm para a 2º;
- Vazão do emissor: $q = 1,49 \text{ L h}^{-1}$;
- Eficiência do sistema = 90%;

- Capacidade de campo: $\theta_{cc} = 0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$
- Diâmetro do bulbo molhado do gotejador: 0,3 m

A equação 2 é utilizada para converter os dados de contador em frequência.

$$f = C * 2,56 \quad (2)$$

Onde: f é a frequência em kHz e C é o valor de contador

As equações 3 e 4 foram determinadas por Cruz (2009) trabalhando nessa mesma área utilizando uma RSSF para realizar o manejo da irrigação na cultura do milho, onde são utilizadas para converter frequência em umidade na 1º e 2º profundidades respectivamente.

$$\theta = 994995 f^{-2.1027} \quad (3)$$

$$\theta = 68478 f^{-1.7688} \quad (4)$$

Onde: θ é a umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)

A equação 5 é utilizada para calcular a área molhada por emissor.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (5)$$

Onde: A é a área molhada em (m^2) do emissor e D é o diâmetro molhado em (m)

A equação 6 é utilizada para calcular a irrigação real necessária (IRN).

$$\text{IRN} = (\theta_{cc} - \theta) * Z * A \quad (6)$$

Onde: A IRN é em (L) e Z é a profundidade de instalação do sensor em (mm).

A equação 7 é utilizada para calcular o tempo de irrigação (T_i).

$$T_i = \frac{\text{IRN}}{q * S * 60} \quad (7)$$

Onde: T_i é expresso em (minutos) e S é a eficiência do sistema em decimal.

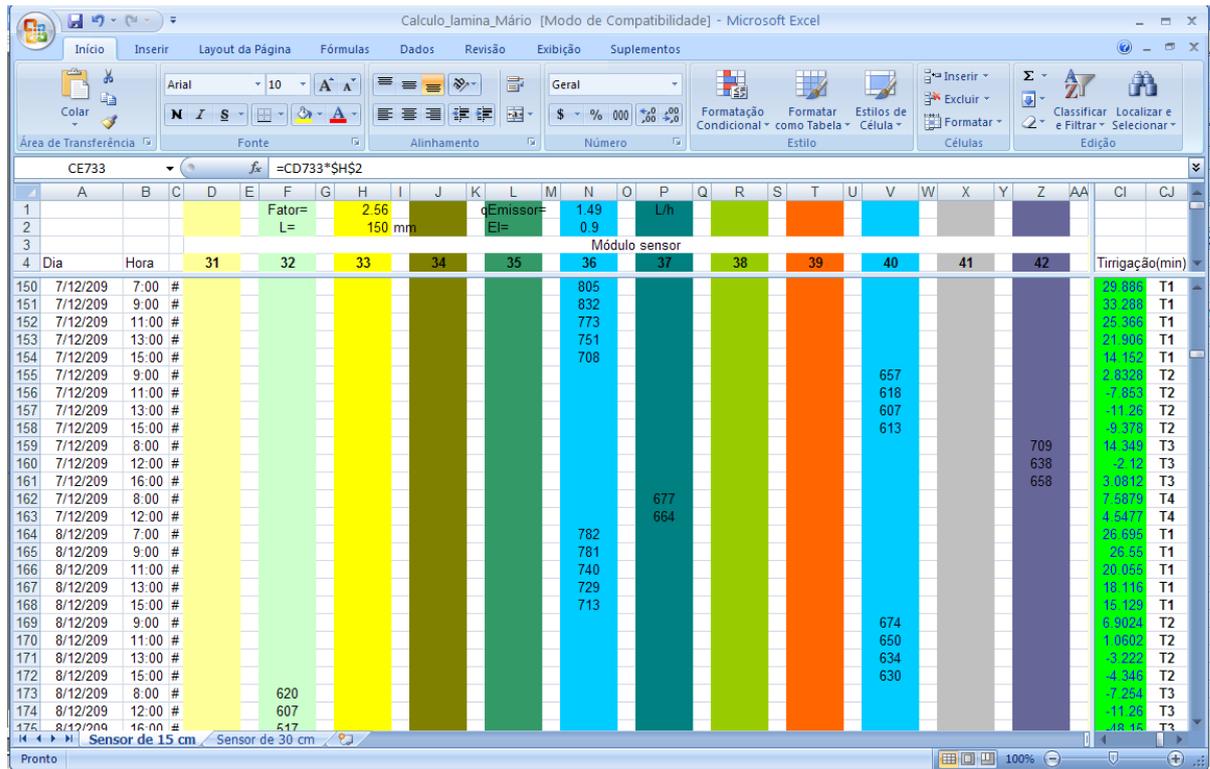


Figura 20- Planilha do cálculo do tempo de irrigação.

Entre o plantio até o 15º DAS foi aplicado o mesmo tempo de irrigação para todos os tratamentos. Após esse tempo, deu-se início a aplicação diferenciada a cada tratamento, de acordo com a leitura dos módulos sensores, onde essas leituras eram realizadas de acordo com os horários estabelecidos para cada tratamento (Tabela 3). Após o início da aplicação dos tratamentos até o 33º DAS o tempo de irrigação era calculado utilizando apenas os dados dos sensores da primeira profundidade, após o 34º DAS, os tempos de irrigação de cada tratamento eram calculados utilizando os dados dos sensores da primeira e segunda profundidade (15 e 30 cm) respectivamente. O tempo de irrigação dos sensores das duas profundidades era obtido pela soma dos tempos de irrigação individual.

3.12 Avaliação da cultura

A cultura avaliada nesse trabalho foi à melancia da variedade Thompson Sweet, tendo sido avaliados os seguintes parâmetros: taxa de crescimento da cultura, quantidade de frutos, produção média dos frutos, massa média dos frutos, comprimento e diâmetro dos frutos.

3.12.1 Avaliação da germinação

No 7º DAS foi realizado um levantamento da germinação das sementes em campo de forma manual, onde foram selecionadas aleatoriamente 4 linhas de plantio para posterior avaliação. O procedimento seguiu o seguinte critério de germinação onde foi considerada planta germinada nas covas com uma ou mais plantas, contabilizando o total de covas com plantas germinadas e não germinadas.

Para a determinação do percentual de germinação foi realizado o seguinte cálculo.

$$G = \frac{(T_{cg} - T_{cng})}{T_{ca}} * 100 \quad (8)$$

Onde: G é a germinação em (%), T_{cg} é o total de covas com plantas germinadas, T_{cng} é o total de covas não germinadas e T_{ca} é o total de covas avaliadas.

3.12.2 Taxa de crescimento da cultura

Para medir a taxa de crescimento da cultura foram selecionadas duas plantas por tratamento, e com coleta iniciada no 22º DAS e se estendendo até 37º DAS. O tamanho de seus ramos principais medidos com auxílio de régua (Figura 21) feita diariamente sempre no final da tarde por volta das 17:00 horas.



Figura 21 – Medição do crescimento do ramo principal.

3.12.3 – Comprimento e diâmetro dos frutos

Para medir comprimento e o diâmetro dos frutos foram selecionados de forma aleatória 20 frutos de cada tratamento, a medição foi realizada com uma régua (Figura 22a e 22b), as medidas foram feitas escolhendo-se de forma visual o ponto que representava a maior distância entre a o ponto de inserção do pedúnculo e a zona apical do fruto e o diâmetro no meio do fruto.

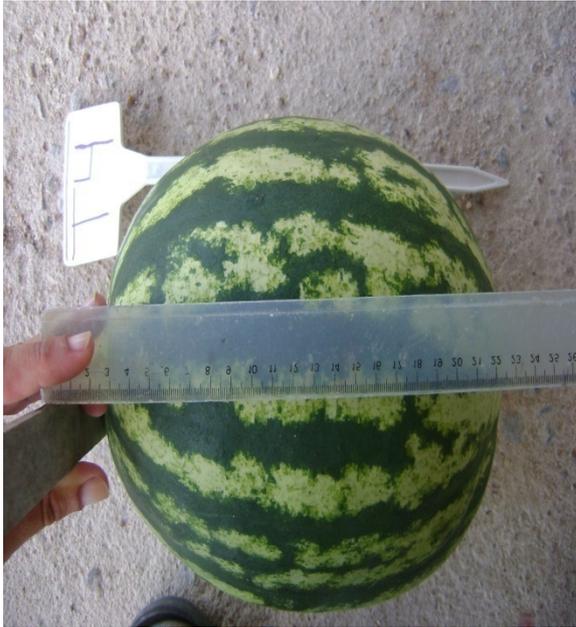


Figura 22a – Medida do comprimento.



Figura 22b – Medida do diâmetro.

3.12.4 – Massa média dos frutos

Para obter a massa média dos frutos foi utilizada uma balança com capacidade para até 150 kg (Figura 23), foram selecionados 10 frutos de forma aleatória de cada tratamento, onde cada fruto foi pesado individualmente. Em seguida foi feita a média aritmética para determinar a massa média dos frutos de cada tratamento.



Figura 23 – Determinação da massa dos frutos.

3.12.5- Números de frutos e produção

Para o número de frutos a contagem foi realizada manualmente a campo para cada tratamento e a produção média foi feita multiplicando-se a massa média dos frutos pela quantidade média de frutos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação da equação de calibração dos sensores

Os sensores utilizados nesse experimento já haviam sido previamente calibrados por Cruz (2009) resultando nas equações 3 e 4 de calibração.

A equação 3 é correspondente à instalação dos sensores na 1ª profundidade que corresponde 15 cm abaixo da superfície. Através dessa equação foi possível transformar os dados de frequência gerados pelos sensores em umidade volumétrica.

$$\theta = 994995 f^{-2.1027} \quad (3)$$

Onde: θ é a umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e f é a frequência do sensor em kHz.

A equação 4 é correspondente a instalação dos sensores na 2ª profundidade que corresponde 30 cm abaixo da superfície do solo.

$$\theta = 68478 f^{-1.7688} \quad (4)$$

Foi realizada uma amostragem de solo próxima de alguns sensores em duas profundidades para determinar a umidade pelo método padrão da estufa com o intuito de comparar com os valores gerados pela equação de calibração dos sensores conforme a Figura 24.

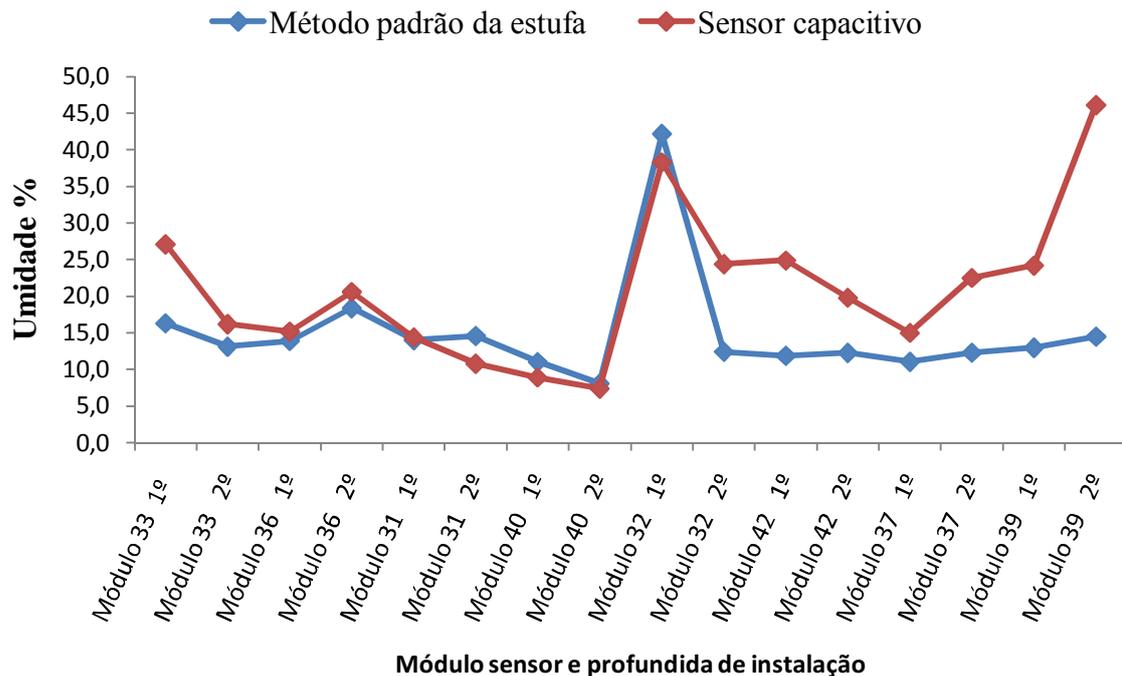


Figura 24— comparação dos valores de umidade do sensor com o método padrão.

Os valores de umidade fornecidos pela equação de calibração dos sensores superestimaram os valores determinados pelo método padrão da estufa. Já Cruz (2009) trabalhando com os mesmo sensores do tipo capacitivo comparou os valores de umidade fornecidos pela equação de calibração do sensor com o método padrão da estufa e encontrou valores subestimados dos sensores em relação ao método padrão da estufa.

Apesar de superestimar, os valores de umidade fornecidos pelo sensor capacitivo em relação ao método padrão da estufa, os valores ficaram próximos podendo o mesmo ser utilizado para o cálculo do tempo de irrigação, podendo ser atribuído essa variação dos valores, às coletas das amostras para determinar a umidade pelo método padrão da estufa, já que os recipientes que foram utilizados não são hermeticamente fechados, podendo haver perdas de umidade entre a coleta e o tempo que se leva para conduzir as amostras até a estufa que no caso desse trabalho foi em torno de uma hora. Um outro fator que poderia ter interferido seria devido as amostras terem sido retiradas apenas próximas do sensor e não no local de instalação, já que durante o experimento tornava-se inviável coletar amostras adjacentes ao sensor, para não interferir nas características físicas do solo. Vale ressaltar também que em alguns adubos orgânicos utilizados como a cama de frango, pode conter substâncias que possam a vim interferir na constante de permissividade do meio e dessa forma alterar a leitura do sensor fornecendo dados que venham a superestimar ou subestimar os valores de umidade.

4.2 Avaliação da RSSF

A RSSF foi de fundamental importância na realização desse trabalho, permitindo de forma eficiente a coleta de dados no campo, diminuindo o tempo gasto nas tomadas de decisão do quando e quanto irrigar em relação ao método convencional que é demorado e oneroso. Cruz (2009) trabalhando também com essa mesma RSSF concluiu que é um sistema dinâmico e preciso que em conjunto com os sensores capacitivo poderá auxiliar pesquisadores e produtores na tomada de decisão de irrigação ajudando na redução dos custos com água e energia elétrica.

Os únicos inconvenientes encontrados na RSSF utilizada nesse trabalho foram a ausência de um botão de “reset” que facilite a reinicialização dos módulos, a falta de algum tipo de estrutura que facilite a retirada do módulo remoto de dentro da estrutura de PVC para possíveis manutenções e a limitação da fonte de energia que no caso desse trabalho foi amenizada pelo uso de painéis solares. Santos (2008) relata que a incompatibilidade da aplicação de RSSF pode ser também relativa ao “hardware” ou “software” e que a limitação da energia ainda é um problema fundamental.

4.2.1 Comunicação dos módulos sensores com o módulo mestre

Os oito módulos sensores instalados a campos não tiveram nenhum tipo de dificuldade de comunicação com o módulo mestre (Figura 25) mesmo o módulo sensor mais distante que se encontrava a aproximadamente 90 metros, transmitia de forma direta os dados sem a necessidade da implantação da função multihop, que são caminhos alternativos de comunicação entre os próprios módulos para transferência dos dados para o módulo mestre. A Tabela 5 mostra as distâncias dos demais módulos sensores instalado no campo. Vale ressaltar que a distância entre os módulos está dentro dos limites especificado pelo fabricante para uma taxa de transmissão de dados de 1 Mbps que é de 150 metros (LAIPAC, 2010).

Tabela 5 - Distância dos módulos sensores para o módulo mestre instalado na estação base

Módulo	Distância (m)
31	30
32	49
33	50
36	65
37	70
39	75
40	80
42	90

**Figura 25-** Módulos sensores instalados no campo e módulo mestre na estação base.

Cruz (2009), trabalhando com rede de sensores sem fio no manejo da irrigação da cultura do milho relatou a dificuldade de comunicação de alguns módulos sensores com o módulo mestre, atribuindo essa dificuldade de comunicação à altura da planta que tinha 2,30 m, enquanto que a altura média dos módulos era de 0,77 m havendo a necessidade de se usar caminhos “multihop”. Essa interferência na transmissão dos dados causada pela altura da planta já foi relatada por outros autores (GIACOMIN e VASCONCELOS, 2006; SANCHEZ et al., 2007).

Neste trabalho, a facilidade de comunicação entre os módulos sensores e o módulo mestre pode ser atribuída ao tipo de cultura utilizada que tem o porte rasteiro, não sobrepondo os módulos sensores como ocorreu com Cruz (2009). Sendo necessária a implantação de caminhos “multihop” apenas quando a distância entre o módulo sensor e o módulo mestre ultrapassar o limite especificado pelo fabricante do transceptor.

4.2.2 Acionamento via rádio frequência do conjunto motobomba e válvulas

Para o acionamento do conjunto motobomba, o módulo estava instalado a uma distância de aproximadamente 7 metros, não apresentando dificuldade de comunicação com o módulo mestre, respondendo de forma precisa ao comando de liga ou desliga, de acordo com a necessidade de irrigação.

A placa desenvolvida para o acionamento das válvulas responderam de forma precisa aos comandos de acionamento, apresentando só em alguns momentos dificuldade de comunicação quando ocorria ventos mais fortes que tirava o módulo mestre do campo de visada direta com o módulo das válvulas, isto ocorria devido à falha de fixação do módulo mestre na estação base. A distância aproximada da instalação do módulo de acionamento das válvulas para a estação base pode ser vista na Figura 26.

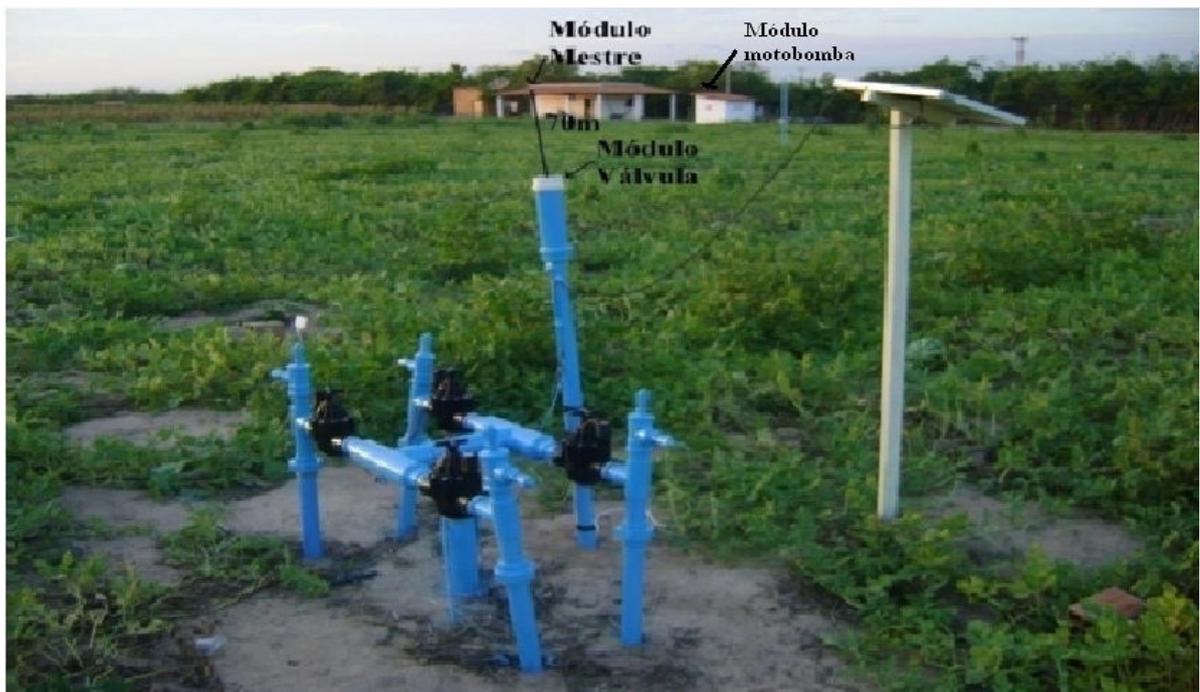


Figura 26- Distância do módulo de acionamento das válvulas e o módulo mestre.

A grande vantagem do desenvolvimento da automação de válvula e bomba via rádio frequência desse trabalho em relação a outros utilizando cabos, conforme Souza (2001) e Maciel (2005) é a não utilização de fios, os quais podem restringir o preparo da área e tratos culturais em geral.

4.2.3 Fonte de alimentação da RSSF

A grande limitação da rede de sensores sem fio (RSSF) é a fonte de energia que em muitas delas é uma bateria, a qual precisa ser carregada ao longo do ciclo da cultura, tornando-se dessa forma uma desvantagem. A grande razão para a adoção de painéis solares neste trabalho foi a necessidade de manter as baterias sempre carregadas no período diurno para realizar coleta de dados mais constante para um maior acompanhamento da variação da umidade do solo antes e depois das irrigações.

Por algum tempo, tentou-se acompanhar a variação da umidade durante 24 horas ao longo do ciclo, mas devido ao desgaste da bateria e altas taxas de transmissão de dados e a necessidade da energização constante do sistema, a tensão da bateria reduzia no período noturno a níveis que comprometia o funcionamento da RSSF. O painel solar instalado no campo e conectado à bateria para realizar o carregamento pode ser visto na Figura 27.



Figura 27 – Módulo sensor alimentado por painel solar.

O painel solar aqui utilizado manteve a RSSF funcionando adequadamente durante todo o ciclo da cultura sem que houvesse a necessidade de substituição das baterias, permitindo dessa forma fazer coleta de dados mais constantes com um melhor acompanhamento da variação de umidade no solo permitindo assim um manejo mais adequado.

4.4 Monitoramento da umidade através da RSSF

O manejo da irrigação foi realizado de acordo com a Tabela 3 e com o tempo de irrigações definidos pelas leituras de cada sensor em cada tratamento. Os gráficos das Figuras 28 a 31 apresentam a variação da umidade do solo ao longo de um dia correspondente aos módulos sensores 36, 40, 42 e 37 os quais proporcionaram maiores quantidades de dados e menores índices de falha, sendo essas falhas ocasionadas devido à queima de alguns sensores, ou quando o transceptor do módulo remoto apresentava algum defeito, ou ainda devido à queda de tensão das baterias que desligavam os módulos remotos.

Nas quatro figuras observam-se as respostas dos sensores capacitivos FDR, em umidade volumétrica, para as profundidades de 15 e 30 cm. Os valores de umidade volumétrica para as duas profundidades dos sensores capacitivos FDR foram obtidos pelas equações de calibração (Equações 2 e 3). Estão expostos nestes quatro gráficos, os dados que foram possíveis adquirir dos módulos sensores. Os gráficos apresentam em seus eixos ordenados principais, o valor de umidade volumétrica e nos secundários os tempos das irrigações durante o manejo.

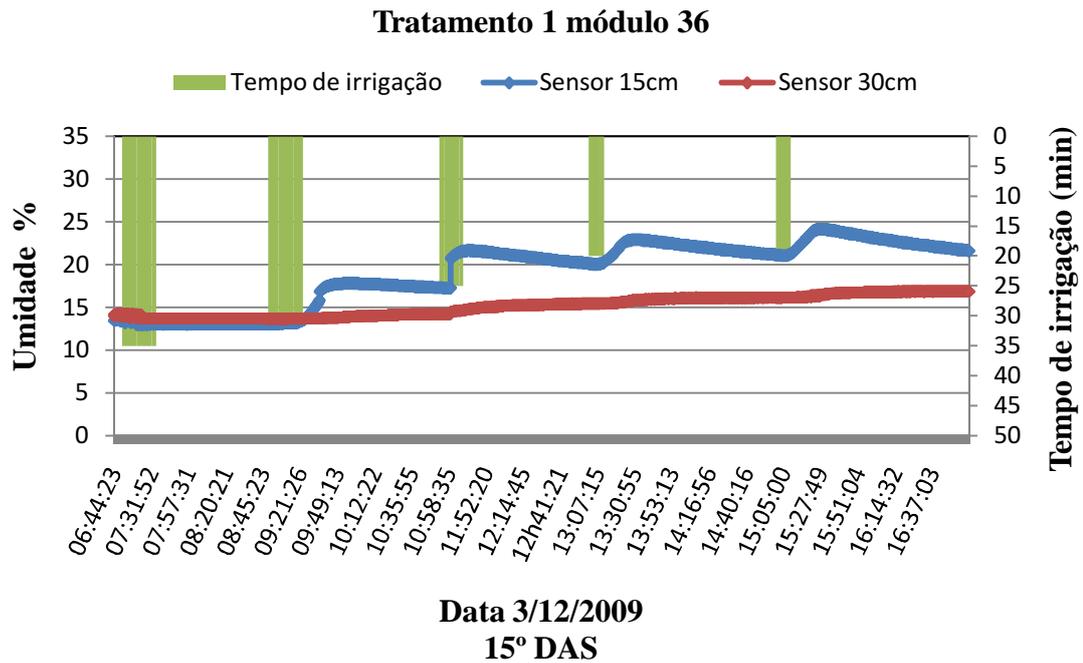


Figura 28 – Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 36 durante o manejo.

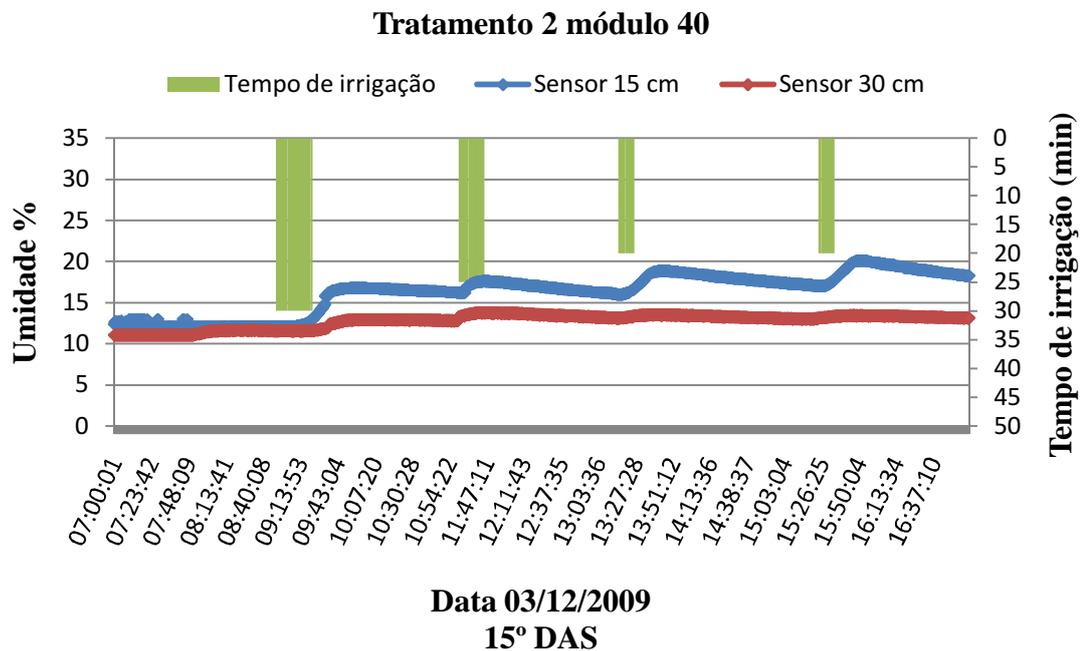


Figura 29 – Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 40 durante o manejo.

Nos tratamentos 1 e 2 (Figuras 28 e 29) pode-se observar que quanto menor o valor de umidade maior é o tempo de irrigação, sendo que no dia 03/12/2009 (15° DAS), o cálculo do tempo de irrigação era realizado utilizando apenas os dados do sensor da primeira profundidade isso porque a planta estava no estágio inicial de desenvolvimento e o sistema

radicular era pouco desenvolvido. Pode-se observar também que os menores valores de umidade ocorreram nas primeiras horas do dia, isso porque a última irrigação era realizada às 15 horas ocorrendo um intervalo de irrigação de 16 e 18 horas entre a última irrigação do dia e a primeira do dia posterior para os tratamentos 1 e 2, respectivamente, enquanto que durante o dia, o maior intervalo entre as irrigações foi de 3 horas, que ocorria nas irrigações entre 9 e 11 horas para os dois tratamentos.

Pode-se observar também que nas Figuras 28 e 29, a resposta dos sensores à irrigação na primeira profundidade foi quase imediata, registrando dessa forma a variação de umidade no momento da irrigação, diferente dos sensores da segunda profundidade que tiveram a resposta, mas lenta. Isso pode ser atribuído à dinâmica da água no solo e à própria estrutura do solo, já que a água aplicada no perfil do solo para atingir as camadas mais profundas depende da velocidade de infiltração que depende dos demais parâmetros já citados.

Nas Figuras 28 e 29 foi possível observar que à medida que as irrigações eram realizadas a umidade ia aumentando e depois se mantendo quase constante, o que pode ser bom para a cultura, pois a mesma não corre o risco de sofrer estresse hídrico durante o dia, período este de maior perda de água tanto pela planta, quanto pelo solo através da evapotranspiração.

Na Figura 30 a variação da umidade aconteceu conforme as respostas dos sensores da primeira profundidade discutidas nas Figuras 28 e 29. Já na Figura 31, a resposta do sensor da primeira profundidade de instalação ocorreu lentamente, podendo esse fato ser atribuído a algum tipo de entupimento nos gotejadores, reduzindo o volume de água aplicado, implicando numa menor variação da umidade.

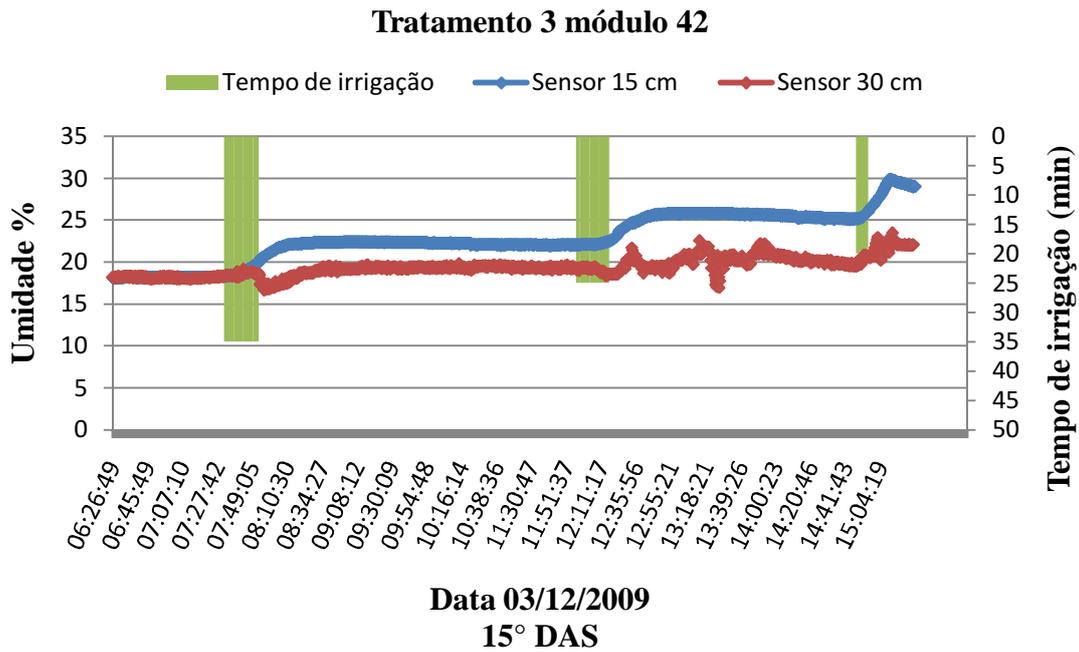


Figura 30 – Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 42 durante o manejo.

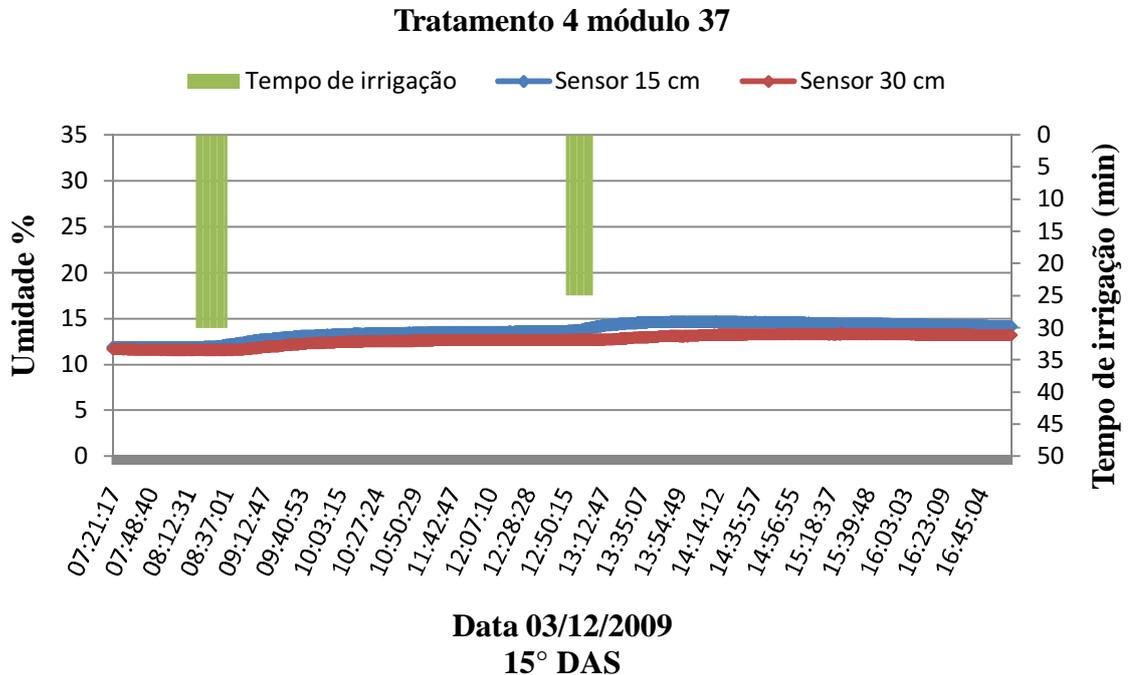


Figura 31 – Variação da umidade volumétrica do solo ao longo do dia pelo módulo 37 durante o manejo.

Nas Figuras 28, 29 e 30 pode-se observar que a variação teve o mesmo comportamento para as camadas de 15 e 30 cm de profundidades, ocorrendo as maiores variações na primeira profundidade de instalação. Já na Figura 31, o comportamento da umidade

para as duas profundidades foram bem próximas, apesar de que, a pouca variação na primeira profundidade pode ser atribuída a uma menor aplicação de água no ponto de instalação. Já a variação de umidade na segunda profundidade ocorreu quase igual ao da primeira, indicando que naquele ponto ocorre uma mudança de estrutura do solo possibilitando uma maior velocidade de infiltração da água do que nos locais onde foram instalados os demais sensores.

Oliveira (2008), realizando o manejo da irrigação na cultura da melancia utilizando sensores do tipo capacitivo em duas profundidades de instalação, também observou que as maiores variações de umidade ocorriam na primeira profundidade de instalação do sensor.

Cruz (2009), avaliando o teor de água nas camadas de 10 e 25 cm abaixo da superfície utilizando RSSF numa área cultivada com milho observou que as maiores variações ocorriam nas primeiras camadas.

Os sensores na segunda profundidade das Figuras 28, 29, 30 e 31 indicam pequena variação na umidade, o que corrobora para a confirmação de que os tempos de irrigação indicados pelo sensor eram o suficiente apenas para fornecer água à profundidade efetiva das raízes.

As Figuras 32 a 35 representam a variação de umidade do solo nos 4 tratamentos de frequência de irrigação, correspondente às duas profundidades de instalação dos sensores capacitivos ao longo de todo o ciclo da cultura da melancia.

O teor de água das Figuras 32 e 33 referentes às profundidades de 30 cm variou pouco ao longo do experimento em relação aos da primeira profundidade. Esta condição permite pronunciar que a água aplicada pela irrigação não estava sendo percolada para as camadas mais profundas, até porque esses dois tratamentos correspondiam às maiores frequência de irrigação, sendo que a grande variação do teor de água ocorreu nas profundidades de 15 cm.

Já as Figuras 34 e 35 mostraram o comportamento de umidade bastante variado para as duas profundidades, fato esse interessante já que esse dois tratamentos recebiam as menores frequências de irrigação, podendo esse fato estar ligado à condutividade hidráulica e à porosidade do solo que influenciam no armazenamento de água. Essa variação também pode estar associada às plantas de melancia que poderiam ter um maior índice de área foliar e conseqüentemente ocorrendo uma maior evapotranspiração. Embora estes aspectos não tenham sido avaliados, propõe-se uma análise mais apurada deste comportamento para verificar as possíveis relações.

Pode-se observar também nas Figuras 32, 33, 34 e 35 que as maiores variações de umidade ocorreram no período que compreende 30/11/2009 a 04/01/2010 que corresponde do

12° ao 47° DAS, período este em que a planta se encontra em pleno desenvolvimento, ocorrendo as fases de floração, frutificação e enchimento dos frutos que respondem por um maior consumo de água.

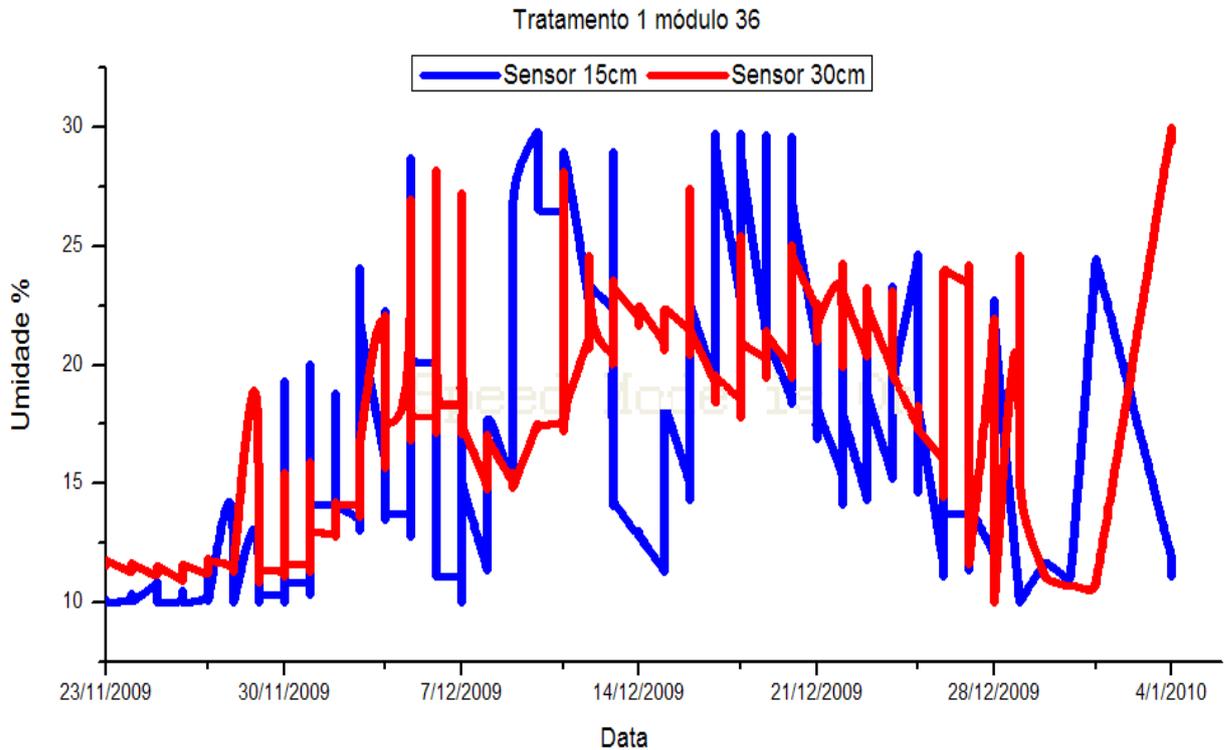


Figura 32- Variação da umidade volumétrica ao longo do experimento pelo módulo 36.

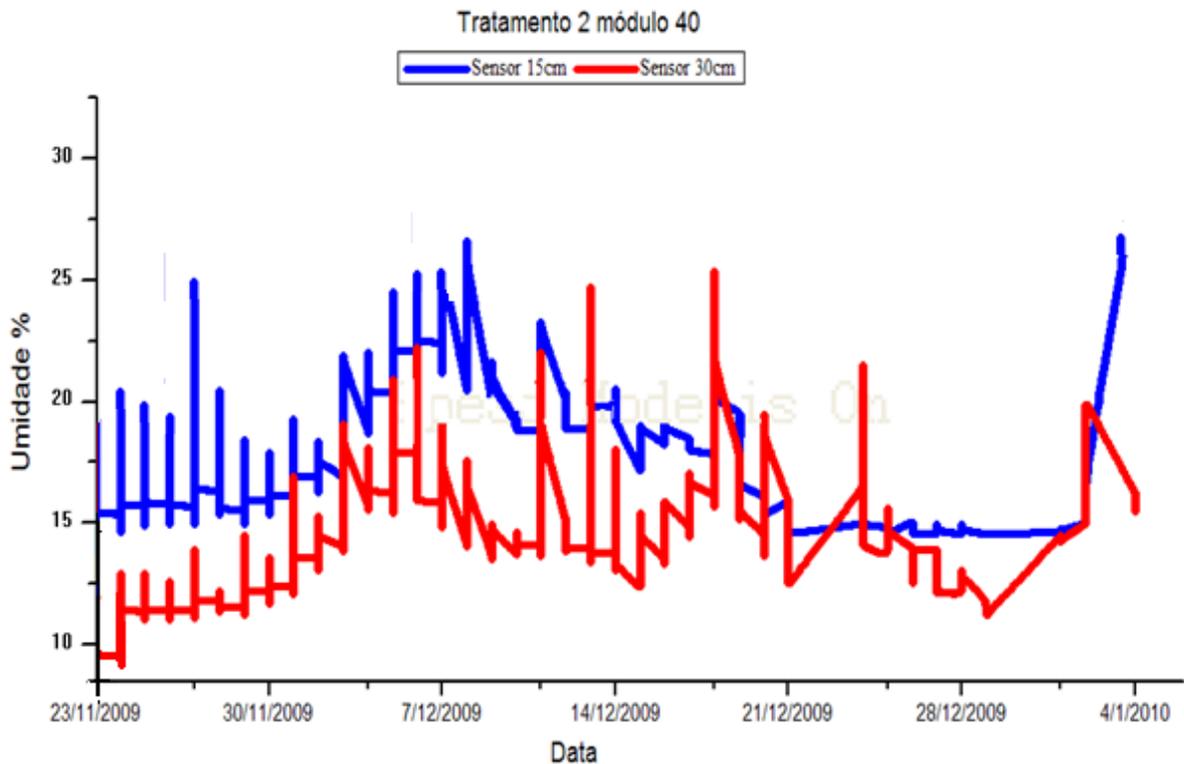


Figura 33- Variação da umidade volumétrica ao longo do experimento pelo módulo 40.

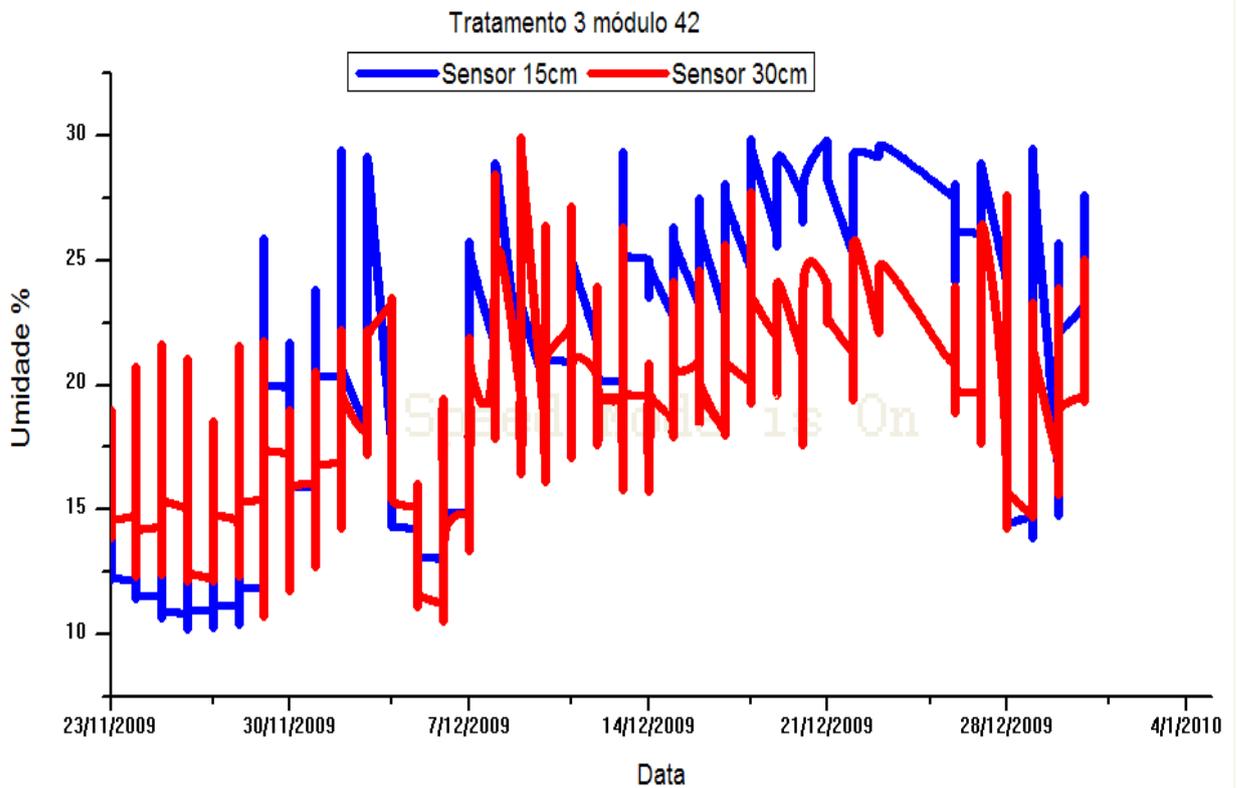


Figura 34- Variação da umidade volumétrica ao longo do experimento pelo módulo 42.

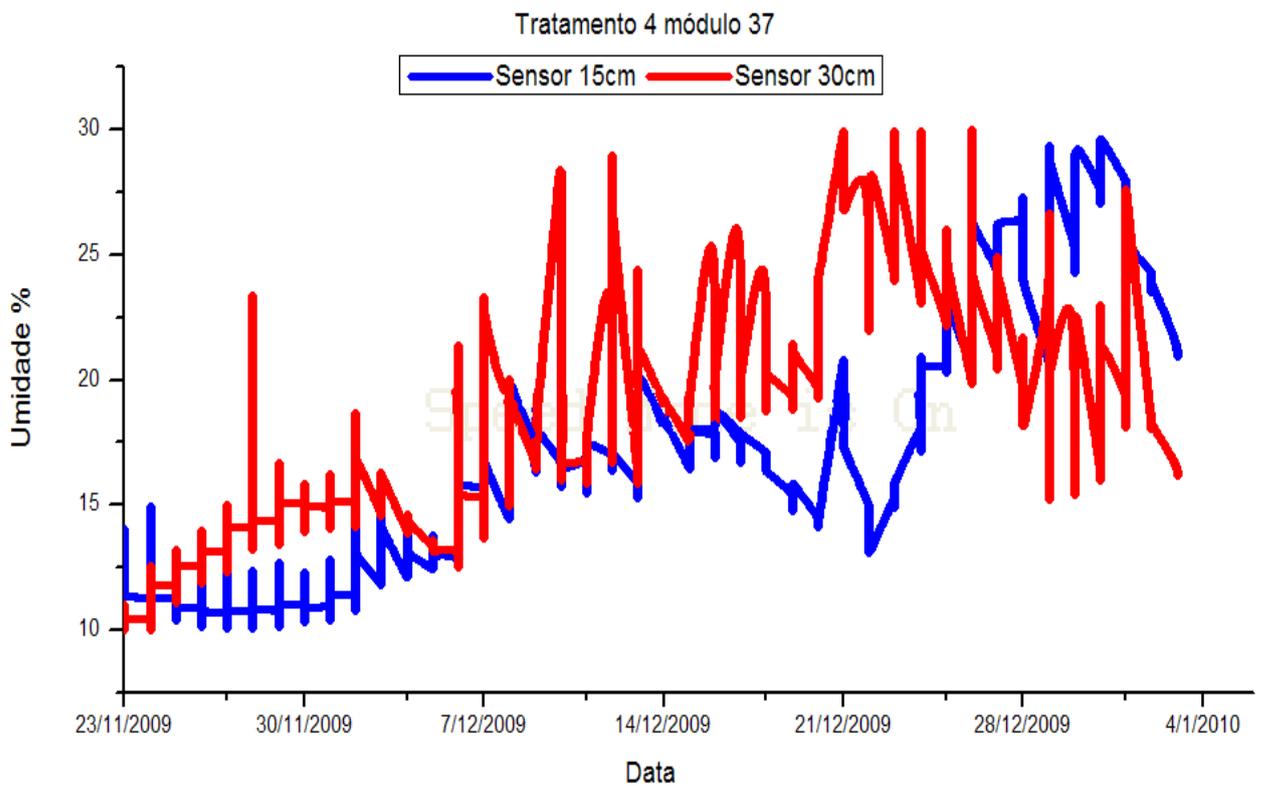


Figura 35- Variação da umidade volumétrica ao longo do experimento pelo módulo 37.

Com base no que foi relatado acima, fica claro que o manejo da irrigação utilizando sensores do tipo capacitivo no sistema de RSSF utilizados nesse trabalho indicará a distribuição de água no perfil do solo ajudando dessa forma nas tomadas de decisão do momento adequado para se iniciar e terminar as irrigações.

Dessa forma, quando essa tecnologia chegar às mãos dos grandes e pequenos irrigantes, esses poderão utilizar dados reais da variação da umidade do solo para determinar os tempo de irrigação, não precisando, dessa forma utilizar métodos empíricos e evitar o desperdício de água e energia. Na Tabela 6 são apresentados os valores de umidade máxima, mínima, média, numero de irrigações, volume total de água aplicado e consumo de energia.

Tabela 6: Umidade máxima, mínima, média (%), numero de irrigações, volume total de água aplicado e consumo de energia

Tratamentos	Umid. máxima		Umid. média		Umid. mínima		Número de irrigações	Volume total de Água aplic. (m ³)	Consumo de energia (kW)
	1º prof	2º prof	1º prof	2º prof	1º prof	2º prof			
T1	29,8	29,9	14,9	15,1	8,3	6,8	165	1247,6	104,6
T2	24,4	29,0	12,9	9,6	8,7	6,5	132	1047,7	87,9
T3	29,8	29,9	18	17,9	10,2	8,0	99	693,3	58,1
T4	29,8	29,9	15,9	17,3	10,0	9,5	66	590,8	49,6

Oliveira (2008), realizando o manejo da irrigação na cultura da melancia baseado nos dados do sensor encontrou um valor 532,17 m³, valor esse inferior aos encontrados nesse trabalho onde no tratamento 1 ocorreu o maior volume aplicado da ordem de 1247 m³ e o menor valor aplicado foi de 590,8 m³ que corresponde ao tratamento 4.

A recomendação técnica realizada no Perímetro prevê uma aplicação de água entre 700,0 a 800 m³ por hectare para a cultura da melancia.

4.5 Massa média do módulo remoto com sensor capacitivo e bateria.

Os dados apresentados na Tabela 7 mostram o resultado da massa média dos principais componentes da RSSF utilizada no manejo da irrigação durante o experimento.

Observa-se que o conjunto tem massa inferior a 1,0 kg, sendo um equipamento leve e de fácil instalação podendo ser retirado e transportado para outras áreas facilmente pelo produtor.

Tabela 7 – Massa média do módulo remoto, sensor capacitivo e bateria

Componentes	Massa Média (g)
Módulo remoto	58
Sensor capacitivo	142
Bateria	572
Total	772

Outros equipamentos como a sonda TDR que precisa utilizar tubos de acesso para medir a umidade do solo necessita ser carregado até o ponto de coleta na área, ou mesmo os tensiômetros de mercúrio que precisam de um trado para perfurar o solo para poder ser feito a instalação, além de usar uma substância que contamina o meio ambiente, se apresentam desvantajosos com relação aos equipamentos aqui utilizados para realização do manejo da irrigação.

4.6 Resposta da cultura aos tratamentos de irrigação

4.6.1 Taxa de crescimento

A cultura apresentou um ciclo de 55 dias entre o plantio e a colheita onde a taxa de crescimento da cultura foi acompanhada ao longo de 15 dias tendo início aos 22º dias após semeadura (DAS), época na qual a planta já estava estabelecida no campo e não apresentava nenhum sintoma de doença ou deficiência nutricional que pudesse comprometer a avaliação e sendo acompanhado até 37º DAS época em que a cultura fechou por completo a área.

Para a taxa de crescimento da cultura ocorreu o maior crescimento para o tratamento 4 que corresponde a dois pulsos de irrigação aos 25º DAS com um crescimento médio de 17 cm enquanto que nos tratamentos 1, 2 e 3 o crescimento médio foi 13,5, 14 e 10,5 cm respectivamente, já o tratamento 1 que corresponde a cinco pulsos de irrigação teve uma

maior taxa de crescimento no 33º DAS conforme pode ser visto na Figura 36. Tentou-se assemelhar a esse pico de crescimento a um maior consumo hídrico pela planta, mas ao verificar esse consumo pelo total de tempo irrigado, apenas os tratamentos 1 e 2 apresentaram um maior tempo de irrigação quando, comparado com os demais dias, sendo o consumo dos dois outros tratamentos inferiores aos demais dias quando realizava-se as irrigações. Esse pico de crescimento pode estar associado à fisiologia da planta, sendo necessário um estudo mais detalhado.

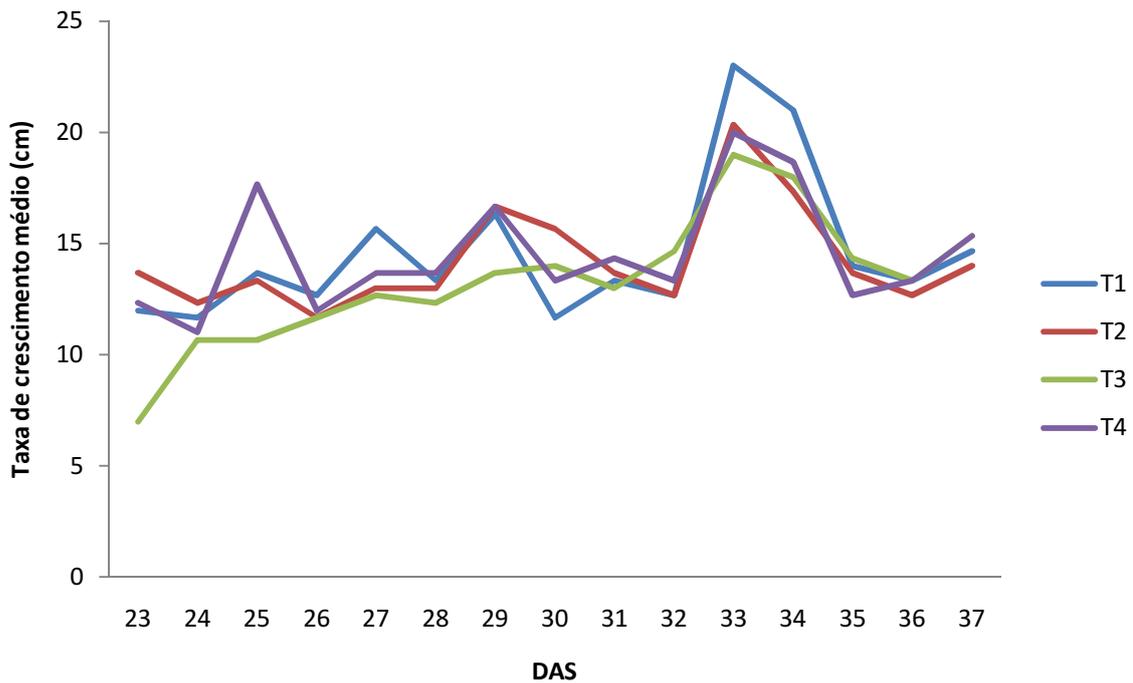


Figura 36 – Taxa de crescimento médio da cultura.

Ao longo do acompanhamento do crescimento da cultura observou-se que não houve muita variação entre tratamentos nesta variável analisada e isto pode ser visto na Tabela 8 que mostra a análise de variância para a taxa de crescimento total de cada tratamento (Apêndice B).

Tabela 8- Análise de variância para a taxa de crescimento total das plantas

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	14.76583	4.92194	0.6237 ns
Resíduo	56	441.95600	7.89207	
Total	59	456.72183		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Oliveira (2008) avaliando a taxa de crescimento da cultura da melancia aos 30° e 31° DAS encontrou valor médio de 12,96 cm que foi inferior aos encontrados nesse trabalho que foi entre 13,17 e 14,37 cm.

4.6.2 Números de frutos por hectare

Após verificado a significância pela análise de variância (Apêndice C), conforme a Tabela 9 foi realizado o teste de Tukey.

As quantidades de frutos/ha apresentaram diferença significativa pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos (Apêndice D) conforme pode ser visto na Tabela 10.

Podendo ser observado na Tabela 10 que os tratamentos 1 e 2 que corresponde a 5 e 4 frequências de irrigações por dia diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey do tratamento 4 que corresponde a 2 irrigações por dia.

Tabela 9 – Análise de variância para o número de frutos/ha

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	807168,0000	269056,0000	5,9100 *
Resíduo	12	546304,50000	45525,3333	
Total	15	1353472,0000		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Tabela 10 – Comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tratamentos	Médias
1	1520a
2	1400a
3	1264ab
4	920 b
DMS	448,00
CV (%)	16,72

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Batista et al, (2008) aplicando diferentes lâminas de irrigação em três cultivares de melancia observou que todas apresentaram o mesmo desempenho com relação à produção de frutos.

A maior quantidade média de frutos pode ser observada no tratamento 1 que corresponde a 1520, e a menor quantidade no tratamento 4 que corresponde a 920.

4.6.3 Diâmetro e comprimento dos frutos

Os frutos foram colhidos aos 55° DAS quando atingiu o estágio final de maturação. Para comparar o diâmetro dos frutos entre os tratamentos foi realizado uma análise de variância Tabela 11, após verificado a significância (Apêndice E) foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade (Apêndice F), obtendo-se diferença significativa entre os tratamentos conforme a Tabela 12 que mostra o resultado da análise.

Tabela 11- Análise de variância para o diâmetro médio dos frutos

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	28,33750	9,44583	5,5074 **
Resíduo	76	130,35000	1,71513	
Total	79	158,68750		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Tabela 12- Diâmetro médio dos frutos comparado pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

Tratamentos	Médias (cm)
1	21,35 b
2	23a
3	22ab
4	21,9 b
DMS	1,08907
CV (%)	5,93600

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

O tratamento 2 diferiu significativamente dos tratamentos 1 e 4, quando comparados pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. O valor máximo para o diâmetro do fruto foi de 23 cm que corresponde ao tratamento 2 onde se irrigava quatro vezes ao dia, e o menor diâmetro que foi de 21,35 cm corresponde ao tratamento 1 na qual se irrigava 5 vezes no dia.

Para o comprimento médio dos frutos foi realizado a análise de variância (Apêndice G) depois de verificado a significância Tabela 13 foi realizado o teste de Tukey (Apêndice H) que foi significativo ao nível de 1% de probabilidade revelando para esta variável que houve efeitos entre os tratamentos aplicados (Tabela 14).

Tabela 13- Análise de variância para o comprimento médio dos frutos por tratamento

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	54,23750	18,07917	5,3830 **
Resíduo	76	255,25000	3,35855	
Total	79	309,48750		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Tabela 14- Comprimento médio dos frutos comprado pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade

Tratamentos	Médias (cm)
1	22,75 b
2	24,15ab
3	25,00a
4	23,55 ab
DMS	1,52339
CV (%)	7,67998

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 14, que para o comprimento médio dos frutos, o tratamento 3 diferiu significativamente do tratamento 1, ao nível de 1% de probabilidade para o teste de Tukey. O valor máximo do comprimento médio dos frutos foi de 25 cm, obtido no tratamento 3 e o valor mínimo foi de 22,75 cm encontrado no tratamento 1.

Azevedo et al. (2005), testando diferentes níveis de irrigação na melancia da variedade Mickylee PVP, encontrou um valor máximo do comprimento médio dos fruto de 29

cm e valor mínimo de 23 cm, esses valores são superiores ao encontrados nesse trabalho podendo ser atribuído essa diferença ao tipo de variedade trabalhada já que nesse trabalho foi utilizado a variedade Crimson Sweet.

A Figura 37 mostra que existe um relação entre diâmetro e comprimento, ou seja quanto maior o comprimento maior o diâmetro, essa relação pode ser observada nos tratamentos, sendo o valor máximo do diâmetro e do comprimento médio dos frutos observado no tratamento 2 e o valor mínimo observado no tratamento 1.

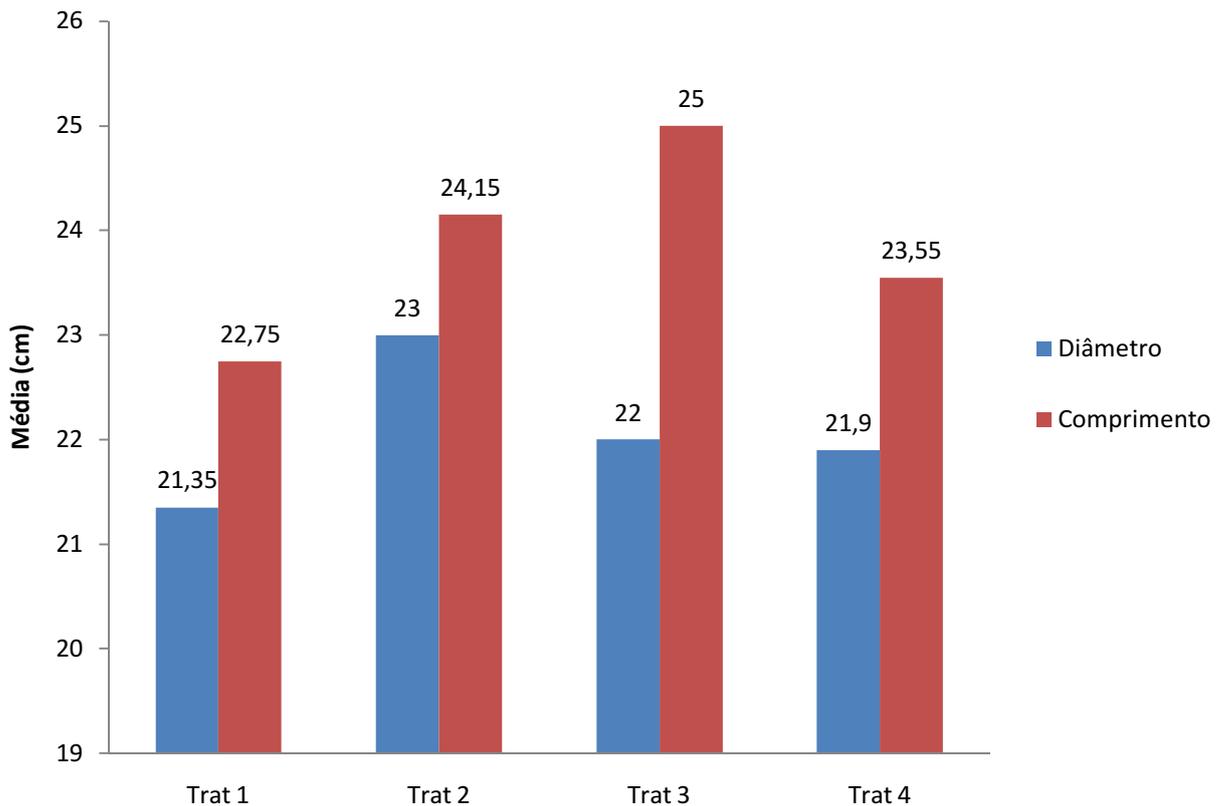


Figura 37 - Relação entre diâmetro e comprimento médios dos frutos.

4.6.4 Massa média dos frutos

Para a massa média dos frutos não houve diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de F ao nível de 1% de probabilidade (Apêndice I), sendo o valor máximo de 6,83 kg obtido no tratamento 2 e o valor mínimo de 6.02 kg no tratamento 1, podendo ser observado na Tabela 15.

Tabela 15- Análise de variância para a massa média dos frutos por tratamento

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	3,42900	1,14300	0,9221 ns
Resíduo	36	44,62200	1,23950	
Total	39	48,05100		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

Tabela 16- Massa média dos frutos por tratamento

Tratamentos	Médias (kg)
1	6,02
2	6,83
3	6,49
4	6,32

Esses valores estão abaixo do esperado, podendo está relacionado ao aparecimento de doenças fúngicas, prejudicando dessa forma o desenvolvimento e acarretando em frutos mais leves.

4.6.5 Produtividade da melancia

Quanto à produtividade da cultura, foi realizado a análise de variância (Apêndice J) e após constatar a significância Tabela 17, foi aplicado o teste de Tukey (Apêndice L) podendo ser observado, na Tabela 18, que apenas o tratamento 3 não mostrou diferença significativa em relação aos demais tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade para o teste de Tukey. O maior valor de produtividade foi de $9,56 \text{ t ha}^{-1}$ obtido no tratamento 2 e o menor valor da produtividade foi de $5,81 \text{ t ha}^{-1}$ no tratamento 4. Oliveira (2008) utilizando sensores do tipo capacitivo para realizar o manejo da irrigação na cultura da melancia da variedade Crimson Sweet obteve uma produtividade de 36 t ha^{-1} .

Mousinho et al. (2003), avaliando a função de resposta da cultura da melancia da variedade Crimson Sweet à aplicação de água e nitrogênio encontrou um modelo de rendimento máximo a ser estimado com uma produção de $30,806 \text{ kg}$, a ser obtido aplicando uma lâmina de 693 mm e $222,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de nitrogênio.

Teodoro et al. (2002), trabalhando com melancia, variedade Crimson Sweet, avaliando diferentes lâminas de irrigação através da evapotranspiração do tanque classe A (ECA), obtiveram uma maior produtividade ($44,46 \text{ t ha}^{-1}$) com o nível de irrigação 120% da ECA. Andrade Junior et al (2001), estudando estratégia ótima de irrigação para a cultura da melancia na condição de irrigação sem déficit hídrico, obteve uma produção máxima de frutos comerciais (43.8 t ha^{-1}) com a aplicação da lâmina total de água de 356,2 mm. O total de água aplicada em cada tratamento pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 17- Análise de variância para a produtividade média t ha^{-1}

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	33797155,00000	11265718,3333	5,5898 *
Resíduo	12	24184945,00000	2015412,08333	
Total	15	57982100,00000		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

As eficiências de uso da água para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 foram de: 0,0073, 0,0091, 0,011 e 0,098 kg L^{-1} respectivamente. Oliveira (2008) realizando o manejo da irrigação na cultura da melancia na mesma área desse experimento obteve um valor de 0,068 kg L^{-1} , enquanto que a eficiência local varia entre 0,05 e 0,057 kg L^{-1} .

Tabela 18- Produtividade média comparada pelo teste de Tukey a 1%.de probabilidade.

Tratamentos	Médias (t ha^{-1})
1	9,15 a
2	9,56 a
3	8,20 ab
4	5,81 b
DMS	2981,27
CV(%)	17,34986

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As baixas produtividades ocorridas nesses tratamentos se devem aos fatores climáticos e biológicos, pois na área do experimento ocorreram chuvas em períodos quentes (Tabela 19) que provocaram o aparecimento de doenças, com a diminuição do estande inicial de plantas, os abortos e o baixo desenvolvimento de alguns frutos. Com o estabelecimento das doenças ocorreu uma drástica diminuição no índice de área foliar da cultura que resultou na

perda do potencial fotossintético da planta e conseqüentemente redução do crescimento dos frutos, pois os mesmos se encontravam em plena fase de enchimento. A Figura 38 mostra a área atacada por cercosporiose.

Tabela 19- Temperatura média (°C) e precipitação (mm)

Mês/ ano	Temperatura média (°C)	Precipitação (mm)
Novembro/2009	27,6	2,0
Dezembro/2009	27,9	1,6
Janeiro/2010	26,1	37

Fonte: INMET (2010)



Figura 38- Área do experimento atacada por doenças.

5 CONCLUSÕES

As equações de calibração dos sensores do tipo capacitivo para as duas profundidades mostraram dados de umidade bem próximos do real, apesar de ter superestimado em alguns pontos, sendo capaz de acompanhar a variação de umidade no solo em tempo real, sendo necessário o ajuste das equações para revelar dados mais precisos de umidade.

Os módulos desenvolvidos para realização do acionamento do conjunto motobomba e válvulas apresentaram boa resposta aos comandos de liga e desliga, podendo ser utilizado para a realização da automação de sistema de irrigação, necessitando passar por pequenas modificações para deixar o sistema mais compacto e dinâmico.

A RSSF permitiu monitorar a variação de umidade do solo através dos sensores capacitivo FDR, antes e depois das irrigações, revelando-se altamente robusto, sendo associado a esse sistema a utilização de painel solar que manteve a bateria com nível constante de tensão, permitindo dessa forma o monitoramento mais intenso da variação da umidade, tornando o sistema mais preciso nas tomadas de decisão das irrigações.

Quanto ao fracionamento das irrigações o tratamento 2 mostrou-se o mais adequado, pois diante das variáveis analisadas da cultura superou os demais tratamentos, principalmente no quesito produtividade que apesar de não ter diferido estatisticamente dos tratamentos 1 e 3 apresentou a maior produção.

Em termos de eficiência do uso da água o tratamento 4 apresentou o melhor resultado em relação aos demais tratamentos, sendo o principal fator da diminuição dessas eficiências o aparecimento de doenças que comprometeram a produção.

6 RECOMENDAÇÕES

Para grandes áreas irrigadas com pouca disponibilidade de mão de obra ou mesmo a necessidade de se realizar irrigações noturnas, é essencial a implantação e o uso de dispositivos que permitam a automação dos sistemas de irrigação. O dispositivo aqui utilizado na automação é mais uma opção para o produtor, que pretende automatizar seu sistema, pois o mesmo atuou de forma precisa aos comandos de acionamento de válvula e bomba.

Se o principal objetivo numa área irrigada for o manejo da irrigação, os dados fornecidos pelos sensores capacitivos através das RSSF são suficientes para tal tarefa, ou mesmo na área da pesquisa objetivando acompanhar o movimento de água no solo de forma contínua ou em intervalos definidos pelos pesquisadores.

Já o fracionamento da irrigação deve ser feito tendo o cuidado para que o período de colheita aconteça na época de melhor preço do produto, porque quanto mais se fraciona a lâmina de irrigação maior é o gasto com água e energia, já que quando se trabalha com umidade próxima da capacidade de campo ao longo do dia, ocorre uma maior evapotranspiração e consequentemente o tempo de funcionamento da bomba é maior.

REFERÊNCIAS

AMARO FILHO, J. ASSIS JUNIOR, R. N. MOTA, J. C. A. **Física do solo conceitos e aplicações**. 1º. ed. Fortaleza, CE, 2008.

ANDRADE JUNIOR., et al. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.2,p.301-305, fev de 2001

ARAGÃO JÚNIOR, T.C.; MAGALHÃES, C.A. de; SANTOS, C.S.V. dos. **Efeitos de níveis de umidade no solo em cultivares de melão** (Cucumis melo,L.). Fortaleza: EPACE, 1991. 16p. (EPACE. Boletim de Pesquisa, 19).

ARAÚJO, F. O. de. **Deteção de falta à terra no serviço auxiliar em corrente contínua das subestações de energia elétrica**. Florianópolis: 2004. 98 f., Dissertação (Mestrado em metrologia) Universidade Federal de Santa Catarina.

AUTOMAÇÃO. 2010. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Automa%C3%A7%C3%A3o>> Acesso em: 28 jan. 2010.

AZEVEDO, B. M de., et al. **Efeitos de níveis de irrigação na cultura da melancia**. Revista Ciência Agrônômica, v.36, n.1, p.9-15, jan/abr de 2005.

BALTRA, A. O. C. Utilização da informática na irrigação. **Irrigação e tecnologia moderna**, n.28, p.13-15, 1987.

BARBEAU M.; KRANAKIS, E. **Principles of ad hoc networking**. England: Jhon Wiley & Sons Ltd, 2007. 254 p.

BATISTA, P. F; KARASAWA, M.; SILVA, M .C; PIRES, M. M. M. da L.; PIMENTA, R. M. B.; ARAGÃO, C. A. **Produtividade da melancia irrigada por gotejamento submetida a diferentes espaçamentos e lâminas de irrigação**. 48º Congresso brasileiro de olericultura , Maringá, PR: ABH, 2008, v.26, n.2, (CD-Rom).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação. 8. ed.** Viçosa, MG: UFV, 2008. 625 p.

CAHOON, J.; FERGUSON, J.; EDWARDS, D.; TACKER, P. 1990. A microcomputer-based irrigation scheduler for the humid mid-south region applied engineering in agriculture 6(3):289-294.

CALBO, A. G.; SILVA, H. RIBEIRO da.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L.C. **Manejo da irrigação com sensores de cápsula porosa permeados por ar**. In: taller international red riegos cyted. Florianópolis – Brasil, Nov. 11-14, 2008

CALBO, A.G., SILVA, W.L.C., 2001. **Irrigas – novo sistema para o controle da irrigação**. In: Congresso nacional de irrigação e drenagem, 11., Fortaleza, 2001. Anais... Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. 2001. pp. 177-182.

CAMPBELL SCIENTIFIC. **TDR: Time-domain reflectometry**. 2010. Disponível em: <<http://www.campbellsci.com/tdr>>. Acesso em: 23 fev. 2010.

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

CLARK, G.A.; MAYNARD, D.N.; STANLEY, C. D. **Drip-irrigation management for watermelon in a humid region**. Applied Engineering in Agriculture, St. Joseph, v.12, n.3, p.335-340, 1996.

COSTA, M.H. **Modelo de otimização dos recursos hídricos para irrigação, conforme a época de plantio**. Viçosa: 1991. 111 f, dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) Universidade Federal de Viçosa.

CRUZ, T. M. L. **Avaliação de um sensor capacitivo para o monitoramento da umidade do solo**. 2007. 63 p. Monografia (Conclusão em Agronomia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CRUZ, T. M. L. **Estratégia de monitoramento e automação em sistemas de irrigação utilizando dispositivos de comunicação em redes de sensores sem fio**. 2009. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

CRUZ, T. M. L.; TEIXEIRA, A. S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; SANTOS, C. C.; OLIVEIRA, A. D. S.; NUNES FILHO, J. L. N. **Avaliação de um sensor capacitivo para o monitoramento da umidade do solo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.4, out/dez, 2009.

DELICATO, C. F. **Middleware baseado em serviços para redes de sensores sem fio**. 2005. 209 f, tese (Doutorado em engenharia elétrica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Fortaleza – CE). **Perímetro Irrigado Baixo Acarau**. Disponível em:
<http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/baixo_acarau.html>
Acesso em: 27 mar. 2010.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

GARCIA, R. F.; QUEIROZ, D. M.; MIYAGAKI, O. H.; PINTO, F. A. D. **Programa computacional para aquisição de dados para avaliação e máquinas agrícolas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p.375-381, 2003.

GIACOMIN, J. C.; VASCONCELOS, F. H. **Wireless sensor network as a measurement tool in precision agriculture**. XVIII IMEKO WORLD CONGRESS. Rio de Janeiro, Brazil, 2006.

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo de irrigação: **Instrumentação, automação e métodos**. In: FARIA, M. S., et al (ed.). Manejo de irrigação. Poços de Caldas: DE/UFLA, 1998. Cap 2, p.133-238.

GRANGEIRO, L.C.; CECÍLIO FILHO, A.B. **Exportação de nutrientes pelos frutos de melancia em função de épocas de cultivo, fontes e doses de potássio**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.22, n.4, p.740-743, 2004.

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)

HICKEY, H. V. **Elements of electronics**. New York: McGraw-Hill, 1961. 549 p.

HOLANDA, Aurélio Buarque de. **Novo dicionário da língua portuguesa**. 12a. impressão. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1975. p. 163

HOOK, W.R.; LIVINGSTON, N.J.; SUN Z.J.; HOOK P.B. **Remote diode shorting improves measurements of soil water by time domain reflectometry**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.56, p.1384-1391, 1992.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/sonabra/downDadosCodigo.php>> Acesso em: 29 mar. 2010.

KLAR, A.E. **Água no sistema**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.

LAIPAC. **High frequency 2.4 GHz wireless transceiver antenna**. 2010. Disponível em: <http://www.laipac.com/easy_trf24_esp.htm>. Acesso em: 25 fev. 2010.

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. 73 f, Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. Ed. Piracicaba [s.n.], Editado pelo autor, 2005. 497 p.

MACIEL, W. M. **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, 2005.

MAINWARING, A., et al. **Wireless sensor network for habitat monitoring**. In: Proceedings of the 2002 ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, Atlanta, USA, Sep. 2002.

MANTOVANI, E. C.; BERNADO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação princípios e métodos**. 2. ed. Viçosa, MG:UFV. 2007. 358 p.

MARQUES, P. A. A. **Desenvolvimento de um software para dimensionamento de irrigação por sulcos**. Piracicaba, 2000. 84 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

MICHELLIS, R. N., et al. **Avaliação do bombeamento de água em um sistema alimentado por painéis fotovoltaicos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.3, p. 370-379, jul/set de 2009.

MICROCHIP. **PIC 18F2331 Data Sheet**. Microchip Technology, 2007. Disponível em: <<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010268>>. Acesso em: 24 fev. 2010.

MIRANDA, J. H.; PIRES, C. M. P. *Irrigação*. Piracicaba: FUNEP, 2001. 410p.(Série Engenharia Agrícola, 1).

MIRANDA, F. R. de.; MONTENEGRO, A. A. T.; OLIVEIRA, J. J. G. Produtividade da melancia irrigada por gotejamento em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 36, n.2, p. 158 –162, maio/ago de 2005.

MIRANDA, D. B.; SANTORO, B. L.; PIRES, R. C. M.; SOUZA, C. F. **Calibração e validação de um equipamento de capacitância para a estimativa da umidade do solo**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro/Petrolina. **Anais...**Juazeiro/Petrolina: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2009. CD.

MOEHLECKE, A., **Fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos**. Trabalho apresentado no II SNESF, 2005.

MOUSINHO, F. E. P., et al. **Função de resposta da melancia à aplicação de água e nitrogênio para as condições edafoclimáticas de Fortaleza, CE**. Revista Irriga, v. 8, n.3, p.264-272, set/dez de 2003.

NADLER, A.; LAPID, Y. **An improved capacitance sensor for in situ monitoring of soil moisture**. Australian Journal of Soil Research, v. 34, n. 3, p. 361-368, 1996.

NEVES, C., et al. **Os dez maiores desafios da automação industrial: as Perspectivas para o futuro**. II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, João Pessoa - PB – 2007. Disponível em: <http://www.redenet.edu.br/publicacoes/arquivos/20080109_085035_INDU-068.pdf> Acesso em: 25 fev. 2010.

OLIVEIRA, A. D. S. **Avaliação do sensor de umidade topdeca no manejo da irrigação**. 2008. 71 f., Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S. **Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.25, n.3, p.317-22, 1990.

PEDROSA, J. F. **Cultivo da melanciaira**. Mossoró: DEA/ESAM, 1997. 50p.

PEREIRA, F. J. S. **Construção de uma bancada de ensaio e avaliação de um sistema de mensuração da produtividade de grãos**. 2002. 109f., Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.16, n.4, p.118-43, 1997.

PHENE, C. J.; DETAR, W. R.; CLARK, D. A. 1992. Real-time irrigation scheduling of cotton with an automated pan evaporation system. **Applied engineering in agriculture** 8(6):787-793.

QUEIROZ, T. M. de. **Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central**. 2007. 142f., Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

QUEIROZ, T. M. de.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.44-54, jan/mar de 2008.

QUIÑONES, A.; MARTINEZ_ALCANTARA, B.; LEGAZ, F. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.122, n.3, p.399-409, nov. 2007.

QUINTÃO, F. P.; MATEUS, G. R.; NAKAMURA, F.G. Uma abordagem evolutiva para o problema de cobertura em redes de sensores sem fio. **Revista Eletrônica de Iniciação Científica da Sociedade Brasileira de Computação**, ano.IV, n.3, set de 2004.

ROCHA NETO, O. C. da.; TEIXEIRA, A. dos. S.; CANAFISTULA, F. J. F.; SOUZA, F. N. P.; NUNES FILHO, J. L. N. Utilização de uma grade de sensores para determinação de bulbo úmido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 38., 2009, Juazeiro(BA)/Petrolina(PE). **Anais...** Juazeiro(BA)/Petrolina(PE): Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2009. 1 CD.

RODRIGUEZ, O. **A importância do potássio em citricultura**. In: Yamada, T. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1982, p. 507-513.

RUTH, B. A., **Capacitance sensor with planar sensitivity for monitoring soil water content**. Soil Science Society of America Journal. Madison, v. 63, p. 48-54, 1999.

SANCHEZ, P. A.; PIERCE, F.J.; ELLIOTT, T. V. **Performance Assessment of Wireless Sensor Networks in Agricultural Settings**. In: ASABE – Annual International Meeting, Paper Number: 073076, Minneapolis, Minnesota, June 2007, 10p.

SANTOS, C. C.; TEIXEIRA, A. S.; CANAFÍSTULA, F. J. F.; DAHER, S.; BARROSO, G. C. **A wireless system for remote monitoring soil moisture and temperature.** In: Brazilian Congress of Agricultural Engineering, 37., 2008, City Iguassu Falls. *Anais...* City Iguassu Falls - Brazil: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2008a. 1 CD.

SANTOS, C. C. **Sistema de sensoriamento remoto de umidade e temperatura do solo para irrigação de precisão.** 2008b. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SERRARENS, D.; MACINTYRE, J. L.; HOPMANS, J. W.; BASSOI, L. H. **Soil moisture calibration of TDR multilevel probes.** *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.57, n.2, p.349-354, 2000.

SILVA, I. O. **Desenvolvimento de um sensor capacitivo para o monitoramento de umidade no solo.** 2005. 86 f, Dissertação (Mestrado em irrigação e drenagem)- Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; ALVES JÚNIOR, J.; SOUZA, A. B.; MELO, F. B.; COELHO FILHO, M. A. **Calibration of a capacitance probe in a paleudult.** *Sci. Agric.*, Piracicaba, v.64, n.6, p.636-640, nov/dec. 2007.

SILVA, C. R.; JUNIOR, A. S. de. A. **Aspecto práticos na utilização da técnica de capacitância: Desafios e aprendizados.** II workshop de aplicações de técnicas eletromagnéticas para o monitoramento ambiental, São Paulo, Taubaté, 2008.

SOLAR BRASIL. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/modulos.htm>> Acesso em: 29 mar. 2010.

SRINIVAS, K.; HEDGE, D.M.; HAVANAGI, G.V. **Plant water relations, canopy temperature, yield and water-use efficiency of watermelon *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsun et Nakai under drip and furrow irrigation.** *Journal of Horticultural Science*, Ashford Kent, v.64, n.1, p.115-124, 1989.

SOUZA, R. O. R de. M. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação automatizado para áreas experimentais.** 2001. 83f., Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SOUZA, V. F de., et al. **Frequência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso.** *Revista. PAB*, Brasília, v.34, n.4, p.659-664, abr. 1999.

SOUSA, V. F., et al. **Doses de nitrogênio e potássio por fertirrigação na produção do meloeiro**. In: Balbuena, R.H.; Benez, S.H.; Jorajuria, D. (eds.). *Avances en el manejo del suelo y agua en la ingeniería rural latinoamericana*. La Plata: UNLP, 1998. p.195-200.

SUZUKI, M.A.; HERNANDEZ, F. B. T. **Automação de sistema de irrigação**. 2010. Disponível em <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso2.htm>> Acesso em: 28 jan. 2010.

TEODORO, R. E. F.; ALMEIDA, F. P.; LUZ, J. M.; MELO, B. **Diferentes lâminas de irrigação por gotejamento na cultura de melancia (*Citrullus lanatus*)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. CD.

TOPP, G. C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A. P. **Eletromagnetic determination of soil watercontent: measurements in coaxial transmission lines**. *Water Resources Research*, v.16, p.574-582, 1980.

TORMENA, C. A., et al. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.3, p.286-292, 1999.

VILLAS BÔAS, R.L., et al. **Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil**. In: Folegatti, M.V.; Casarini, E.; Blanco, F.F.; Brasil, R.P.C.; Resende, R.S. (eds.). *Fertirrigação: Flores, frutas e hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 2001. cap.1, v.2, p.71-103

VILELA, L.A.A.; CARVALHO, H.P.; PRADO, G.; BOTREL, T.A. Construção e calibração de um manômetro digital microprocessado, in CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. CD.

VILELA, L.A.A. **Metodologia para dimensionamento de um sistema de pulverização acoplável pivô central**. 2002. 127 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

WANG, N et al. **Wireless sensors in agriculture and food industry – recent development and future perspective**. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2006, n. 50, p.1-14.

ZHANG, Z. **Investigation of wireless sensor networks for precision agriculture**. In: ASABE – Annual International Meeting, Ottawa, Ontario, Canada. Paper Number: 041154, august 2004, 8p.

ZHAO, F; GUIBAS, L. Applications and Future Directions. In: _____. **Wireless Sensor Networks: An Information Processing Approach**, São Francisco: Elsevier, 2004. p. 291-306.

ZAZUETA, F. S.; XIN, J. N.; WHEATON, A.; JACKSON, J.; ALMED, M. 1994. Development of a computer-based control system for reclaimed water citrus irrigation proceedings of the 5TH international conference on computers in agriculture, Orlando, FL.

APÊNDICES

APÊNDICE A- Planilha com calendário de adubação e fertirrigação.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	DATA	DAP	ATIVIDADE		UREIA	FATO AMC	NITR. Ca	MAP	SUPERSIMPLES	NITR. K	CLOR. K	FTE
3	18/11/09	0	quarta	PLANTIO		25		50	80		25	50
4	19/11/09	1	quinta									
5	20/11/09	2	sexta									
6	21/11/09	3	sabado									
7	22/11/09	4	domingo									
8	23/11/09	5	segunda	GERMINAÇÃO								
9	24/11/09	6	terça									
10	25/11/09	7	quarta									
11	26/11/09	8	quinta									
12	27/11/09	9	sexta	PULVERIZAÇÃO								
13	28/11/09	10	sabado		5							
14	29/11/09	11	domingo									
15	30/11/09	12	segunda		5							
16	1/12/09	13	terça									
17	2/12/09	14	quarta	Pulverizaç	5							
18	3/12/09	15	quinta								5	
19	4/12/09	16	sexta		5							
20	5/12/09	17	sabado								5	
21	6/12/09	18	domingo		5							
22	7/12/09	19	segunda								5	
23	8/12/09	20	terça	CAB	10							
24	9/12/09	21	quarta								5	
25	10/12/09	22	quinta	FOLIAR	10							
26	11/12/09	23	sexta	CERCONIL+aplud +mospilan							5	
27	12/12/09	24	sabado		10							
28	13/12/09	25	domingo								5	
29	14/12/09	26	segunda	CAB	10							
30	15/12/09	27	terça								5	
31	16/12/09	28	quarta	FOLIAR	10							
32	17/12/09	29	quinta				5				5	
33	18/12/09	30	sexta	CERCOBIN		10						
34	19/12/09	31	sabado				5				5	
35	20/12/09	32	domingo			10	5					
36	21/12/09	33	segunda	CAB			5				10	
37	22/12/09	34	terça			10						
38	23/12/09	35	quarta				5				10	
39	24/12/09	36	quinta			10	5					
40	25/12/09	37	sexta	CERCONIL				5			10	
41	26/12/09	38	sabado			10		5				
42	27/12/09	39	domingo				5	5			10	
43	28/12/09	40	segunda			10	5	5				
44	29/12/09	41	terça					5				
45	30/12/09	42	quarta		10			5				
46	31/12/09	43	quinta					5		3		
47	1/1/10	44	sexta	CERCOBIN	10			5		3		
48	2/1/10	45	sabado					5		3		
49	3/1/10	46	domingo					5		3		
50	4/1/10	47	segunda					5		3		
51	5/1/10	48	terça		10			10		14		
52	6/1/10	49	quarta		20		15	0		0	15	
53	7/1/10	50	quinta		20		0	20		14		
54	8/1/10	51	sexta	CERCONIL		20	15	0		0	15	
55	9/1/10	52	sabado			20		10		14		
56	10/1/10	53	domingo			0	15	10		0	15	
57	11/1/10	54	segunda			20		10		14		
58	12/1/10	55	terça			20		10		0	15	

APÊNDICE B- Análise de variância para a taxa de crescimento
Anova Taxa de crescimento

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	14.76583	4.92194	0.6237 ns
Resíduo	56	441.95600	7.89207	
Total	59	456.72183		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

APÊNDICE C- Análise de variância para o número de frutos
Anova número de Frutos

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	788,25000	262,75000	5,9100 *
Resíduo	12	533,50000	44,45833	
Total	15	1321,75000		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

APÊNDICE D- Teste de Tukey para o número de frutos
Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamentos	Médias
1	1520a
2	1400a
3	1264ab
4	920 b
DMS	448,00
CV (%)	16,72

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

APÊNDICE E- Análise de variância para o diâmetro dos frutos
Anova Diâmetro dos Frutos

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	28,33750	9,44583	5,5074 **
Resíduo	76	130,35000	1,71513	
Total	79	158,68750		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

APÊNDICE F- Teste de Tukey para o diâmetro dos frutos
 Teste de Tukey a 1% de probabilidade

Tratamentos	Médias (cm)
1	21,35 b
2	23a
3	22ab
4	21,9 b
DMS	1,08907
CV (%)	5,93600

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

APÊNDICE G- Análise de variância para o comprimento dos frutos.
 Anova comprimento dos Frutos

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	54,23750	18,07917	5,3830 **
Resíduo	76	255,25000	3,35855	
Total	79	309,48750		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$)

ns não significativo ($p \geq 0,05$)

APÊNDICE H- Teste de Tukey para o comprimento dos frutos
 Teste de Tukey a 1% de probabilidade

Tratamentos	Médias (cm)
1	22,75 b
2	24,15ab
3	25,00a
4	23,55 ab
DMS	1,52339
CV (%)	7,67998

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

APÊNDICE I- Análise de variância a massa média dos frutos.

Anova massa média dos Frutos

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	3.42900	1.14300	0.9221 ns
Resíduo	36	44.62200	1.23950	
Total	39	48.05100		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

APÊNDICE J- Análise de variância para a produtividade média dos frutos t ha⁻¹.Anova Produtividade média t ha⁻¹

F.V	G.L	S.Q	Q.M	F
Tratamento	3	33797155.00000	11265718.3333	5.5898 *
Resíduo	12	24184945.00000	2015412.08333	
Total	15	57982100.00000		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

APÊNDICE L- Teste de Tukey para produtividade média dos frutos t ha⁻¹

Tukey a 1%.de probabilidade.

Tratamentos	Médias (t ha ⁻¹)
1	9,15 a
2	9,56 a
3	8,20 ab
4	5,81 b
DMS	2981,27
CV(%)	17,34986

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

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.