

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

ESTUDO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO SEM FIO

LEONARDO CAMPOS DO CARMO

MILTON BIAGE
(orientador)

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia, da Universidade Federal de Uberlândia, para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia - MG
Agosto - 2002
ESTUDO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO SEM FIO

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA EM 13/08/2002

Prof. Dr. Milton Biage
(Orientador)

Prof. Dr. Marcos Morais de Souza
(Membro da Banca)

Prof. Msc. Marcos Alberto Lopes da Silva
(Membro da Banca)

Uberlândia - MG

Agosto - 2002

Agradeço a Deus por me garantir intuição, conhecimento e perseverança, à minha família pelo amor e paciência dedicados, ao meu orientador pela amizade e confiança e a todos os meus amigos que tanto me incentivaram para a conclusão deste trabalho.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO..... | 7 |
| REVISÃO DE LITERATURA..... | 10 |
| MATERIAIS E MÉTODOS..... | 14 |
| 3.1. Materiais e equipamentos..... | 14 |
| 3.2. Sensor capacitivo e metodologia para sua calibração..... | 15 |
| 3.3. Solo..... | 19 |
| 3.4. Ambiente de programação..... | 21 |
| RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 23 |
| 4.1. Generalidades do sistema..... | 23 |
| 4.1.1. Unidade Sensora Remota (USR)..... | 25 |
| 4.1.1.1. Considerações sobre o sensor..... | 26 |
| 4.1.2. Unidade Central de Monitoramento (UCM)..... | 27 |
| 4.1.2.1. Considerações sobre o programa de aquisição dos dados..... | 28 |
| CONCLUSÕES..... | 37 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 38 |

RESUMO

Um sistema de aquisição de umidade do solo sem fio foi estudado em todas as suas etapas com o objetivo de colaborar com o seu desenvolvimento e ainda avaliar sua aplicabilidade nos sistemas agrícolas. Para tanto, este sistema foi dividido em unidades de modo que possibilitassem total flexibilidade de instalação e facilidade de operação no campo, uma vez que comunicam entre si através de radiofrequência (FM). Esta independência da utilização de fios se justifica pelo fato de que no campo onde o sensor é instalado recebe grande trânsito de máquinas agrícolas, as distâncias a serem vencidas são consideráveis, leituras manuais são passíveis de erros, e ainda requerem disponibilidade de pessoal e tempo. Desse modo, o sistema foi dividido em: USR (Unidade Sensora Remota), UCM (Unidade central de monitoramento) e UAT (unidade atuadora). Em particular, a UAT é um componente à parte do projeto, sendo mencionada apenas como instrumento receptor da informação gerada pelo sistema e, a partir deste ponto, atuará no controle do sistema de irrigação. A USR é composta de: sensor capacitivo, instalado no solo, circuito amplificador, circuito conversor de corrente AC/DC, conversor Analógico/Digital, microcontrolador PIC 16F84, transmissor FM e bateria. A UCM é composta de: receptor de FM, demodulador, interface serial RS232, fonte de energia e microcomputador. Vale ressaltar que o sensor capacitivo possui um funcionamento e construção bastante simples, contudo se faz necessário sua prévia calibração para cada tipo de solo a ser trabalhado. Na UCM destaca-se a importância de um software que seja capaz de organizar as informações coletadas pela USR. Com este propósito foi desenvolvido um programa em Delphi para recepção, tratamento, armazenamento e visualização dos dados recebidos através da interface serial em tempo real. Alguns problemas de ordem experimental foram detectados, mas todos apresentam correção à médio prazo. Percebe-se, portanto, que este trabalho não se encerra aqui, dado a sua complexidade e influência de inúmeras disciplinas envolvidas, sendo proposta a continuação deste desenvolvimento à nível de pós-graduação por se tratar de um sistema promissor para a agricultura.

1. INTRODUÇÃO

A luta pela sobrevivência está presente na vida de todo ser humano. Desde a Antigüidade o homem tem como principal ocupação a busca pelo alimento, através da prática extrativista e nômade que se consagrou durante vários séculos. Com o decorrer do tempo o homem dominou o aprendizado de como produzir alimento e não depender tão somente das condições generosas da natureza. A partir deste aprendizado, o homem tornou-se sedentário e juntou-se em grupos, cada vez mais numerosos, em locais com condições ambientais favoráveis, acabando por formar o que é conhecido hoje como civilização.

A conquista do conhecimento, através da observação empírica da natureza de como produzir alimento, foi um dos mais gigantescos passos para a evolução do homem na Terra. Este enorme avanço só foi possível de ser concretizado com o advento da agricultura. Nota-se que atualmente a agricultura possui o mesmo grau de importância quanto ao observado no início da aglomeração humana, principalmente com relação a países de vocação agrícola como é o caso do Brasil, devido sua participação expressiva na formação do Produto Interno Bruto (PIB).

Com o passar dos séculos a agricultura de subsistência evoluiu a passos curtos, muito dependente das condições ambientais e políticas, como na época Feudal. Observa-se que apenas o excedente de produção era utilizado como instrumento de troca ou valia entre as famílias de camponeses, restando para cada habitante ou família a produção de alimento para sua própria sobrevivência. Pode-se dizer que houve mudanças profundas e significativas nas relações de troca entre as pessoas, concomitantemente com a evolução das aglomerações humanas, desde as primeiras civilizações até os dias atuais. Vê-se que o trabalho, de modo generalizado, tornou-se cada vez mais específico e rico em conhecimento. O mesmo fenômeno ocorreu com a agricultura, passando esta de uma atividade de subsistência e meio de simples troca para uma importante peça na sustentação do novo modo de vida que estava sendo consolidado: os grandes centros.

Até meados do século XX pode-se observar intensa dependência da agricultura pelas condições edafo-climáticas, tais como fertilidade natural do solo e regime sazonal de chuvas, para a satisfação da crescente demanda por alimento, causada pelo alto crescimento demográfico nos centros urbanos. A expansão urbanística, a industrialização, a agricultura e a pecuária intensivas passaram a exigir crescentes quantidades de água; isto sem considerar a crescente necessidade de produção de energia elétrica que se encontra estreitamente associadas à elevação do nível de vida e ao crescimento populacional. A era industrial trouxe a elevação do nível de vida e o rápido crescimento da população mundial: 1 bilhão de pessoas no ano de 1800, 2,5 bilhões em 1950, 4,4 bilhões em 1980, 6,2 bilhões em 2002, conforme projeções da Base Internacional de Dados do U.S. Bureau of the Census (2002).

Hoje existem inúmeros avanços na área agrícola em todo mundo. Progressos só alcançados através da pressão econômica e social que existe sobre a comunidade científica.

Uma das conquistas mais notáveis do homem, motivada pela necessidade de produção em larga escala de alimentos, é o uso da água para fins agrícolas. A água está presente em múltiplas atividades do Homem e, como tal, é utilizada para finalidades muito diversificadas, em que assumem maior importância o abastecimento doméstico e público, o uso agrícola e industrial e a produção de energia elétrica.

Numa agricultura globalizada e competitiva não há espaço para desperdícios e tudo deve funcionar de modo otimizado, principalmente o uso dos recursos naturais. Por isso se faz necessário que um sistema de irrigação seja completo, detectando onde, quando e quanto irrigar, tornando-se, assim, necessário dispor de informações que possibilitem o controle e decisão automática do início e término da irrigação, racionalizando o uso da água.

Pretende-se com a execução deste trabalho prosseguir o desenvolvimento de um sistema de transmissão de dados de umidade sem fio e também adquirir novos conhecimentos das diversas áreas do conhecimento que estão envolvidas num projeto dessa natureza, para uma formação eclética. Este sistema foi inicialmente concebido por Pinto (1997).

Buscar alternativas economicamente viáveis para o melhor aproveitamento do uso da água constitui-se em um dos deveres do pesquisador da área de ciências agrárias, visto que o papel do profissional está vinculado diretamente com a otimização dos recursos naturais, preservando o meio ambiente, de maneira sustentável e de acordo com os princípios da Agroecologia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A irrigação, numa definição clássica e conservacionista, consiste na aplicação artificial de água ao solo, através de métodos capazes de atender da melhor forma possível as condições topográficas, climáticas e de retenção do solo tendo em vista os objetivos desejados, como qualidade e produtividade, aliadas à mínima degradação ambiental (Bernardo, 1995).

A Irrigação permite aos produtores maior independência do regime das chuvas, por vezes sazonal, e resulta num incremento da produção dos gêneros alimentícios em relação às áreas de sequeiro (Siqueira et al., 1987). Segundo este mesmo autor, os incrementos de produção e qualidade dos frutos de cacaueteiro, por exemplo, são bastante expressivos, pois permitem o rápido retorno financeiro do investimento nos equipamentos para irrigação.

Todavia os sistemas de irrigação requerem certos dados preliminares para sua utilização (Azevedo et al., 1994). Estes dados são, basicamente, conjuntos de informações edafo-climáticas pertinentes à região a ser irrigada e à cultura trabalhada, que facilitarão a escolha do sistema de irrigação conforme as peculiaridades encontradas. Se, por exemplo, a região escolhida possuir uma estação seca pronunciada, alta incidência de ventos e a

cultura não tolerar umidade em sua folhagem, não poderemos optar pela irrigação de aspersão, sendo prudente a escolha de outro sistema, como é neste caso a escolha pelo sistema de gotejamento.

Apesar destas e inúmeras outras considerações de ordem técnica e financeira, o profissional deve possuir uma base sólida que lhe permita avaliar a necessidade de aplicação da lâmina de água em sua cultura. Esta base de dados é alcançada pela análise do balanço hídrico local e dos profundos conhecimentos sobre as características físico-químicas do solo. Através de instrumentos que permitam quantificar as variáveis envolvidas no ecossistema agrícola, como índice pluviométrico, umidade do ar e do solo, irradiação solar e evaporação, torna-se possível avaliar a real necessidade de água a ser complementada pelo sistema de irrigação.

Na atualidade, os instrumentos mais comuns disponíveis no Brasil para a medição *in situ* da umidade do solo são os tensiômetros (Guerra et al., 1994), os sensores feitos de blocos de gesso e os sensores capacitivos que se encontram em desenvolvimento (Carmo, 2000). Contudo, com a evolução da informática, que permite automatizar com facilidade processos e obter respostas em tempo real, torna-se necessário obter instrumentos que facilitem a transmissão e o processamento de dados. Em particular, os tensiômetros e os blocos de gesso não foram adequadamente adaptados para facilitar a transmissão remota de informação, e, devido a algumas deficiências desses equipamentos, tornou-se mais apropriado desenvolver novos sensores menos sensíveis às variações de propriedades particulares de solos e águas, como no caso dos sensores capacitivos (Varallyay & Rajkal, 1987).

Pinto (1997) desenvolveu estudos preliminares e básicos sobre o princípio do funcionamento de sensores capacitivos, determinando analiticamente suas dimensões ideais, de forma que um campo elétrico bidimensional fosse estabelecido, caracterizando a condição ideal de funcionamento para tipo de sensor. Este sensor funciona sobre o princípio da capacitância, princípio este que tem sido muito empregado numa grande variedade de sensores para caracterizar uma grandeza variante no tempo, como, por exemplo, para medir a umidade no ar e, neste caso, do solo. Uma definição generalizada de capacitância entre dois condutores, imersos em um meio dielétrico qualquer, pode ser representada pela Equação 1:

$$C = \frac{Q}{V_0} \quad (1)$$

onde C é o valor da capacitância, Q é o módulo da carga elétrica total de cada condutor e V_0 é a diferença de potencial elétrico entre os condutores (Pinto 1997). Seguindo o desenvolvimento matemático descrito por Pinto (1997), a capacitância pode ser descrita para capacitores reais como apresentado na Equação 2, desde que a área das placas do capacitor seja maior que a distância entre as mesmas:

$$C = \frac{\epsilon S}{d} \quad (2)$$

onde ϵ é a permissividade elétrica do meio, S é a área da placa do capacitor e d é a distância que separa as duas placas do capacitor. Observa-se, por meio da Equação (2) e pelo trabalho de Rende (1999), que a capacitância depende exclusivamente das características de permissividade inatas do dielétrico residente entre as placas do capacitor e das dimensões dessas placas.

Mantendo-se a distância d e a área S constantes, pode-se medir a variação da capacitância entre as placas variando a permissividade elétrica do dielétrico. Considerando-se que a distância entre placas e as áreas das mesmas sejam constantes e estando o sensor não lacrado, o dielétrico do interior do capacitor, em contato com o solo, entrará em equilíbrio dinâmico com o potencial de água no solo. Este fenômeno ocorre devido as características do dielétrico permitirem a livre movimentação da água em seu interior. Conseqüentemente a água estará alterando a permissividade do meio, e, portanto, modificando a capacitância do capacitor, viabilizando a mensuração desta grandeza no propósito de monitorar o objeto de interesse variante no tempo, tal qual o teor de água no solo.

Porém, como os valores de capacitância possuem uma grandeza muito pequena em relação à voltagem aplicada ao sensor, podem-se apresentar distorções decorrentes da própria interferência causada pelos circuitos dos equipamentos de medida para valores de capacitância. Optou-se então, à semelhança do trabalho de Rende (1999) por medir a diferença de potencial entre as placas do sensor, por meio de um osciloscópio. A calibração foi conduzida com base no valor de tensão de resposta do sensor à alimentação fornecida por uma fonte de corrente alternada, CA , de tensão e frequência de excitação apropriados, sendo substituída por um circuito à bateria para utilização à campo. Essa variação na propriedade dielétrica do meio é quantificada através de um circuito resistivo, associado em paralelo à capacitância do sensor.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais e equipamentos

Os materiais utilizados nas diversas etapas do trabalho estão abaixo relacionados:

- Microcomputador portátil (“notebook”) Pentium marca Microtec;
- Computador de mesa Pentium 200Mhz com 128MB de RAM;
- Protoboard para montagem experimental dos circuitos;
- Placa de cobre de 2mm de espessura, para a confecção das placas do sensor capacitivo;
- Pedras pomes como meio dielétrico;
- Lixa fina;
- Verniz isolante;
- Componentes eletrônicos, tais como resistências, capacitores, transistores, diodos, fios duplos de cobre, placas de suporte, caixa plástica, etc.;

- Baterias de nove volts, para alimentação dos sensores e da placa de aquisição;
- Fonte de alimentação;
- Ferro solda, maçarico, catalisador, solda amarela e de circuitos eletrônicos;
- Osciloscópio Tektronix de 400MHz, alta sensibilidade;
- Balança Eletrônica 1000 gramas (Laboratório de Irrigação);
- Estufa para secagem de solo (Laboratório de Irrigação);
- Softwares diversos como: compilador Borland Delphi 4, Banco de Dados Sybase SQL Anywhere 5.0, editor de imagens Adobe Photoshop 5.0, pacote Microsoft Office, Origin 3.5 (tratamento da curva de calibração) e sistemas operacionais Windows NT 4.0 BR e Windows XP Professional BR.

O corte dos dielétricos (pedras pomes) foi realizado numa máquina trepanadora à seco, com cilindro de corte de diâmetro interno de 50mm, à 1600 rotações por minuto, a fim de se assegurar a perfeita circunferência dos mesmos.

As placas de cobre do capacitor foram cortadas em torno mecânico, com diâmetro idêntico ao do dielétrico. Em seguida foram polidas com lixa fina e receberam duas camadas de verniz automotivo para melhor proteção.

3.2. Sensor capacitivo e metodologia para sua calibração

O sensor capacitivo, esquematicamente representado na Figura 1, apresenta um processo construtivo e um princípio de funcionamento bastante simples. É constituído por duas placas paralelas de cobre, circulares, envernizadas, com um fio de cobre encapado, soldado no centro de cada placa, através do uso de maçarico, catalisador e solda amarela,

conferindo excelente resistência. Estas placas são distanciadas entre si pelo dielétrico de pedra-pomes de mesmo diâmetro.

Ao instalar este sensor no solo, ele altera o seu potencial capacitivo em função do potencial matricial da água presente no solo, entrando em equilíbrio rapidamente. Entretanto, o sensor apresenta diferentes respostas em diferentes tipos de solo, criando a necessidade de calibrá-lo para cada tipo específico de solo a se trabalhar. Neste trabalho fixou-se a utilização de um único tipo de solo, cujas propriedades estão descritas em detalhe no item 3.3.

Para que o sensor, base deste sistema, funcione corretamente, faz-se necessário calibrá-lo. Este processo de calibração visa relacionar o teor de umidade, $U\%$, com a voltagem obtida pelo osciloscópio em resposta a uma tensão de corrente alternada de valor constante de 9 volts e frequência de 2 kHz. A Figura 1 representa o esquema construtivo do sensor e a Figura 2 mostra uma fotografia do sensor capacitivo.

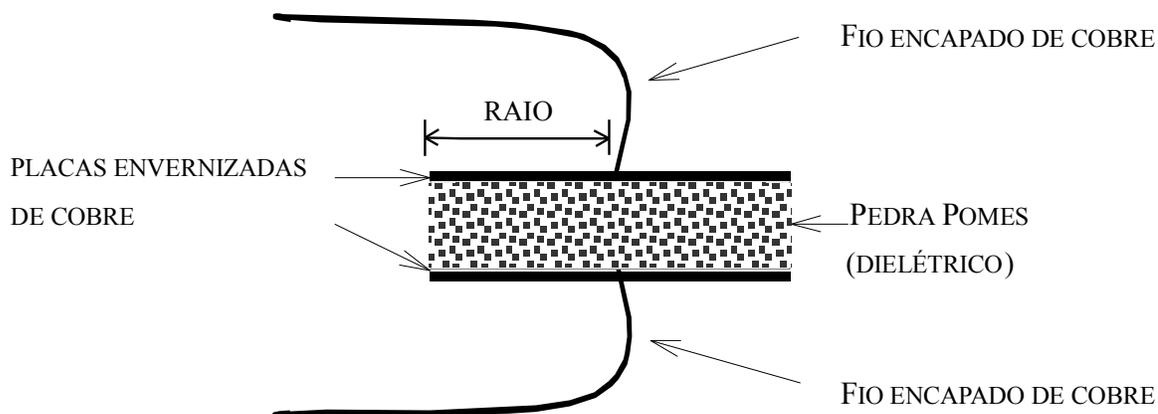


Figura 1. Vista lateral do sensor capacitivo.



Figura 2. Foto do sensor mostrando as duas placas paralelas envernizadas e o dielétrico poroso de pedra-pomes ao centro.

Inicialmente a amostra de solo foi filtrada em peneira de malha 5mm. Em seguida ela foi submetida a um processo de secagem em uma estufa à aproximadamente 105-115°C, durante um período de 24 horas, até atingir peso constante. Após a secagem, procedeu-se o resfriamento da amostra até à temperatura ambiente. Em seguida, utilizando um procedimento mecânico, com o auxílio de um rolo de madeira e uma peneira de malha de 2mm, destorroou-se a amostra.

Foram utilizados recipientes de PVC para acondicionar o conjunto sensor-solo numa bancada. Suas massas foram medidas, juntamente com os sensores, a fim de que fosse descontado seu peso no ato da determinação de umidade. O recipiente de PVC utilizado no primeiro ensaio é cilíndrico, de diâmetro interno igual a 100mm, diâmetro externo igual a 106mm e de altura igual a 70mm.

Nestes recipientes de PVC foram realizados cinco orifícios de 6mm de diâmetro, com a finalidade de que o sistema pudesse ser umedecido com água por capilaridade e que,

uma vez alcançado o ponto de saturação do solo, a água excedente não se acumulasse no fundo do recipiente, como mostra o esquema da Figura 3.

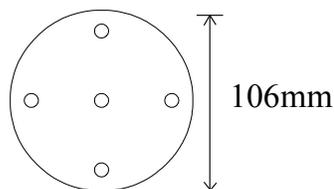


Figura 3: Esquema da distribuição dos orifícios no fundo do recipiente de PVC.

É colocada uma quantidade de solo seco, suficiente para deixar o sensor sem contato direto com o fundo do recipiente. O sensor é então posicionado no centro do recipiente de PVC sobre a amostra de solo e em seguida é encoberto pelo solo até a altura do próprio PVC. A partir deste ponto o sensor é mantido na mesma posição, a fim de que se evite o adensamento da amostra.

Em seguida os sensores foram devidamente energizados com uma fonte de CA de amplitude de 9 volts e com frequência de 2KHz, conforme Rende (1999). O circuito de alimentação do sensor é ilustrado pela Figura 4, onde R_{sensor} é a resistência natural do capacitor à corrente elétrica, C_{sensor} é a capacitância do sensor, R_m é a resistência de 470K Ω . Esta R_m é necessária no circuito para que se consiga medir a diferença de potencial entre as placas do capacitor.

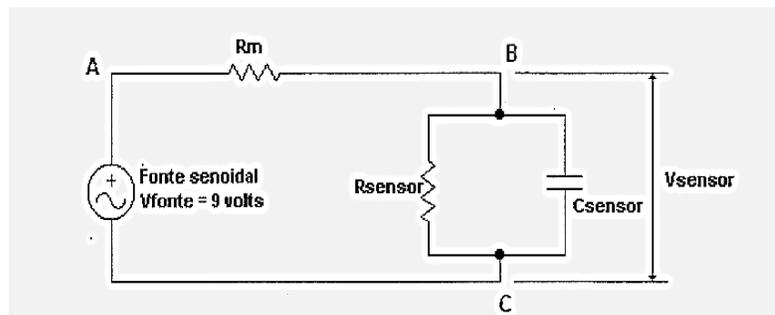


Figura 4: Circuito de alimentação do sensor.

O conjunto (sensor energizado + recipiente + solo seco) foi pesado antes do umedecimento para que se tomasse o valor de tensão fornecida pelo sensor frente à tensão alimentadora da fonte com relação a umidade zero.

De imediato o conjunto foi colocado no centro de um suporte plástico, de modo que os furos do recipiente de PVC ficassem ao fundo do suporte, permitindo a entrada da água no conjunto por capilaridade. A água foi adicionada lentamente ao suporte e penetrou no conjunto por um período de 24 horas. Este procedimento justifica-se pela necessidade de se eliminar bolhas de ar que porventura estivessem no interior do dielétrico, a fim de que sua presença interferisse na resposta do sensor a umidade do solo.

Findo este período de saturação, o suporte com a água excedente foi retirado. Logo em seguida foram tomadas, diariamente, as medidas das variáveis tensão e massa, de modo que estes dados pudessem ser relacionados numa curva de calibração, uma vez que ocorre uma perda gradual e natural de umidade do conjunto.

Desse modo, obtém-se uma curva que relaciona as duas grandezas, a voltagem e o teor de umidade, e através de uma regressão polinomial aplicada à esta curva obtém-se um polinômio de oitava ordem, o qual permite conhecer o $U\%$ em função da voltagem (Carmo, 2000). Esta curva de calibração fornece os subsídios necessários para que os dados obtidos através do sensor sejam corretamente interpretados pelo sistema. É importante ressaltar que a curva de calibração é específica para cada tipo de solo e sensor.

3.3. Solo

As amostras de solo foram retiradas próximas a estação climatológica da Fazenda do Glória, pertencente a Universidade Federal de Uberlândia, sendo este solo bastante representativo da região dos cerrados. As análises física e química foram realizadas pelo Laboratório de Manejo e conservação do solo, LAMAS, da UFU e estão dispostas na Tabela 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Resultado de análise química do solo da Fazenda do Glória

| ANÁLISE QUÍMICA | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------|------|---|-----|-----|------|-------------|------|------|----------------------|---|------|
| pH água | P | K | Al | Ca | Mg | H+Al | SB | t | T | V | m | M.O. |
| 1:2,5 | -- mg·dm ⁻³ | -- | ----- cmol _c ·dm ⁻³ ----- | | | | -----%----- | | | dag·kg ⁻¹ | | |
| 5,9 | 11,8 | 33,7 | 0 | 1,2 | 1,2 | 1,7 | 2,5 | 2,49 | 4,15 | 60 | 0 | 2,3 |

Observações: P, K = (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); M.O. = Matéria Orgânica (Walkley-Black); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. Por bases / m = Sat. por Al.

Tabela 2: Resultado da análise física do solo da Fazenda do Glória.

| Areia Grossa | Areia Fina | Silte | Argila |
|--------------|------------|-------|--------|
| -----%----- | | | |
| 16 | 28 | 5 | 51 |

O solo é classificado como Latossolo Vermelho Escuro distrófico, fase cerrado, relevo suave, ausência de pedregosidade, permeabilidade alta e de textura classificada como média. Apenas a camada superficial de solo, de 0 a 20cm foi utilizada para todos os ensaios de calibração. A densidade do solo nesta camada foi calculada como sendo igual a 1,26 [g·cm⁻³]. Sua capacidade de campo, CC, foi calculada *in situ* como sendo de 21% ($V_{\text{água}}/V_{\text{solo}}$).

Faz-se necessário justificar a presença desta análise neste trabalho pelo fato de que o processo de calibração descrito no item 3.2 é específico para cada tipo de sensor e de solo, sendo este muito dependente de condições bem definidas de trabalho.

3.4. Ambiente de programação

Para que os valores de umidade do solo obtidos pelo sensor capacitivo pudessem ser convenientemente trabalhados e interpretados utilizou-se de uma plataforma de programação integrada à um banco de dados. Esta plataforma deve permitir total liberdade de criação. Esta plataforma ou ambiente de desenvolvimento integrado foi o compilador Borland Delphi. Atribui-se a escolha deste compilador à algumas de suas vantagens:

- Codificação limpa e de fácil compreensão;
- Ambiente que permite rápido desenvolvimento de aplicativos;
- Facilidade de integração com banco de dados de terceiros;
- Linguagem de rápida compilação e execução;
- Possibilidade de criar interfaces amigáveis em questão de minutos;

Trabalhando em conjunto com o programa desenvolvido tem-se um banco de dados. Este responde pela capacidade de armazenar e disponibilizar as informações para a aplicação desenvolvida. Para tanto, foi escolhido um banco de dados relativamente robusto, o Sybase SQL anywhere por algumas razões como:

- Facilidade de integração com o Borland Delphi;
- Criação agilizada de índices;
- Rápida execução de instruções SQL;

- Permite execução de “triggers” (gatilhos) e “Stored Procedures” (procedimentos armazenados) atuando independentemente da aplicação, para incremento da segurança das informações e facilidade na captura e tratamento das exceções.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Generalidades do sistema

O sistema de aquisição em desenvolvimento é composto basicamente de uma unidade central de controle e monitoramento, designada pela abreviação UCM, constituída de um microcomputador PC compatível IBM, unidades sensoras remotas, denominada de USR, instaladas na área a receber a lâmina de irrigação e de uma unidade atuadora, UAT, com condições de controlar o sistema de irrigação (tempo de aplicação da lâmina, volume de água e posicionamento). Faz-se oportuno lembrar que a UAT é apenas mencionada e descrita de maneira genérica, pois seu funcionamento e modo de atuação variam com a natureza do equipamento de irrigação a ser utilizado, não estando, portanto, sendo objeto de estudo neste trabalho. O relacionamento entre as partes do sistema pode ser observado através do diagrama disposto na Figura 5.

A comunicação entre as unidades é um problema experimental considerável, uma vez que o local onde as USR's são dispostas recebe grande trânsito de máquinas e implementos para tratos culturais e práticas diversas, como o preparo do solo, adubações,

controle de pragas, doenças e plantas daninhas. Tem-se basicamente duas alternativas: proceder a implementação da comunicação via cabos de cobre ou via ondas de rádio, podendo estas estarem na faixa de amplitude modulada, *AM*, ou na faixa de frequência modulada, *FM*.

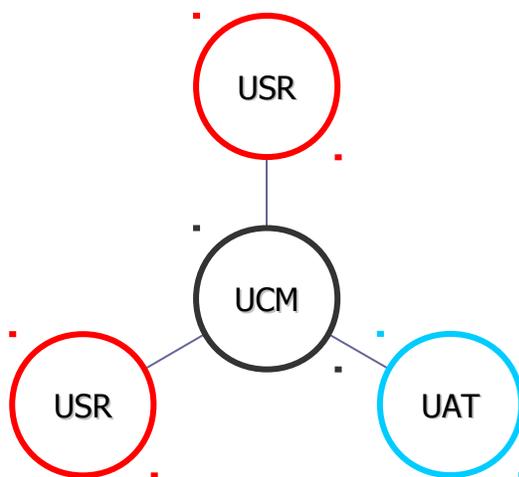


Figura 5. Diagrama relacional das partes constituintes do sistema.

A primeira alternativa torna-se impraticável para vencer as grandes distâncias encontradas no campo, dado o alto custo do cabeamento aliado à dificuldade de mantê-lo a salvo do trânsito das máquinas agrícolas. Portanto, a segunda alternativa se mostra mais atrativa por satisfazer estas dificuldades operacionais. O uso de ondas de rádio requer circuitos mais elaborados que a simples transmissão da informação por cabos. Segundo o modelo estabelecido por Pinto (1997), os circuitos desenvolvidos operam em *AM*, à 580kHz. Porém, segundo este mesmo autor, para maior alcance e baixo nível de ruído propõe-se a adoção de técnicas que incrementem o nível de potência do conjunto transmissor e receptor e ainda que possibilite implementar a digitalização do sinal proveniente do sensor, a fim de que seja facilitada a demodulação no circuito acoplado ao computador. Desta forma é possível inserir a identificação do sensor num protocolo de

comunicação, aumentando a segurança da transmissão de informação e dividindo a área monitorada em setores distintos.

Optou-se então, conforme Stabile (1999), pela transmissão dos dados referentes a umidade do solo via FM, por se tratar de um circuito que opera a 40,6MHz, situada no início da faixa comercial de FM, liberada para uso em fins científicos sem a necessidade de autorização do Ministério das Telecomunicações, que satisfaz as condições propostas pelo trabalho de Pinto (1997).

É interessante detalhar as partes constituintes do sistema. Estão dispostos a seguir os diagramas que ilustram as peculiaridades de cada parte.

4.1.1. Unidade Sensora Remota (USR)

A USR é, basicamente, composta de: sensor capacitivo, circuito de alimentação, circuito amplificador, bateria, circuito conversor de tensão alternada/contínua, circuito conversor Analógico/Digital, microcontrolador PIC modelo 16F84, cristal de clock, contador 4040, diodo emissor de luz e transmissor FM. Está representada, de maneira simples e objetiva, a ligação dos elementos constituintes da USR, no diagrama da Figura 6.

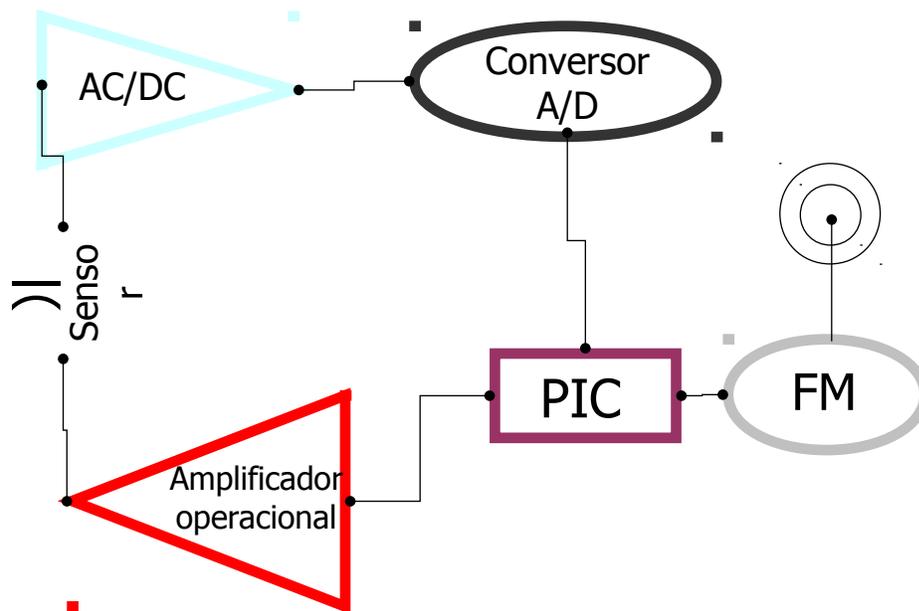


Figura 6. Diagrama relacional das partes constituintes da USR.

4.1.1.1. Considerações sobre o sensor

Existem descritos na literatura sensores capacitivos que detectam a amplitude da umidade do ar, utilizando-se de diversos materiais como meio dielétrico. Com relação a medição de umidade de solos, utilizando-se de sensores capacitivos, encontra-se poucos trabalhos disponíveis, talvez porque, como comprovado pela etapa anterior deste trabalho, a leitura da umidade não é diretamente linear com a quantidade de água. Gardner (1986), Bell et al. (1987) e Varallyay & Rajkal (1987) vêm de encontro a esta afirmativa e ressaltam que a calibração desse sensor deve ser cuidadosa. Esses autores ainda afirmam que a estabilidade dessa calibração pode vir a ser modificada num período longo de tempo, dada exposto à condições climáticas variadas. Porém, assim como Rende (1999) e Carmo (2000), são comentadas algumas vantagens destes sensores, tais como:

- Possibilidade de medição a qualquer profundidade;
- Fácil construção;

- Pode ser lido de maneira remota;
- Baixo consumo;
- Relativa precisão frente a outros equipamentos de mesmo objetivo, devido ele ser menos sensível aos efeitos de temperatura e composição química dos solos, e;
- Por apresentar resposta imediata ao teor de umidade no solo, mesmo apesar do seu corpo poroso apresentar um certo grau de histerese devido a diferença de forças capilares entre o corpo do sensor e o solo, principalmente, em solos bastante argilosos.

O sensor capacitivo possui a resistência física necessária para suportar as intempéries do campo, pouco influenciado pela amplitude térmica entre o dia e a noite, e ainda à constituição química dos solos, desde que convenientemente calibrado para cada tipo de solo a se trabalhar. A simplicidade de construção garante esta robustez. Porém, em estudos anteriores realizados por Carmo (2000), a variabilidade entre sensores de proporções semelhantes é atribuída às imperfeições causadas pelo processo manual de construção. Este mesmo autor sugere que seja adotada uma padronização em sua construção e ainda recomenda que cada sensor seja calibrado individualmente, evitando assim grandes discrepâncias.

4.1.2. Unidade Central de Monitoramento (UCM)

A UCM pode ser considerada como o centro de decisão do sistema, onde ocorre o recebimento, tratamento, armazenagem e visualização dos dados. É composta de: fonte de alimentação, circuito de recepção de FM, demodulador, interface serial RS-232, microcomputador e programa de aquisição de dados. A relação entre estes diversos

elementos está representada no diagrama da Figura 7. A comunicação desta unidade com o computador é serial, à uma taxa de bits de 110, 8 bits de dados, 1 bit de parada, sem paridade e sem controle de fluxo.

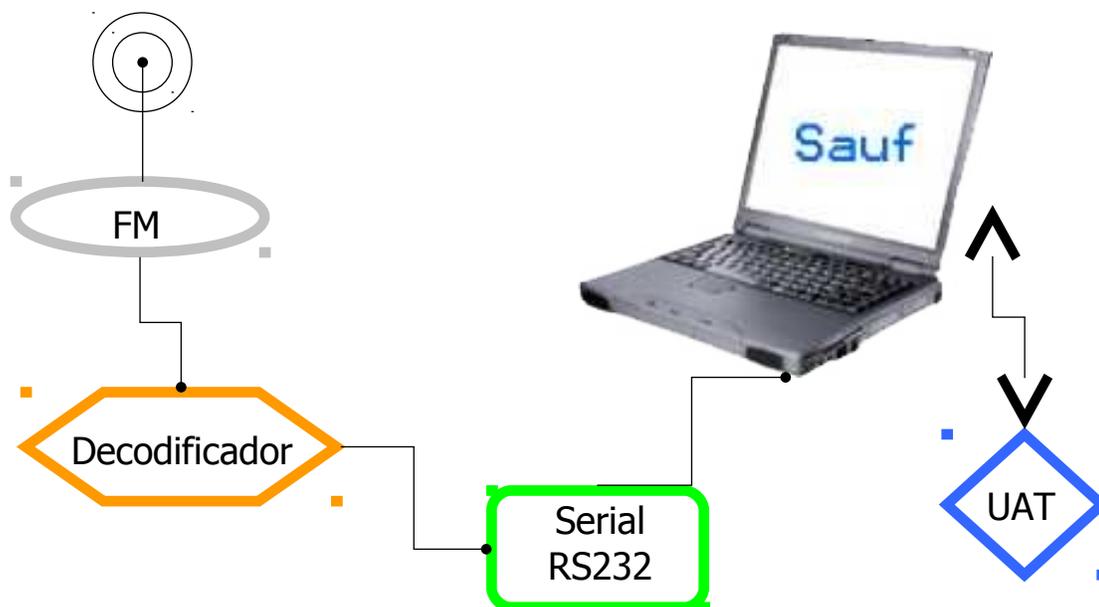


Figura 7. Diagrama relacional das partes constituintes da UCM.

A interpretação dos dados provenientes da porta serial se faz pelo programa de aquisição de dados, descrito em detalhe no item 4.1.2.1.

4.1.2.1. Considerações sobre o programa de aquisição dos dados

Como forma de complementação do trabalho de Carmo (2000) objetivou-se concentrar esforços de pesquisa na aquisição da umidade de maneira remota, desenvolvendo um programa que pudesse manipular, armazenar e visualizar os dados adquiridos pelo sistema, de forma segura e eficiente. Para tanto uma linguagem de

programação foi adotada com base na facilidade de programação e rapidez para compilação e execução na plataforma Windows.

Um dos principais motivos da escolha da linguagem Pascal é justamente sua versatilidade e total integração ao ambiente Windows. Através do compilador Delphi 4.0, da Borland International (Osier, 1997) pode-se gerar aplicações consoles estáveis com total integração a um banco de dados relacional com SQL (*Structured Query Language*).

Com este intuito foi desenvolvido um programa de computador que possuísse as funcionalidades desejadas para a complementação do sistema, aliando informação, confiabilidade e facilidade de uso. O programa, chamado de SAUF (Sistema de Aquisição de Umidade do solo sem Fio), está descrito detalhadamente a seguir.

Ao executá-lo pela primeira vez surge a primeira tela do programa, representada pela Figura 8. O usuário do sistema é indagado a respeito de sua identidade. Este procedimento inicial de segurança é necessário para que seja evitado o uso não autorizado do programa, uma vez que há situações onde o computador disponível para o monitoramento é compartilhado com outros usuários.



Figura 8. Tela inicial para entrada no SAUF.

Depois de realizada a entrada no programa tem-se na Figura 9 a tela principal do SAUF, onde está a raiz de todas as operações realizadas pelo programa. Nesta tela principal tem-se diversas opções, dispostas em menus, que possibilitam o acesso às funcionalidades do programa. A aparência deste software está vinculada ao esquema de cores utilizadas no ambiente Windows, estando, portanto, sujeita a variações decorrentes das preferências do usuário. Nestas figuras o esquema de cores pertence ao sistema operacional Windows XP Professional BR.

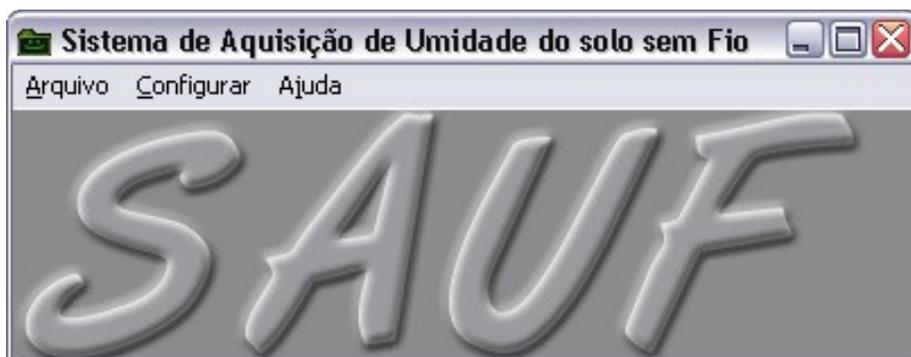


Figura 9. Tela principal do SAUF.

Ao início da primeira aquisição se faz necessário que o usuário configure a porta serial onde está conectado a UCM, bastando selecionar o item de menu “Configurar” e o subitem “Porta Serial”. Logo após esta ação do usuário o SAUF detectará automaticamente as portas seriais instaladas no sistema e as mostrará na tela representada pela Figura 10. Nesta tela tem-se a possibilidade de escolha da porta serial ou ainda carregar do registro do sistema as configurações.



Figura 10. Tela de configuração da porta serial.

Uma vez escolhida a porta serial e salvas as configurações o sistema já estará apto para iniciar as aquisições. Estas aquisições podem ser de dois tipos: *aquisições instantâneas*, onde se quer conhecer um valor imediato e que não se deseja armazená-lo, e *aquisições agendadas*, onde há a necessidade de se coletar e armazenar os dados por um período de tempo maior. Isto é muito conveniente para o usuário, uma vez que não se faz necessária sua permanência ao longo de toda coleta dos valores de umidade.

Para iniciar uma aquisição instantânea ou imediata se faz necessário que o usuário selecione o item de menu “Arquivo” e em seguida o subitem “Novo...” e o item expandido “Aquisição instantânea”. Logo o programa carregará a tela representada pela Figura 11. Estas aquisições instantâneas permitem que o usuário tenha uma visão momentânea do estado de umidade atual do solo de maneira prática e rápida. Para finalizar a captura e visualizar os dados obtidos basta o usuário pressionar o botão “Parar” e em seguida pressionar “Visualizar”. De imediato é mostrado na tela o teor de umidade através de um gráfico semelhante ao representado pela Figura 12. Ao pressionar o botão em forma de

“X”, situado no canto superior direito da tela, o usuário aborta a operação e retorna a tela principal.



Figura 11. Tela de aquisições instantâneas.

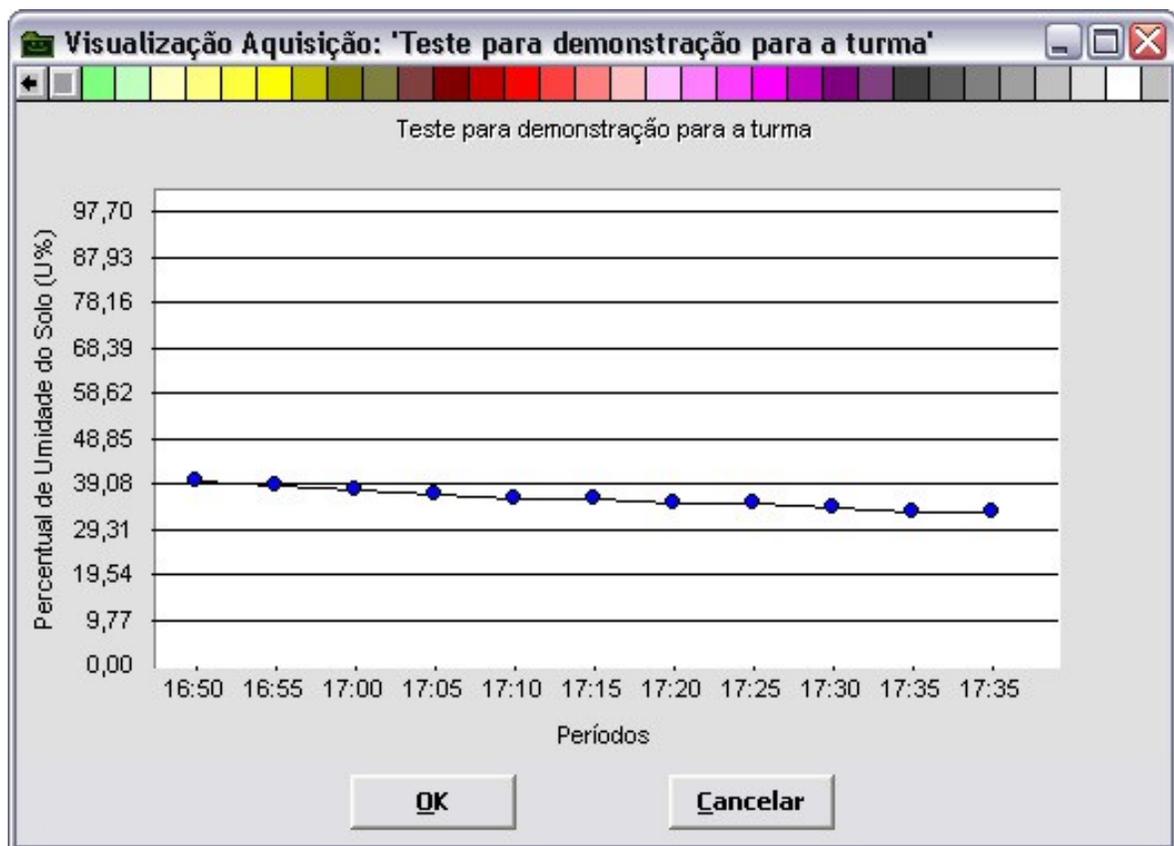


Figura 12. Tela de visualização dos dados.

Para a impressão dos gráficos obtidos se faz necessário configurar a impressora disponível ao microcomputador, seja esta local ou de rede. Esta configuração é proporcionada através da tela “Configurar impressão”, disponível através do item de menu “Configurar” e selecionando “Impressoras” e está representada pela Figura 13.

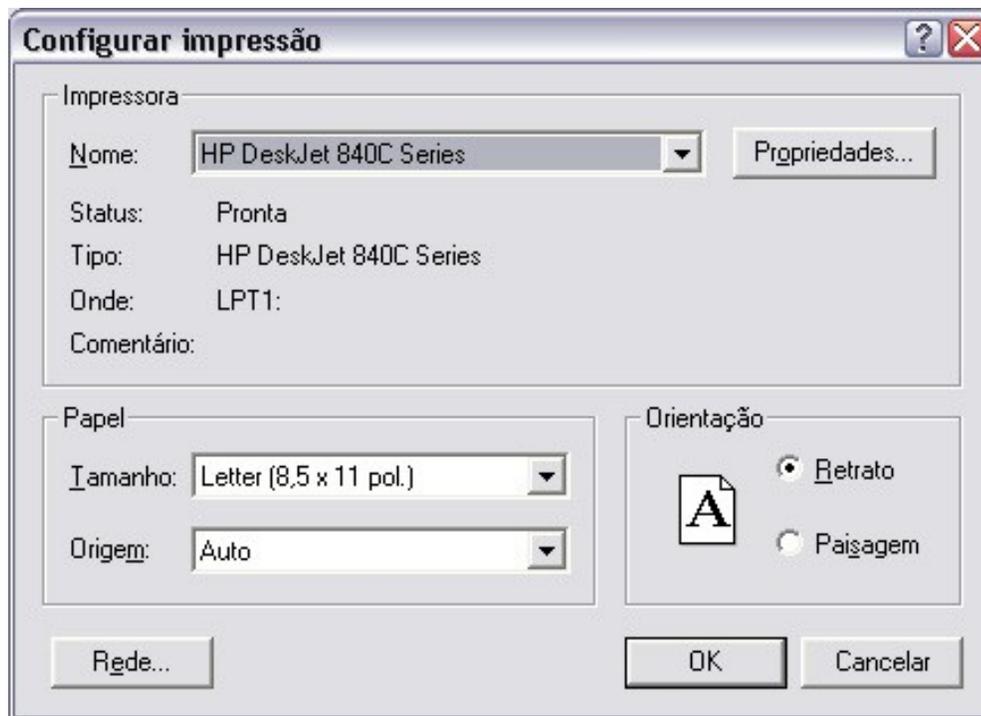


Figura 13. Tela de configuração de impressão.

Para se iniciar uma aquisição agendada se faz necessário que o usuário selecione o item de menu “Arquivo” e em seguida o subitem “Novo...” e o item expandido “Aquisição agendada”. Em seguida é aberta a tela representada pela Figura 14. Nesta tela o usuário irá definir o nome que identificará a aquisição no banco de dados e a data e hora de início e fim desta aquisição, conforme a conveniência. Cada aquisição recebe dois códigos internos: o primeiro a identifica como sendo pertencente ao usuário ativo no momento e o outro a identifica dentro de uma coluna de índice no banco de dados, para agilizar o processo de

posterior busca. Ao pressionar o botão “OK” o sistema procederá a aquisição dos dados de acordo com o intervalo de tempo informado. Findo este período uma mensagem aparecerá na tela informando o término da aquisição.

| Intervalos de tempo | | | |
|---------------------|--------------|------------|------------|
| Data Inicial | Hora Inicial | Data Final | Hora Final |
| 28/06/2002 | 16:50 | 28/06/2002 | 17:40 |

Figura 14. Tela de aquisições agendadas.

A visualização rápida e fácil dos dados constitui o motivo principal pelo qual se justifica a concepção deste programa. Através da seleção do item de menu “Arquivo”, subitem “Visualizar” e em seguida o item expandido “Aquisições armazenadas” é carregada a tela mostrada pela Figura 15. Nesta tela tem-se uma listagem preenchida através de consulta SQL ao banco de dados de todas as aquisições armazenadas. Ao clicar em uma aquisição, são dispostas as informações sobre seu início e término numa grade horária. Feita a escolha o usuário pressiona o botão “Visualizar” e o SAUF carregará a tela representada pela Figura 12, com os respectivos valores de umidade frente aos respectivos horários de aquisição.



Figura 15. Tela de visualização das aquisições armazenadas.

Com finalidade de informação sobre o programa e sobre o sistema foi criada a tela “Sobre...” representada pela Figura 16.



Figura 16. Tela Informações sobre o sistema SAUF.

Vê-se que o desenvolvimento da aplicação SAUF é complexo e é necessário que sejam realizadas ainda inúmeras implementações e correções, aprimorando o código para permitir ser rodado em máquinas de poucos recursos.

Portanto, ao deparar-se com um projeto multidisciplinar como este, pode-se dizer que seu desenvolvimento está apenas no início e que um vasto caminho deve ser percorrido para que a sociedade se beneficie das facilidades e economias proporcionadas por este sistema de aquisição de umidade do solo.

5. CONCLUSÕES

1 – O sensor capacitivo se mostra como uma alternativa viável para a detecção de umidade do solo frente a outros instrumentos similares por permitir a aquisição remota de sua resposta ao teor de umidade do solo;

2 – O sistema de apoio ao sensor, USR, ainda requer alguns ajustes para estar totalmente operacional;

3 – A UCM requer melhorias no circuito de recepção de FM para que o sinal seja recebido e demodulado corretamente;

4 – O programa SAUF está em fase final de desenvolvimento;

5 – Este sistema de aquisição de umidade do solo sem fio se mostra promissor e vem de encontro à necessidade de se otimizar a utilização dos recursos hídricos na agricultura e à preservação do meio-ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azevedo, J. A.; Guerra, A. F.; Silva, E. M.; **Tensão de água no solo: um critério viável para a irrigação do trigo na região do cerrado.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.29, n° 04, p.631-636, Abril 1994.

Bernardo, S.; **Manual de Irrigação.** 6ª ed. rev. e ampliada. Viçosa, MG: UFV Imprensa Universitária, 1995.

Carmo, L. C. do; **Calibração de Sensores Capacitivos para Monitoramento de Irrigação.** Trabalho de Iniciação Científica. Faculdade de Engenharia Mecânica de Uberlândia: Revista da Iniciação Científica UFU, 2000. 22p.

Gardner, W.H. **Water content.** In: Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods (Klute, A., ed). Agronomy Series n° 9. Am. Soc. Agronomy, 2nd edition, pp. 493-544, 1986.

Leach, D. P. & Malvino, A. P.; **Eletrônica Digital: princípios e aplicações**. V. 01, São Paulo: McGraw-Hill, 1987. 355p.

Pinto, A. C.; **Desenvolvimento de um sistema de monitoramento à distância de umidade do solo**. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica de Uberlândia: UFU, 1997. 102p.

Osier, D.; **Aprenda em 21 dias DELPHI 2**. Rio de Janeiro: Campus, 1997. 840p.

Rende, A.; **Desenvolvimento de um protótipo para monitorar a umidade do solo: qualificação do comportamento de um sensor capacitivo**. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica de Uberlândia: UFU, 1999. 103 p.

Siqueira, P. R.; **Efeito da irrigação na produtividade do cacauzeiro (*Theobroma cacao*, L.)**. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, vol. I, Jundiaí, SP, Brasil, pp.116-127, 1987.

Stabile, M. A.; **Projeto e Implementação de um sistema de aquisição de dados à distância com rede de comunicação sem fios**. Trabalho de iniciação científica. Laboratório de dinâmica dos fluidos: UFU, 1999. 31 p.

Varallyay, G. & K. Rajkal. **Soil moisture content and moisture potential measuring techniques in Hungarian soil survey.** International Conference on Measurement of Soil and Plant Water Status. Centennial of Utah State Univ., pp. 183-184, 1987.

Total Midyear Population for the World: 1950-2050. U.S. Bureau of the Census.
<<http://www.census.gov/ipc/www/worldpop.html>> Acesso em: 30 de Janeiro de 2002.