

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
DEPARTAMENTO DE MICROELETRÔNICA

# SISTEMA DE AUTOMAÇÃO APLICADO À IRRIGAÇÃO

Autora: Suely Cunha Amaro/Mantovani 319

Orientador: Oséas Valente de Avilez Filho (A)

Tese apresentada à Universidade Estadual de Campinas,  
como parte dos requisitos para a obtenção do título de  
MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Campinas, Novembro de 1993

CIENTE DAS CORREÇÕES E ALTERAÇÕES  
REALIZADAS NA VERSÃO FINAL.

94060060

Este exemplar corresponde à versão final da tese  
defendida por SUELY CUNHA AMARO  
MANTOVANI aprovada pela Comissão  
Juizadora em 17.12.93  
OSÉAS V. A. FILHO  
Orientador

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL

Dedico a família,

minhas mães CLARICE E AMÉLIA

e pais FELIPE(in memorian) e WANDER

ao meu marido JOSÉ ROBERTO

aos filhos FELIPE E ZÉZINHO.

## AGRADECIMENTOS

Professor Oséas Valente de Avilez Filho - DEMIC/FEE-UNICAMP pela orientação, estímulo, amizade e total apoio pela realização deste trabalho.

Professor Nobuo Oki - DEE/FEIS-UNESP, pela co-orientação sincera e objetiva, confiança em mim depositada e sua participação na definição do tema e no desenvolvimento de todas as etapas deste trabalho.

Professor Jozué Vieira Filho pela decisiva ajuda prestada, inclusive na realização do “ software ”, para que este trabalho chegasse ao seu objetivo final.

Colegas do DEE/FEIS-UNESP pelo incentivo que me deram , em especial ao professor Júlio Borges de Souza pelo apoio e participação importante quando na Chefia do Departamento.

Aos amigos do Laboratório de Eletrônica e Dispositivos-DEMIC-UNICAMP, pelo tratamento carinhoso que sempre me dispensaram

Técnicos do Laboratório de Engenharia Elétrica da FEIS/UNESP pela colaboração e amizade durante estes anos de trabalho e convivência.

Funcionários e pesquisadores do Centro de Engenharia Biomédica, CEB/UNICAMP pela colaboração dispensada.

Professores Fernando B. Tangerino Hernandez e Ricardo A. F. Rodrigues do curso de agronomia da FEIS/UNESP pelas informações técnicas e empréstimo de material usados no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Deoclécio pela colaboração nos esquemas e figuras.

Ao José Roberto S. Mantovani pelo total acompanhamento do trabalho com sugestões, sendo responsável pelo trabalho de datilografia e montagem final.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para que eu tivesse pleno êxito na realização deste trabalho, e que não foram aqui mencionados.

Ao PICD/CAPES-UNESP pelo incentivo financeiro.

# Conteúdo

<b>RESUMO</b>	<b>vi</b>
<b>TERMINOLOGIA</b>	<b>vii</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>ix</b>
<b>1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>1</b>
1.1 Métodos Disponíveis para Monitoração . . . . .	1
1.2 Método da Evapotranspiração . . . . .	3
1.2.1 Evapotranspiração Máxima . . . . .	4
1.3 Método do Tanque Classe A . . . . .	4
1.3.1 Dimensão do Tanque . . . . .	5
<b>2 PLACA DE AQUISIÇÃO E INTERFACE DOS SENSORES</b>	<b>9</b>
2.1 Medição da Velocidade do Vento . . . . .	9
2.2 Medição da Umidade Relativa . . . . .	14
2.3 Medidor de Nível de Líquido . . . . .	18
2.3.1 Sistema de Aquisição de Dados . . . . .	22
2.3.2 Placa de Aquisição Acoplada a Microcomputador . . . . .	24
2.3.3 Sistema de Aquisição de Dados Dedicados . . . . .	25

2.4	Placa de Aquisição Padrão . . . . .	26
2.4.1	CPU . . . . .	26
2.4.2	Memórias . . . . .	30
2.4.3	Conversor A/D . . . . .	31
2.4.4	Interface Serial RS-232 . . . . .	31
2.4.5	Teclado/Display . . . . .	32
2.5	Fonte de Alimentação . . . . .	33
2.5.1	Sistema da Bateria de Emergência( back-up) . . . . .	33
<b>3</b>	<b>PROGRAMAÇÃO</b>	<b>38</b>
3.1	Rotinas - Visão Geral . . . . .	38
3.1.1	Rotinas de Inicialização . . . . .	40
3.1.2	Rotina de Temporização . . . . .	40
3.1.3	Rotinas de Interface com o Usuário . . . . .	40
3.1.4	Rotinas de aquisição de dados . . . . .	40
3.1.5	Rotina de armazenamento . . . . .	41
3.1.6	Rotinas de Entrada/Saída . . . . .	41
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>42</b>
4.1	Aspectos de Implementação . . . . .	43
4.2	Resultados Práticos . . . . .	43
4.2.1	Velocidade do vento . . . . .	43
4.2.2	Umidade Relativa . . . . .	47
4.2.3	Nível de Líquido . . . . .	47
4.3	Conclusões . . . . .	50

*CONTEÚDO*

v

**A**

**56**

**B**

**58**

**C**

**60**

# RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado para determinação da evapotranspiração com o objetivo de planejamento e controle de irrigação.

Para determinação da evapotranspiração são necessários parâmetros tais como nível de líquido, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Cada parâmetro deste envolve sensores e sinais diferentes que receberam tratamento adequado para torná-los grandezas elétricas possíveis de serem processadas por um sistema digital.

O sistema digital de aquisição foi implementado com uma configuração auto-suficiente, baseando-se no microcontrolador 8051 da Intel.

Um programa em linguagem de máquina monitora a aquisição, a entrada de informações pelo teclado/display e a armazenagem desta informação na memória RAM que faz a transmissão via serial RS232. Um programa em linguagem C faz o tratamento dos dados e análise de resultados mostrando em gráficos o comportamento de cada medida.

Os resultados obtidos são satisfatórios tanto dos sensores escolhidos quanto do sistema de aquisição oferecendo confiabilidade e dinamização da coleta.

# Terminologia

- $E_t$  : evapotranspiração (mm/periodo)
- $E_{tp}$  : evapotranspiração potencial ou de referência (mm/periodo)
- $E_{tm}$  : evapotranspiração máxima (mm/periodo)
- $K_p$  : coeficiente do tanque
- $K_C$  : coeficiente de cultura
- $v_t$  : velocidade do vento (m/s ou km/h)
- $UR$  : umidade relativa do ar dada em porcentagem
- $\Delta h_1$  : altura de água evaporada no tanque classe A
- $S_1$  : superfície do tanque classe A
- $\Delta h_3$  : altura de água escoada do tanque medidor
- $S_3$  : superfície do tanque medidor ( $m^2$ )
- $e$  : força eletromotriz induzida, volts (V)
- $N$  : número de espiras da bobina
- $\Phi(t)$  : densidade de fluxo magnético que atravessa a bobina, Weber (Wb)
- $f$  : frequência do sinal gerado no anemômetro
- $p$  : número de polos da máquina
- $\frac{n}{60}$  : velocidade mecânica em rotações por segundos (rps)
- $v_t$  : velocidade tangencial
- $w_m$  : velocidade mecânica do eixo do equipamento
- $r$  : raio, m

$e_s$  : tensão de saturação de vapor de água

$e$  : tensão de vapor de água (mmHg)

$T$  : temperatura do ar ( graus centígrados), dada pelo termômetro de bulbo seco

$e_{su}$  : tensão de saturação de vapor de água na temperatura de bulbo úmido (mmHg)

$A$  : constante psicrométrica (graus centígrados a -1)

$P$  : pressão atmosférica (mmHg)

$T_u$  : temperatura do termômetro de bulbo úmido ( graus centígrados )

$t$  : é o intervalo de pulso entre uma ida e uma volta para o sinal de ultrassom, ( $\mu s$ )

$c$  : velocidade de propagação da onda ultrassônica no meio líquido  $1.5 \times 10^5 \text{ cm} \times s$

$h_{cl}$  : altura da coluna de líquido

# INTRODUÇÃO

O setor agrícola constituiu-se em uma opção importante para o desenvolvimento brasileiro, visto que poderá contribuir para o abastecimento de alimentos, além de gerar excedentes exportáveis. Esta opção, entretanto, não foi ainda devidamente utilizada, uma vez que nos últimos anos o país tem sido obrigado a importar grandes quantidades de alimentos para atender sua demanda.

A instabilidade climática se mostra como um dos fatores determinantes para que a produtividade esteja sempre aquém da desejada. O elemento climático de maior variabilidade é a precipitação pluviométrica e sabe-se que na maioria dos casos a disponibilidade de água natural é um parâmetro que determina máxima produção possível para um dado local e espécie de cultura. Portanto se faz necessária, a dinamização da produção através do uso de novas técnicas e recursos.

Atualmente uma alternativa bastante utilizada para suprir a demanda de água é a prática da irrigação, que possibilita que áreas de cultivo consideradas impróprias pelos déficit hídricos sejam cultivadas, além de proporcionar o aumento da produtividade, melhoria da qualidade e ser um fator estabilizador da produção.

Irrigar é o processo de aplicação de água, essencial, para uma cultura. Tem o objetivo de complementar a precipitação pluvial, influenciando diretamente no crescimento das plantas, portanto melhorando a produção de alimentos. É praticada principalmente em regiões áridas e semi-áridas por terem estas regiões índice pluviométrico baixo e insuficiente para o desenvolvimento do ciclo completo de uma cultura.

Um sistema bem controlado de irrigação otimiza a distribuição temporal e espacial de água, com a finalidade também de racionalização da distribuição de água, sendo que a quantidade de água deve ser suficiente para otimizar a razão custo benefício [1].

Um projeto que estabelece um programa de irrigação se baseia em duas decisões, que são quanto e quando irrigar. A água deve ser aplicada ao solo quando o potencial da água no solo ainda está suficientemente alto, sem expor a planta a uma carência de água que afete o seu desenvolvimento e quando a condutividade hidráulica do solo ainda é suficientemente grande para atender a demanda evaporativa da atmosfera. Por

outro lado um aspecto igualmente importante na agricultura irrigada é o conhecimento da quantidade de água exigida pelos diferentes cultivos, que é sempre referida ao valor padrão denominado evapotranspiração potencial ou de referência. Com estas informações realiza-se uma programação adequada de suprimento de água aplicada pelos diferentes sistemas de irrigação.

Para determinação da estimativa da quantidade de água ou evapotranspiração para uma dada cultura, visando estabelecer um programa de irrigação, existem vários métodos, mas nem todos são possíveis de realização prática, pois requerem conhecimentos de parâmetros climáticos não disponíveis ou de utilização bastante complexa.

Um dos métodos mais usados mundialmente sendo recomendado pela FAO<sup>1</sup> na estimação da evapotranspiração potencial, é o uso do Tanque Classe A. Mesmo assim, na praticidade deste evaporímetro e nas condições em que normalmente é usado, encontram-se erros operacionais.

Nos diversos trabalhos existentes nos meios agrônômicos que tratam desse assunto, procura-se minimizar os erros que se observam com muita frequência, como o de leitura de micrômetros, perdas de dados em dias de chuvas, erros no reabastecimento e transporte dos dados, etc. Outra maneira de minimizar erros quando se utiliza o método da Tanque Classe A seria a automação dessas medidas, por intermédio de um sistema de aquisição de dados controlados através de um microcomputador. Este tipo de sistema embora seja uma realidade comercial no exterior ainda é de difícil acesso aos agrônomos brasileiros.

O presente trabalho, pautado no que foi exposto anteriormente, se propõe a implementar um sistema de automação usando um microprocessador dedicado, que faz coleta dos dados com boa precisão em condições reais, que dará subsídios para posterior tomada de decisão de irrigação. Este tipo de equipamento, apenas com algumas alterações, pode ter sua aplicação expandida à indústria de um modo geral, à construção civil, a meteorologia ou a qualquer outra atividade que exija a aquisição e controle de dados.

Este sistema de automação efetua a aquisição de variáveis meteorológicas envolvidas no método do Tanque Classe A. Portanto substitui os métodos manuais, possibilitando a aquisição de dados em tempo real a intervalos definidos pelo usuário, e a gravação de dados de forma que sejam depois transmitidos e processados por um programa adequado, que permitirá a realização de gráficos e estudos comparativos com outros métodos.

Para a implementação do projeto do sistema de aquisição optou-se por uma arquitetura dedicada ou seja uma Unidade Central de Processamento CPU compactada constituída de um microprocessador de 8 " bits ", freqüentemente usado em operações de controle englobando memórias " RAM ", 2 temporizadores/contadores, saída serial, unidade de entrada/saída (E/S), cuja programação é feita em linguagem assembler própria. O uso deste tipo de dispositivo proporciona equipamentos de tamanho reduzido, de baixo custo,

---

<sup>1</sup>Food and Agriculture Organization of the United Nation

de fácil transporte ideal para aplicações em locais abertos como um campo o que seria mais difícil se estivessem sendo usados um microcomputador convencional. Esta CPU apresenta algumas limitações relacionadas com a pequena capacidade de memória (64k de " RAM " externa e 64k de " ROM ") e baixa velocidade de processamento, com relógio de até 12 MHz. Todavia estes aspectos não representam problemas para os objetivos buscados neste projeto.

Dividiu-se o trabalho em quatro capítulos, onde o primeiro trata dos fundamentos teóricos que envolvem os vários métodos relacionados com o assunto irrigação e a escolha pelo método da evapotranspiração , incluindo o Método do Tanque Classe A com a definição dos parâmetros principais para alcançar nosso objetivo.

O segundo capítulo descreverá o sistema de aquisição de dados, com a " CPU " e as interfaces usadas pelos sensores implicados, com análise de funcionamento para todos os circuitos.

A programação fará parte do capítulo III que apresenta os comentários sobre os principais algoritmos empregados, fluxogramas e definições das variáveis listadas.

O capítulo IV conterà os resultados e análises envolvendo o método, conclusões e sugestões para novos trabalhos.

Finalizando, seguem as referências bibliográficas e os apêndices com tabelas e pinagem de componentes.

# Capítulo 1

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Em sistemas irrigados, um dos aspectos fundamentais é a definição do momento em que a planta precisa de água. Por outro lado, constitui-se um aspecto igualmente importante, o conhecimento da quantidade de água requerida por uma cultura qualquer, para que haja uma adequada programação, a ser aplicada por diferentes tipos de irrigação. Outra variável importante que se deve ter em mente, é o usuário a que se destina tal estudo e projeto, ou seja, ao agricultor devem ser fornecidas técnicas simples, precisas e de baixo custo, que possibilitem a nível de campo a determinação criteriosa do momento e da quantidade de água a ser aplicada durante a irrigação.

Neste capítulo tendo por base estes três aspectos, serão abordados os conceitos e métodos existentes na literatura especializada sobre o assunto, que fornecerão subsídios para a implementação de um sistema automatizado para tomada de decisão de irrigação.

### 1.1 Métodos Disponíveis para Monitoração

Sabe-se que a água proporciona a melhoria da planta, portanto a melhoria da qualidade e aumento da produtividade, sendo o fator que estabiliza a produção de alimentos.

Deve-se cuidar para que a água armazenada no solo não se esgote chegando a níveis que ocorra um “déficit” de água ou também chamada condição de “stress” da planta, sob pena de comprometer o êxito de determinada cultura e portanto da produção.

Vários são os critérios para estabelecer um programa de irrigação, que vão desde simples turnos de rega a completos esquemas de integração do sistema solo/água/planta/atmosfera.

Um planejamento de irrigação é afetado por inúmeros fatores como elementos climáti-

cos, tipo de cultura, hábito de crescimento, tipo de solo onde se relacionam taxas de infiltração e armazenagem, taxa de drenagem, dentre outros que se encontram na Tabela - 1 [2].

<u>FATORES DE ÁGUA</u>	<u>FATORES DO SOLO</u>
disponibilidade (quantidade e período)	estrutura
qualidade	textura
	profundidade
<u>FATORES CLIMÁTICOS/SAZONAIS</u>	impedância mecânica
temperatura ambiente(diurna/noturna)	taxa de infiltração
radiação solar	taxa de drenagem
velocidade do vento	aeração do solo
precipitação pluviométrica	características de retenção de água
umidade	condutividade hidráulica
tempo de incidência solar	tabela de água
período da estação	salinidade
	fertilidade
<u>FATORES DA PLANTA</u>	temperatura
variedade da cultura	nascimento de microorganismos
características das raízes	
tolerância à seca	<u>FATORES DE GERENCIAMENTO</u>
estágio de crescimento	datas de plantio
período de crescimento	população de plantas
necessidade de nutrientes	sistema de irrigação
	estágio de crescimento crítico
	fertilização
	proteção da cultura
	cultivação

Tabela - 1 : Fatores que Afetam a Técnica de Irrigação.

Estes fatores na sua maioria variam no tempo e no espaço e são interdependentes, sendo que o uso de um tipo de irrigação adequado pode minimizar os efeitos de alguns deles, e até alcançar máxima produtividade.

Assumindo-se que os fatores de água, fertilizante e fatores de gerenciamento encontrados na Tabela - 1, não são limitantes dispõe-se de quatro métodos básicos para determinação da falta de água numa cultura ou planta, que são:

- Medir a água do solo;
- Medir o potencial de água na planta(folha);

- Cálculo da Evapotranspiração;
- Modelo de simulação Dinâmica ( que usa a combinação dos três primeiros).

Os métodos que avaliam o estado de água no solo ou na planta, geram sistemas com muitas variáveis de difícil medida e controle gerando um modelo complexo, não se justificando sua utilização, a não ser para trabalhos de modelamento que exijam precisão rigorosa. A instrumentação utilizada por estes métodos são também velhas técnicas como tensiômetros, psicômetros de termopares, cerâmica porosa para determinação da temperatura ou salinidade do solo; gerenciamento de fotossíntese, polinização, alargamento de células para o caso de avaliação de folhas. Portanto, todos parâmetros bastante complexos e de difícil monitoração, necessitando de calibração e manutenção regulares, dos sensores com vistas a manter boa precisão. Com isso elevam-se os custos tornando comercialmente inadequado para o propósito deste trabalho, que visa não somente a automação mas a praticidade e ser viável economicamente.

Baseado nos aspectos anteriores, optamos pelo método de estimativa da evapotranspiração, por ser confiável e prático, sendo utilizado em todo mundo [5], [6], com vasto material bibliográfico e trabalhos que se utilizam deste método para determinação de parâmetros que mostram a necessidade de água de qualquer cultura culminando com o melhoramento da produção.

## 1.2 Método da Evapotranspiração

A evapotranspiração é o processo no qual ocorre perda de água para a atmosfera por uma superfície de solo vegetada, através da evaporação de água do solo e da transpiração em tecidos biologicamente ativos na planta, sendo medida geralmente em *mm/dia*. Aumenta com o aumento da superfície evaporante, ou seja, da parte aérea da cultura e também com o sistema radicular responsável por uma maior absorção de água promovendo assim uma maior evapotranspiração.

A evapotranspiração potencial ou de referência é definida como a ocorrente numa superfície vegetada com grama batatais ( referência ), sendo a variável que nos interessa.

De acordo com Doorenbos e Pruitt(1976) [5] a evapotranspiração potencial pode ser utilizada para estimar as necessidades hídricas de uma cultura desde que seja corrigida por um fator característico da cultura e de seu estágio de desenvolvimento vegetativo. Este fator de correção é conhecido por coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é dado pela razão entre a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração potencial ( $E_{tm}/E_{tp}$ ).

Para determinação da evapotranspiração existem vários métodos climatológicos, todos eles apresentam bom desempenho e resultados confiáveis, mas em sua maioria a aplicação

é limitada seja por requererem conhecimento de parâmetros climáticos locais nem sempre disponíveis, ou seja pela complexidade de implementação. Normalmente observa-se que estes métodos estimam primariamente a evapotranspiração potencial ou de referência.

A FAO recomenda entre outros o uso do tanque classe A para a estimativa da  $E_{tp}$ .

Ainda de acordo com Doorenbos e Pruitt(1976) [5] o método do tanque classe A é amplamente utilizado para estimativa da  $E_{tp}$ , devido ao seu custo relativamente baixo e fácil de operar. Afirmam também que os evaporímetros classe A permitem medir os efeitos integrados da radiação solar, velocidade do vento, temperatura, Umidade Relativa (UR) do ar, através da evaporação de uma superfície de água. A ação de cada um destes elementos se processa simultaneamente, e portanto, quanto maior for a disponibilidade de energia solar, temperatura do ar, velocidade do vento e quanto menor for a UR, maior deverá ser a taxa de evaporação/evapotranspiração.

Desse modo parte-se da premissa de que há uma boa correlação entre os valores medidos no tanque classe A e a necessidade de água no solo.

### 1.2.1 Evapotranspiração Máxima

A evapotranspiração máxima é a evapotranspiração de uma cultura qualquer, sem restrição de água em qualquer estágio de desenvolvimento para atingir a produção máxima. É normamente determinada por medição direta usando instrumentos chamados lisímetros de lençol freático a nível constante ou em lisímetros de drenagem (evapotranspirômetros).

O lisímetro de drenagem é um instrumento bastante utilizado na medição direta da evapotranspiração de uma cultura. É constituído de um tanque com terra, de dimensões definidas, que é enterrado no solo, medindo a movimentação da água de cima para baixo através do solo de onde se calcula a  $E_{tm}$ . O uso de lisímetros de drenagem tem apresentado resultados bastante confiáveis e precisos, possibilitando medidas de evapotranspiração desde pequenos intervalos de tempo (1 hora), até intervalos maiores (mensais ou sazonais).

## 1.3 Método do Tanque Classe A

Portanto, adota-se o método do tanque classe A (tcA) para estimar a  $E_{tp}$ , sendo necessário fazer o tratamento dos parâmetros envolvidos que são:

- Velocidade do vento;
- Evaporação do tanque ( $E_{CA}$ );

- Umidade relativa do ar;
- Temperatura do ar.

conforme a equação matemática:

$$E_{tp} = K_p \times ECA \quad (1.1)$$

onde:

*ECA*: Evaporação medida no tanque classe A (mm/período);

*K<sub>p</sub>*: Coeficiente do tanque, função da velocidade do vento, umidade relativa média e tipo de exposição ( tabela - 1A do apêndice)

Tendo a *E<sub>tp</sub>*, faz-se a correção através de *K<sub>c</sub>* que é o fator característico da cultura e de seu estágio de desenvolvimento vegetativo cujo valor se multiplica a evapotranspiração potencial para ter a evapotranspiração máxima da cultura, ou seja, a demanda ideal de água da cultura. Esta relação é dada pela fórmula:

$$\frac{E_{tm}}{E_{tp}} = K_c \quad (1.2)$$

*K<sub>c</sub>*: É dependente da cultura e do estágio de desenvolvimento da mesma e das condições do vento e da umidade relativa. Geralmente, é também específico para um determinado método de estimativa de evapotranspiração potencial e não para um valor medido da mesma (tabela - 2A do apêndice).

A *E<sub>tm</sub>* nos fornece informação das necessidades hídricas de uma cultura.

### 1.3.1 Dimensão do Tanque

O tanque classe A é um tanque circular com 1,25m de diâmetro, com altura de 0,25m, fundo plano construído com chapa galvanizada de espessura No.22, montado em estrado de caibros de 0,10 × 0,05 × 1,24m e nivelado sobre o terreno a 10cm acima da superfície do solo. O nível de água atinge até 5,0cm da borda superior. Normalmente é dotado de parafuso micrométrico com capacidade para medir variações de 0,02mm, que é localizado

em um “ poço tranquilizador ”. O nível máximo de medida permitido é de 7,5 *cm* a partir da borda, ou seja, a cada 2,5 *cm* de evaporação deve-se restaurar o volume.

De uma maneira geral, onde a advecção<sup>1</sup> não é importante, os tanques dão resultados realísticos de evapotranspiração e usualmente as culturas evapotranspiram 60 a 90 % dos valores dos tanques.

Procurando uma forma de efetuar as medidas com simplificação e sabendo da precisão exigida (0.1*mm*), utiliza-se o tanque classe A modificado conforme trabalho de Malaquias S. A. Neto [8]. O modelo do tanque classe A modificado é mostrado na figura-1-1 onde para obter-se a evaporação (*ECA*) do tanque um tratamento matemático deve ser feito relacionando as áreas dos tanques.

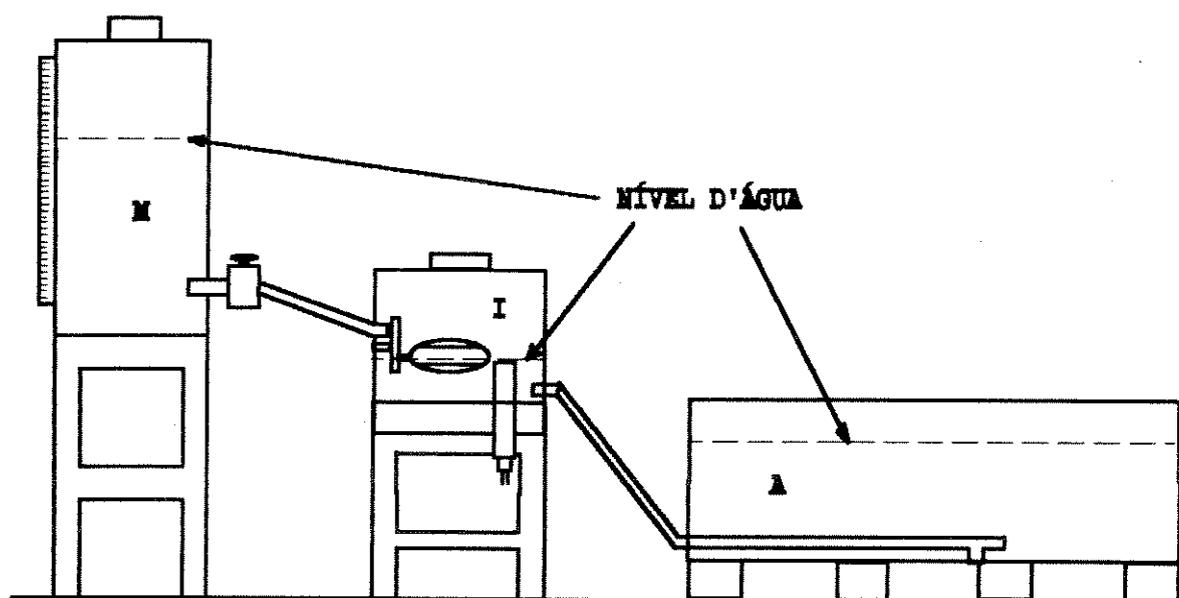


Figura 1-1: Conjunto Evaporimétrico Modificado

O tcA ( tanque classe A) modificado ou conjunto evaporimétrico modificado é composto de tcA padrão (A), um tanque intermediário (I) e um tanque medidor (M).

<sup>1</sup>Transmissão de calor por um movimento horizontal de uma massa de ar.

## Tratamento Matemático

Para valiar-se as condições de desempenho do conjunto do tcA modificado é feita, uma formulação matemática em termos de área e volume , sabendo-se que todas as vezes que ocorre a evaporação  $V$ , teremos de acordo com o balanço das águas:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V \quad (1.3)$$

onde:

$V_1$  : Volume de água evaporada no tcA(ECA);

$V_2$  : Volume escoado do tanque intermediário para manter o nível constante;

$V_3$  : Volume escoado do tanque medidor para manter o nível constante.

pois os tanques medidor e intermediário são vedados e portanto, a única perda admissível, é por evaporação no tcA, sendo assim:

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta h_3 S_3}{S_1} \quad (1.4)$$

onde:

$\Delta h_1$  : Altura de água evaporada no tcA;

$S_1$  : Superfície do tcA;

$\Delta h_3$  : Altura de água escoada do tanque medidor;

$S_3$ : Superfície do tanque medidor ( M ).

Através do tanque classe A modificado pode-se fazer a leitura do nível de água evaporado em escala de  $mm$ , para obter  $\Delta h_3$ , viabilizando o medidor ultrassônico de nível de líquido a ser descrito.

## Conceitos Básicos

- $E$  - (Evaporação) : Perda por evaporação ( $mm$ /período) de uma superfície de água ou solo nú.
- $E_t$  - (Evapotranspiração) : Perda de água por evaporação do solo mais transpiração da planta observado em uma altura qualquer.
- $E_{tp}$  - (Evapotranspiração potencial ou de referência): Evapotranspiração ocorrente numa superfície vegetada com grama batatais.
- $E_{tm}$  - (Evapotranspiração Máxima): Evapotranspiração máxima ou demanda ideal, refere-se a perda de água por uma cultura qualquer em condições de nenhuma restrição de água em qualquer estágio de desenvolvimento. ( $E_{tm} = E_{tp} \cdot K_c$ ).
- $K_p$  - (Coeficiente do Tanque): Valor pelo qual se deve multiplicar  $ECA$  (Evaporação do Tanque Classe A) para se obter  $E_{T_c}$ , valor dependente das condições de umidade relativa e velocidade do vento do período.
- $K_c$  - (Coeficiente de Cultura): Valor dependente da cultura e do estágio de desenvolvimento da mesma e das condições de vento e umidade relativa. É obtido experimentalmente através de dados de evaporímetros em condições de não restrição de umidade ( Tabela 1A - Apêndice - A)
- $ECA$  - Evaporação medida no tanque classe A ( $\frac{mm}{período}$ )
- $UR$  - Umidade Relativa do ar, definida em porcentagem;

## Capítulo 2

# PLACA DE AQUISIÇÃO E INTERFACE DOS SENSORES

Este capítulo aborda o sistema de “ hardware ” desenvolvido. Descreve os circuitos de interface dos sensores e o sistema de aquisição de dados padrão, dos quais tem origem o circuito completo do sistema de automação.

Inicia-se o capítulo fazendo o estudo e como consequência apresenta-se os circuitos de interface dos sensores ou condicionadores dos vários sinais de interesse.

Através de pesquisa bibliográfica foram levantados os parâmetros necessários para a utilização do método aplicado na estimativa da evapotranspiração potencial como descrito no capítulo 1. Estes parâmetros foram analisados e receberam tratamento adequado por meio do uso de sensores e condicionadores, para que suas grandezas, não elétricas, pudessem ser processadas por um microprocessador.

Conforme definido no capítulo anterior esses parâmetros são velocidade do vento, nível de líquido, umidade relativa e temperatura ambiente. Segue portanto a descrição com maiores detalhes da escolha dos sensores, suas características e o tratamento que foi dado em termos de circuitos para que suas medidas fossem automatizadas.

### 2.1 Medição da Velocidade do Vento

Apesar da existência de aparelhos mais modernos, tais como anemômetros digitais (baseados no princípio do efeito Hall), que fornecem a velocidade média do vento em ( $m/s$ ) ou anemômetros de canecas do tipo totalizador, que fornecem a somatória da velocidade do vento, neste trabalho optou-se por utilizar um anemômetro de canecas não

totalizador. Este equipamento além de sua disponibilidade tem a vantagem de ser de construção simples servindo aos propósitos deste projeto ou seja, que é ter um sensor de velocidade do vento com uma saída elétrica de tensão para ser processada pelo sistema digital.

A velocidade do vento de interesse para a estimativa da evapotranspiração deve ser totalizada no período de um dia, dada em  $Km/dia$ .

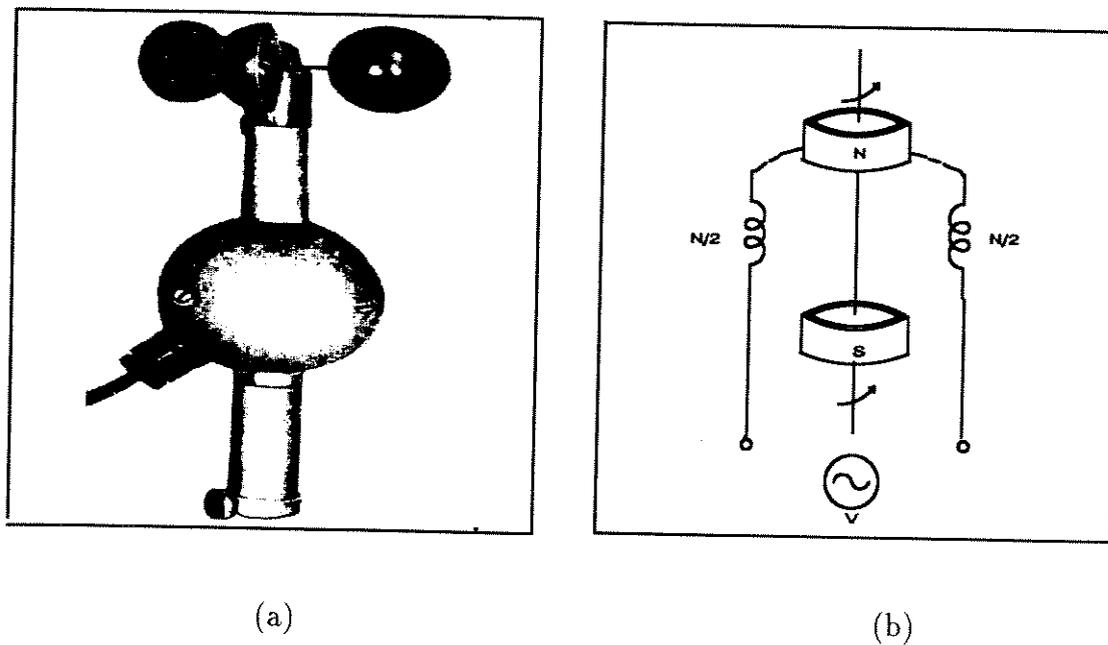


Figura 2-1: Desenho esquemático do anemômetro de canecas utilizado.

- (a) O anemômetro
- (b) Circuito interno

#### a - Modelamento Matemático

Este anemômetro de canecas, mostrado na figura - 2.1(a) é constituído de 3 canecas cada uma com diâmetro  $44,5mm$  ligadas a um eixo. A ação do vento nestas canecas produz um conjugado mecânico girando o eixo que se constitui de um imã permanente conforme o esquema da figura 2-1(b) ( igual a um par de polos), movimentando-se no interior de uma bobina, o que gera segundo a teoria eletromagnética básica uma força eletromotriz induzida dada por:

$$e = N \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (Wb) \quad (2.1)$$

onde:

$e$  : força eletromotriz induzida, Volts ( $V$ );

$N$  : número de espiras da bobina;

$\Phi(t)$  : densidade de fluxo magnético que atravessa a bobina, Weber ( $Wb$ ).

Através do ajuste do aspecto construtivo do dispositivo, a onda de tensão resultante na bobina em função do tempo é aproximada por uma distribuição senoidal. Esta tensão passa por um ciclo completo de valores para cada rotação da máquina de 2 polos. A frequência em ciclos por segundo é igual a velocidade do rotor em rotações por segundo, isto é a frequência elétrica está sincronizada com a velocidade mecânica. A frequência da onda de tensão é portanto :

$$f = \frac{p}{2} \frac{n}{60} \quad (2.2)$$

onde:

$\frac{n}{60}$  : velocidade mecânica em rotações por segundo ( $rps$ ) ;

$p$  : número de polos da máquina.

Para o aparelho em montagem, o objetivo é determinar a velocidade do vento a partir da onda de tensão gerada. A velocidade do vento (velocidade instantânea) é igual à velocidade tangencial nas canecas e descrita por:

$$v_t = w_m \times r \quad (2.3)$$

onde:

$w_m$  : velocidade mecânica do eixo do equipamento,  $rd/s$  ;

$r$  : raio,  $m$ .

O raio é a distância entre o eixo e um ponto central nas canecas (figura 2-1(a)). Desta forma precisa-se da frequência angular  $w$  da onda de tensão que é dada por :

$$w = \frac{p}{2} \times w_m \quad (2.4)$$

onde

$$p = 2 \text{ (1 par de polos).}$$

Logo substituindo-se (2.4) em (2.3) para o raio do movimento  $r = 46,8 \times 10^{-9}$  metros, teremos:

$$v_t = 0,294 \times f \text{ (m/s)} \text{ ou } v_t = 1,058 \times f \text{ (Km/h)} \quad (2.5)$$

Portanto, o sinal elétrico de tensão que sai do transdutor e circuito condicionador é tratado pelo sistema digital através de um “ software ” que fornece a frequência  $f$  da equação (2.5) resultando na velocidade tangencial  $v_t$  ou velocidade instantânea do vento.

#### b - Processamento Analógico e Digital

O sinal de tensão gerado pelo transdutor de velocidade do vento passa por um bloco condicionador de sinal que é mostrado na figura 2-2.

Este circuito é formado por um amplificador retificador de precisão, um amplificador de corrente e um detetor digital. Antes de explicar o seu funcionamento algumas observações se fazem necessárias: - A onda quadrada de saída do transdutor é modulada conforme a quantidade de vento que gira as canecas, e para cada velocidade apresenta uma variação de frequência e amplitude diferentes. Neste processamento leva-se em consideração somente a variação de frequência tendo sua amplitude amplificada para níveis de sinais +5V apenas para conveniência do circuito de interface de aquisição contendo o microcontrolador. Sendo assim este circuito trata somente a grandeza frequência que é medida através de um dos dois temporizadores do microcontrolador.

O sinal senoidal gerado pelo anemômetro é amplificado e retificado conforme mostra o circuito, sendo usado para isto o **LM 324** que mostra excelente desempenho para sinais na faixa de dezenas de milivolts devido a configuração interna onde o par diferencial de entrada tem emissores ligados diretamente ao terra. A entrada limitadora nas tensões do diodo (0.7 V), evita a saturação do circuito amplificador de precisão que tem ganho alto dado por

$$V_0 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right).$$

Um amplificador de corrente de saída usando o **BC238** é usado para gerar corrente necessária ao circuito detetor digital na sua saída. O circuito detetor é implementado usando flip-flop **tipo D** com tecnologia tipo **CMOS** (4013) visando diminuir a carga do circuito anterior além de diminuir o consumo de corrente do sistema condicionador geral.

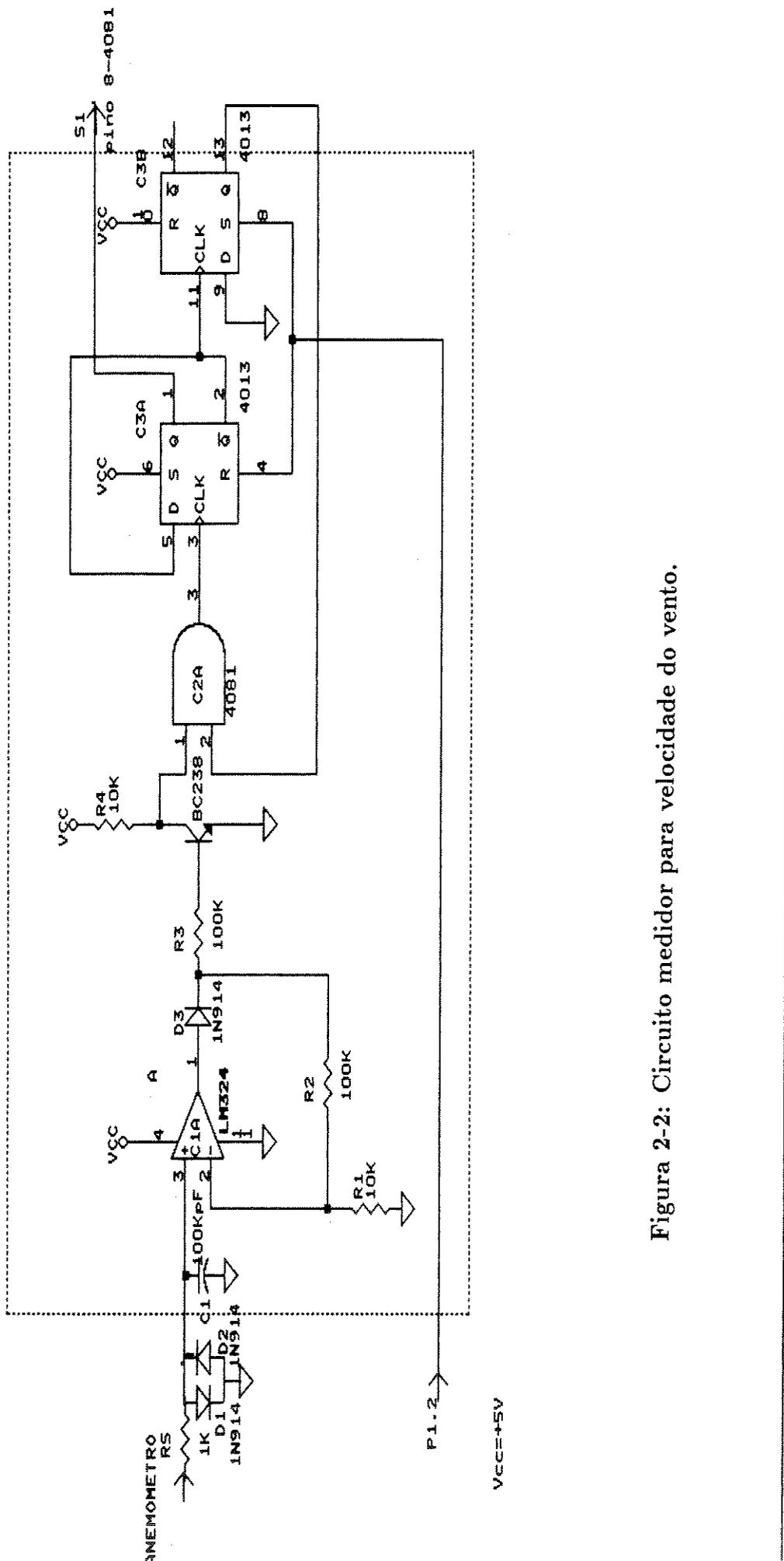


Figura 2-2: Circuito medidor para velocidade do vento.

VCC=+5V

A finalidade do circuito com dois flip-flops é a de limitar a contagem do temporizador ao intervalo de somente um período do sinal da onda quadrada que sai do primeiro bloco, cada vez que é pedida uma medição. Portanto, o microcontrolador mede o tempo entre a detecção de dois pulsos consecutivos de acionamento do flip-flop conforme forma de onda vista no próprio circuito.

A contagem obtida pelo “ timer ” dará o período do sinal medido. Para ter-se a frequência basta fazer a inversão por programa e calcular a velocidade instantânea do vento de acordo com a equação matemática vista anteriormente. Com esta informação a velocidade do vento a ser totalizada no período de um dia através de “ software ”. Como a complexidade aumenta em termos de programação, quando se usa linguagem de máquina, estes cálculos são realizados por programa em linguagem de alto nível C. Este aspecto implica em grande redução de trabalho , evitando-se manipular multiplicação de 16bits por partes, quando se opera com instruções que usam 8bits de dados como é o caso do microcontrolador usado neste circuito de interface.

## 2.2 Medição da Umidade Relativa

Antes da definição deste parâmetro é feita uma breve explanação de termos relacionados com a umidade relativa do ar , com o objetivo de esclarecer as leis físicas e matemáticas que regem o cálculo da umidade relativa do ar.

Sabe-se que a umidade do ar é a água na fase de vapor que existe na atmosfera. Suas fontes naturais são as superfícies de água do solo, gelo e neve, as superfícies vegetais e animais. Através dos processos físicos de evaporação e sublimação e pela transpiração passa para a fase de vapor.

O ar consegue reter o vapor da água até uma certa concentração limite para uma dada pressão e temperatura. O ar é dito saturado quando o vapor de água ocorre na sua concentração máxima. Esta concentração máxima cresce com o aumento da temperatura, para um mesmo valor de pressão. Portanto, quanto maior a temperatura ,maior é a capacidade do ar em reter vapor de água.

Como geralmente o ar se encontra com uma concentração de vapor água menor que a de saturação, a Umidade Relativa do AR (UR) é definida como sendo a relação percentual entre a concentração de vapor d água (conteúdo de umidade) existente no ar e a concentração de saturação (conteúdo máximo possível), na pressão e temperatura em que o ar se encontra.

Este tipo de grandeza é medida normalmente através de psicômetros e higrômetros e registrada por higrógrafos.

O higrômetro é um sistema mecânico que utiliza como sensor o cabelo humano que expande e contrai em função da UR. Esta variação de comprimento é amplificada e indicada sobre uma escala graduada de umidade relativa do ar e registrada através de mecanismos que movimentam um ponteiro indicador, constituindo o higrógrafo.

Outro método normalmente usado é o dos psicômetros. Um psicômetro basicamente constitui-se de dois termômetros comuns, onde um deles fornece a temperatura do ar  $t$  e o outro é coberto com uma gaze ou cardaço de algodão umedecido em água destilada de modo a registrar a temperatura de bulbo úmido  $T_u$ , portanto  $T_u \leq t$ . A diferença  $(T - T_u)$  denominada de depressão psicométrica é diretamente proporcional à quantidade de evaporação que por sua vez é inversamente proporcional à umidade do ar.

Neste trabalho toma-se por base um psicômetro (ventilação natural) para se efetuar a medida da umidade relativa. Para automatizar esta medida necessita-se de um tipo de sensor que tenha como saída um sinal elétrico, o que não é o caso dos termômetros comuns.

Portanto optando-se por sensores integrados de temperatura para substituir os termômetros, e usando o princípio de funcionamento adotado pelo psicômetro mede-se a umidade relativa do ar <sup>1</sup>.

#### a - Cálculo da Umidade Relativa do Ar

Com os dois sensores de temperatura colocados um próximo do outro (cerca de 4cm de distância) que registram as temperaturas necessárias  $T$  e  $T_u$  efetua-se os cálculos para encontrar a UR, através de métodos analíticos ou métodos tabulares. O método analítico se apresenta mais simples e confiável por isso foi escolhido, expondo-se a seguir o seu desenvolvimento.

Analiticamente a umidade relativa pode ser determinada pela equação:

$$UR = 100 \times \frac{e}{e_s} \quad (2.6)$$

onde

$e_s$  : tensão de saturação de vapor d'água (tabelada);

$e$  : tensão de vapor d'água (mmHg);

$T$  : temperatura do ar ( $^{\circ}C$ )

---

<sup>1</sup>Recomenda-se que a umidade do ar deve ser medida à sombra em local ventilado e protegido da precipitação pluviométrica

A tensão de vapor d'água ( $e$ ) é determinada a partir das leituras psicométricas, sendo seu valor final dado pela equação:

$$e = e_{su} - AP(T - T_u) \quad (2.7)$$

onde

$e_{su}$  : tensão de saturação de vapor d'água na temperatura do bulbo úmido (mmHg) (tabelada);

$A$  : constante psicrométrica ( $^{\circ}C^{-1}$ );

$P$  : pressão atmosférica (mmHg);

$T$  : temperatura do ar, dada pelo termômetro de bulbo seco ( $^{\circ}C$ );

$T_u$  : temperatura do termômetro de bulbo úmido ( $^{\circ}C$ ).

O valor da constante psicrométrica adotado é de  $0.00080^{\circ}C$  e a pressão atmosférica no local do ensaio  $P = 720mmHg$ .

A tensão do vapor d'água no ar versus temperatura do ar se encontra em uma tabela que foi aproximada por um polinômio de terceira ordem, dado pela expressão,

$$Y = 0,0005x^3 + 0,0009x^2 + 0,4366x + 4,3465 \quad (2.8)$$

Com isto sua utilização fica facilitada, bastando ter-se as temperaturas de bulbo seco e úmido.

A título de exemplo considere que temos duas leituras obtidas a partir dos sensores integrados que fornecem  $T$  e  $T_u$ . Com este valor para  $T_u$ , e usando o polinômio da equação (2.8) determina-se  $e_{su}$  que é a tensão de saturação na temperatura de bulbo úmido. Tomando-se a equação (2.7) e com os valores de  $A$  e de  $P$  dados, determina-se a tensão de vapor d'água no ar.

A umidade relativa é determinada pela equação (2.6), na qual a tensão de saturação de vapor d'água ( $e_s$ ) é obtida do mesmo polinômio usado para achar  $e_{su}$ , só que para a temperatura de bulbo seco. Da razão entre  $e$  e  $e_s$  tira-se  $UR$  que é uma grandeza adimensional, e fornece a relação em porcentagem do conteúdo de umidade existente no ar em relação ao conteúdo máximo possível (saturação).

Os dois sensores de temperatura no circuito, mostrado na figura 2-3 são ligados através de uma ponte que gera a corrente necessária servindo para polarizar os mesmos. O circuito

integrado usado para medir temperatura é o **LM335** que fornece uma precisão de  $1^{\circ}\text{C}$  e variação de  $10\frac{\text{mV}}{^{\circ}\text{K}}$  e necessita de correntes na faixa de  $1\text{mA}$ .

A tensão na saída do sensor é dada pela expressão:

$$V_{out} = T \times \frac{V_{ref}}{T_{ref}} \quad (2.9)$$

onde  $T^{\circ}\text{K}$

usando referência de  $T_{ref}^{\circ}\text{C} = 25^{\circ}$ ,  $V_{ref} = 2.982$  tem-se para  $V_{out}$ :

$$V_{out} = T \times 10^{-2} \quad (\text{V}) \quad (2.10)$$

Um circuito adicional de compensação foi necessário para adequar o sinal do CI que varia ( $10\text{mV}/^{\circ}\text{K}$ ) na configuração em ponte usada com a limitação da precisão e erro do conversor. Ou seja, o conversor com uma referência de 0 a 5 V, fornece um erro de  $\pm 1$  LSB (20mV), portanto impróprio para uso direto na saída da ponte. Portanto, o tratamento dado ao sinal do sensor foi:

$$V_{scomp} = (V_{ss} - 2,73) \times 5.0 \quad (2.11)$$

onde

$V_{ss}$ : tensão no sensor;

$V_{scomp}$ : sinal de saída do circuito compensador.

Para isso utiliza-se o circuito subtrator com ganho de aproximadamente 5 V. O sinal de saída deste circuito é processado via um conversor A/D de 8bits, onde dois canais são usados, um para cada sensor.

## b - Processamento Digital

Por se tratar de medidas de temperatura onde não se exige uma resolução maior que a fornecida por 8 bits com um erro de  $1 \text{LSB}^{-1}$  de (20 mV), optou-se pelo **ADC0808** que é um conversor A/D de 8 bits e que possui internamente multiplex de 8 canais.

A montagem contendo o conversor se encontra na placa principal de aquisição junto com o microcontrolador e terá suas características detalhadas quando for mencionado

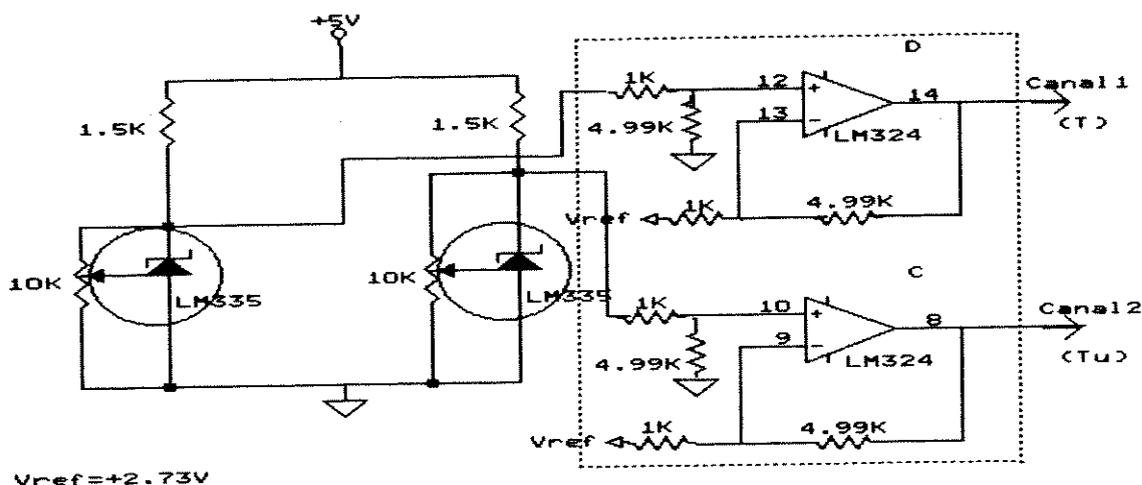


Figura 2-3: Circuito usado para medir temperatura

o sistema digital que faz a aquisição de todos os sinais. Um programa em linguagem de máquina executa a aquisição via conversor e o tratamento destes dados é feito em linguagem C que processa os dados de temperatura, criando arquivos que serão tratados conforme o método analítico apresentado, em seguida determinando a umidade relativa necessária na estimativa da evapotranspiração.

## 2.3 Medidor de Nível de Líquido

A medição e/ou controle de nível de líquido é de interesse fundamental em todo e qualquer processo físico e químico, que visam o controle dos tanques de armazenamento ou controle de custo.

As técnicas normalmente usadas para medição do nível de líquido utilizam sensores de pressão, de variação de capacitância, técnicas potenciométricas e outras.

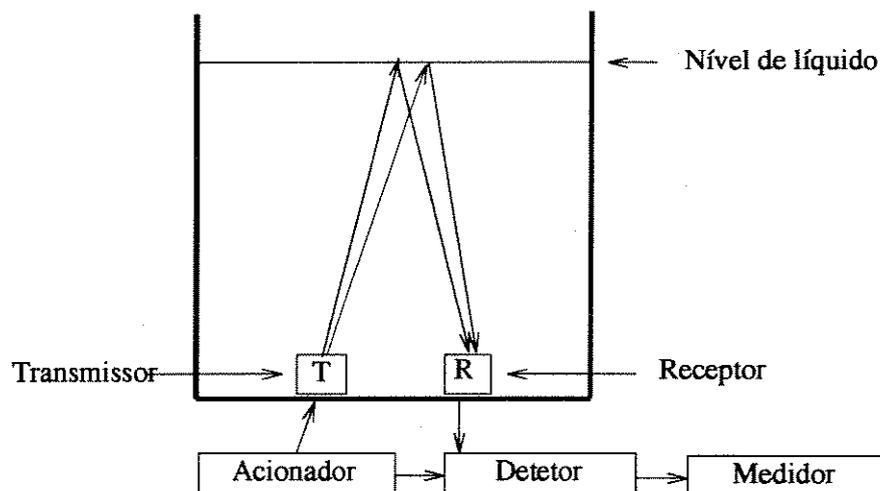
A seleção de um desses métodos depende de alguns fatores relevantes, tais como : a precisão exigida na medida, o tipo de líquido envolvido ( corrosivo ou condutor), se o reservatório está aberto ou fechado ou se está sob pressão, se o líquido está em constante movimento; o aspecto construtivo do condutor, área muito grande por exemplo.

Finalmente o aspecto automação também é considerado neste caso.

Neste trabalho levando-se em consideração alguns destes fatores como tamanho, facilidade de construção e desempenho satisfatório, e após tentativa do uso de outros sensores optou-se por um sensor ainda pouco empregado nesta área, que é o sensor de ultra-som que faz a medição do nível de líquido (água) em um recipiente cilíndrico, visando o cálculo da evaporação em um tanque Classe A.

#### a - Construção e Funcionamento

Este transdutor é constituído basicamente de uma cerâmica piezoelétrica que responde a um pulso de tensão na faixa de frequência de sinal de ultra-som. Tem como princípio de funcionamento a reflexão de uma onda acústica na superfície do líquido. A onda acústica gerada por um transmissor colocado no fundo de um reservatório se propaga através do líquido até a superfície, onde será refletida e retornará para o fundo onde é detectada por um receptor como mostra a figura 2-4. O tempo gasto para a onda percorrer o líquido (ida e volta) determina o nível do líquido.



**Figura 2-4: Trajeto da onda de ultra-som no interior do líquido.**

No trabalho em questão utiliza-se somente uma cerâmica piezoelétrica que serve de transmissor e receptor ao mesmo tempo. O tratamento do sinal neste caso torna-se mais simples e é apresentado em diagramas de blocos conforme a figura 2-5 junto com o conjunto de teste.

Como o interesse deste equipamento volta-se para determinação da altura entre o fundo de um tanque e sua superfície pode-se matematicamente expressar esta variável por:

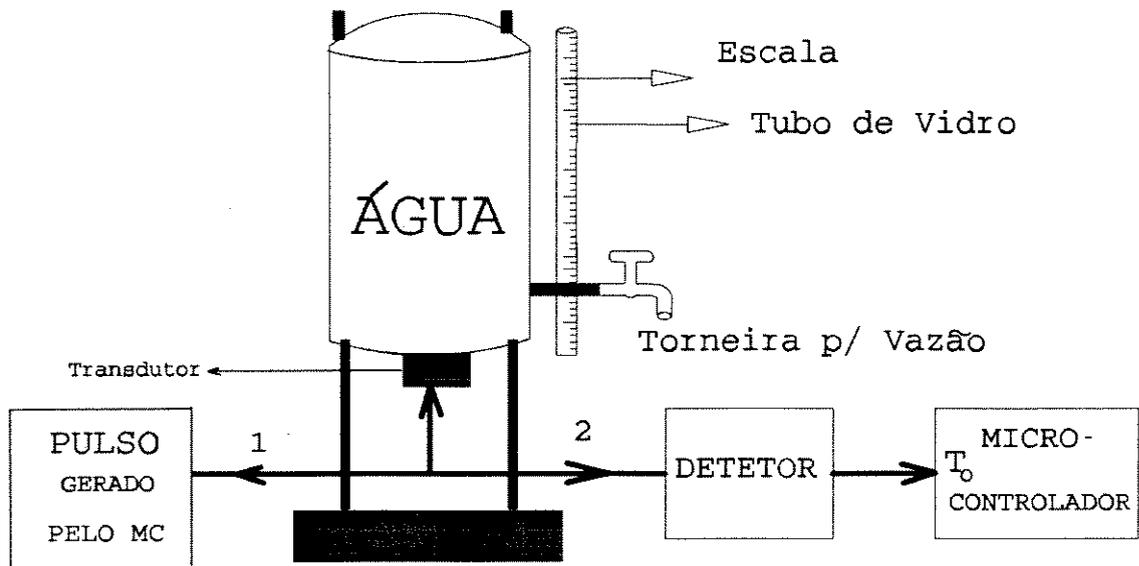


Figura 2-5: Conjunto usado para teste do medidor de nível de líquido.

$$h_{cl} = \frac{t}{2.0} \times c \quad (2.12)$$

onde

$t$  : é o tempo que o sinal de ultra-som leva para ir e voltar na cerâmica, dado em  $\mu s$ ;

$c$  : é a velocidade de propagação da onda de ultra-som no meio líquido sendo de  $1.5 \times 10^5 \text{ cm/seg}$ .

$h_{cl}$  : altura da coluna de líquido.

Das características levantadas experimentalmente para esta cerâmica utilizada na medição do nível de líquido, verifica-se que para excitar este transdutor na faixa de ultra-som são necessárias amplitudes da ordem de 4 a 10 V, larguras inferiores a metade do período de oscilação do cristal piezoelétrico e frequência de repetição determinada em função da utilização do equipamento.

#### b - Circuito Condicionador

Baseado no sistema do tcA modificado, na montagem em teste utilizou-se um recipiente cilíndrico com dimensão de 50cm de altura por 10cm de diâmetro (figura 2-5), semelhante ao tanque medidor M, desta forma obtendo-se melhor precisão nas medidas, em vista de que esta cerâmica limita sua precisão em 1,5mm.

O pulso de excitação da cerâmica em uso é de 1 MHz (  $1\mu s$  ). Esta frequência determina a largura dos pulsos, possibilitando medições em lâminas finas de líquido ( a partir de 5 mm de espessura). A frequência de repetição de 2 KHz, permite obter alturas da coluna de líquido de 500 mm. Esta restrição para a frequência de repetição procura evitar que o transdutor seja acionado novamente antes da detecção do sinal emitido pela excitação anterior.

Visando excitar o transdutor o gerador de pulsos usado é o próprio microcontrolador. Este pulso figura 2-6, é gerado por " software " e enviado por uma porta de (E/S)-P1.0 do microcontrolador. A cerâmica é acionada por este pulso produzindo ondas ultra-sônicas que se propagam no líquido e sofrem reflexão quando encontram a superfície com densidade diferente retornando à cerâmica piezoelétrica. O nível do líquido é então obtido medindo-se o tempo que o pulso ultrasônico leva para percorrer o líquido, refletir na superfície deste e retornar à cerâmica.

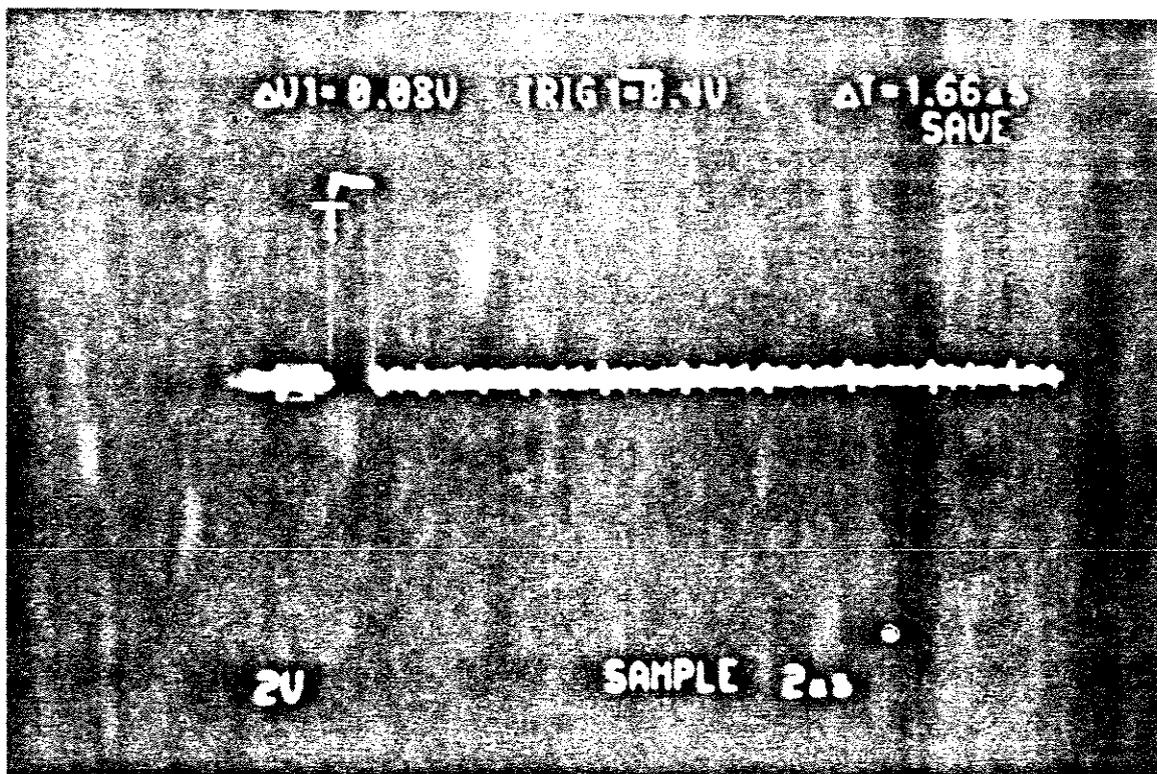


Figura 2-6: Sinal de excitação para a cerâmica dado pelo microcontrolador.

A implementação por programa da geração e detecção do pulso de ultra-som resulta em uma visível otimização no que se refere a componentes externos, facilitando possíveis alterações.

O esquema completo é visto na figura 2-7, onde é mostrado o circuito usado para tratamento do sinal de ultra-som. Inicialmente, tem-se um circuito isolador entre o sinal de excitação e a sua volta para acionamento da cerâmica. O sinal de retorno recebe tratamento de um circuito comparador **LM311** que trata o sinal ruidoso quadrando-o em níveis de tensão compatíveis com o sistema digital.

Um multivibrador monoestável é acionado pelo sinal do comparador abrindo o que denomina de "janelas". Estas janelas determinam o ponto de subida e o ponto de descida para um flip-flop D que aciona uma das entradas de interrupções do microcontrolador (INT0).

A saída do flip-flop é ligada no circuito de seleção, igualmente como é feito para o sinal de medição da velocidade do vento, para ter-se controle sobre as medidas usando um mesmo temporizador para contagem. Este circuito é composto somente de portas lógicas e libera ora o sinal que vem da interface do transdutor da velocidade do vento, ora o sinal do transdutor do nível de líquido. Conforme o esquema cada entrada dessa vai para uma porta AND diferente e juntamente com o sinal comum às duas portas faz-se o controle. Este sinal de controle é gerado por outra porta de E/S do microcontrolador - P1.5, alternando as medidas, nunca ambas.

No capítulo de considerações finais mostram-se os resultados desses sinais, desde a geração do pulso para acionamento da cerâmica, passando por todos os tratamentos realizados até a saída do flip-flop.

### 2.3.1 Sistema de Aquisição de Dados

Ao implementar um sistema de aquisição de dados podemos optar por dois tipos de arquitetura:

- Placa de aquisição acoplada a microcomputador,
- Sistema de aquisição dedicado e auto-suficiente.

Antes de detalharmos a placa de aquisição deste protótipo é feito um breve resumo dos dois tipos de arquiteturas que envolvem um sistema de aquisição de dados [14].

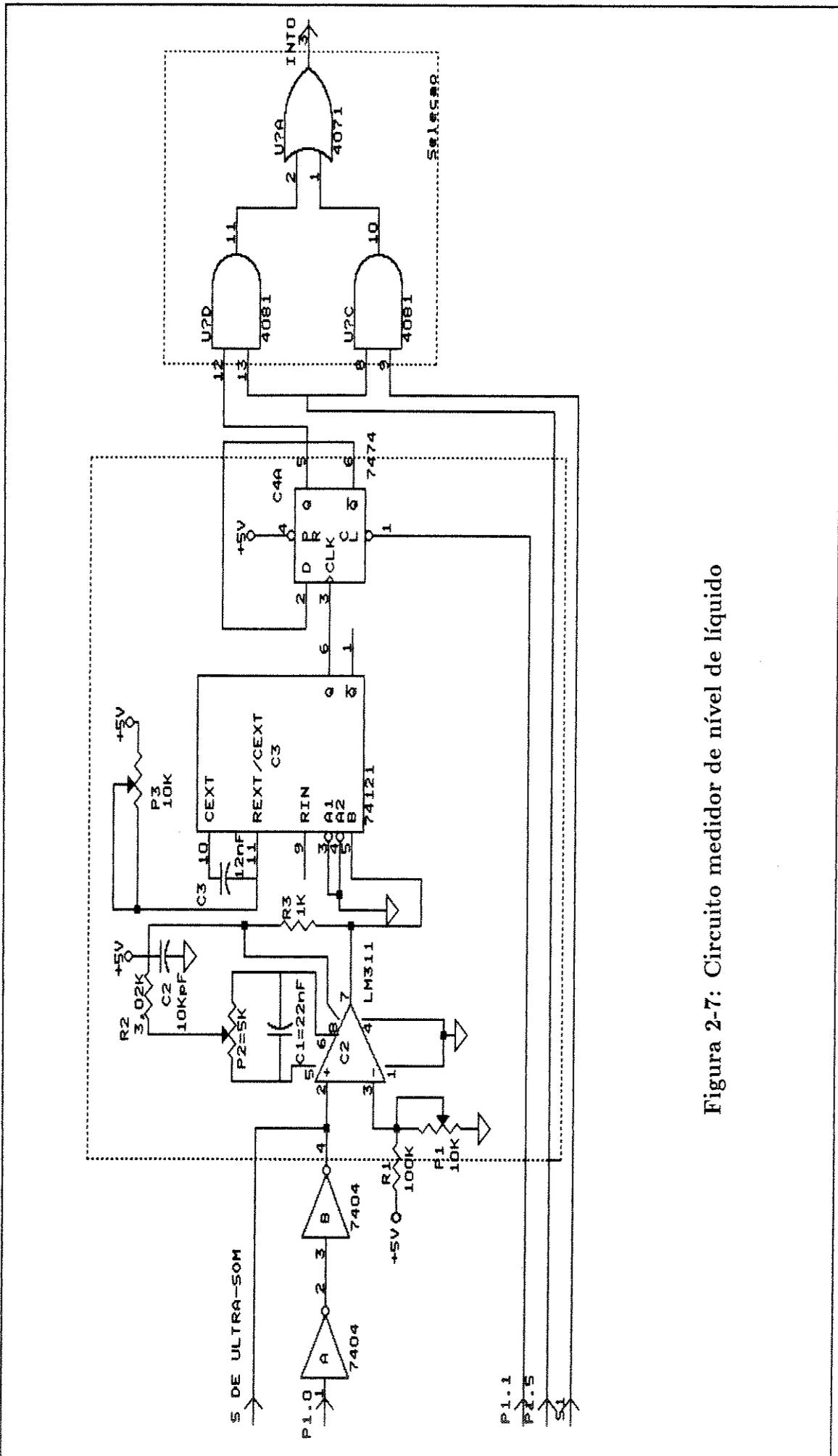


Figura 2-7: Circuito medidor de nível de líquido

### 2.3.2 Placa de Aquisição Acoplada a Microcomputador

A placa de aquisição de dados acoplada a microcomputador tem sua arquitetura aumentada apenas pela incorporação de uma placa de conversão A/D - D/A num dos "slots" de expansão de um microcomputador, aproveitando toda a estrutura de "hardware" e "software" do mesmo. O microcomputador faz todo o controle das operações de conversão e armazenamento em memória entre outros.

É o meio mais econômico na construção de um sistema de aquisição de dados, possibilitando a implementação de sistemas eficientes. Na figura 2-7 temos ilustrada uma placa de aquisição de dados típica de uso geral que é constituída basicamente de unidades de conversão A/D e D/A, condicionamento de sinal e a interface com o microcomputador.

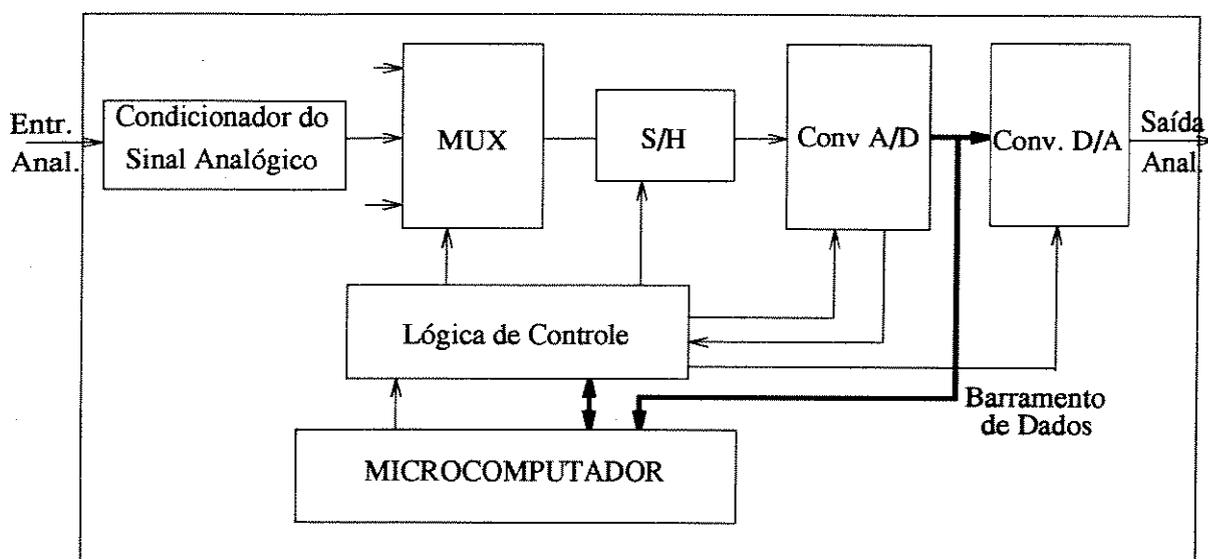


Figura 2-8: Sistema de Aquisição de Dados Acoplado a Microcomputador.

O inconveniente de uma arquitetura deste tipo no ambiente do microcomputador é a baixa imunidade ao ruído, normalmente se faz uso de amplificadores para elevar o nível do sinal, e às vezes o resultado não é satisfatório sendo necessário cuidados especiais, como sistemas de aterramento e ambiente elétrico isolado; outro fator é a velocidade limitada de transferência de dados digitalizados entre conversor e unidades de memória do microcomputador utilizado, problema que surge por falta de memória própria nas placas de aquisição; outra limitação é a flexibilidade que fica prejudicada por causa do espaço restrito oferecido pelo computador.

Todos estes problemas não são entraves para que este tipo de arquitetura tenha sempre grande aceitação, passando por constantes aperfeiçoamentos com níveis de desempenho satisfatórios.

### 2.3.3 Sistema de Aquisição de Dados Dedicados

Já os sistemas de aquisição de dados dedicados podem operar independentes de micro-computadores prevendo-se porém interfaces de conexão com outros sistemas. Possuem sistema próprio de controle e armazenamento, possibilitando operações de aquisição de dados com mais eficiência e flexibilidade(figura 2-8).

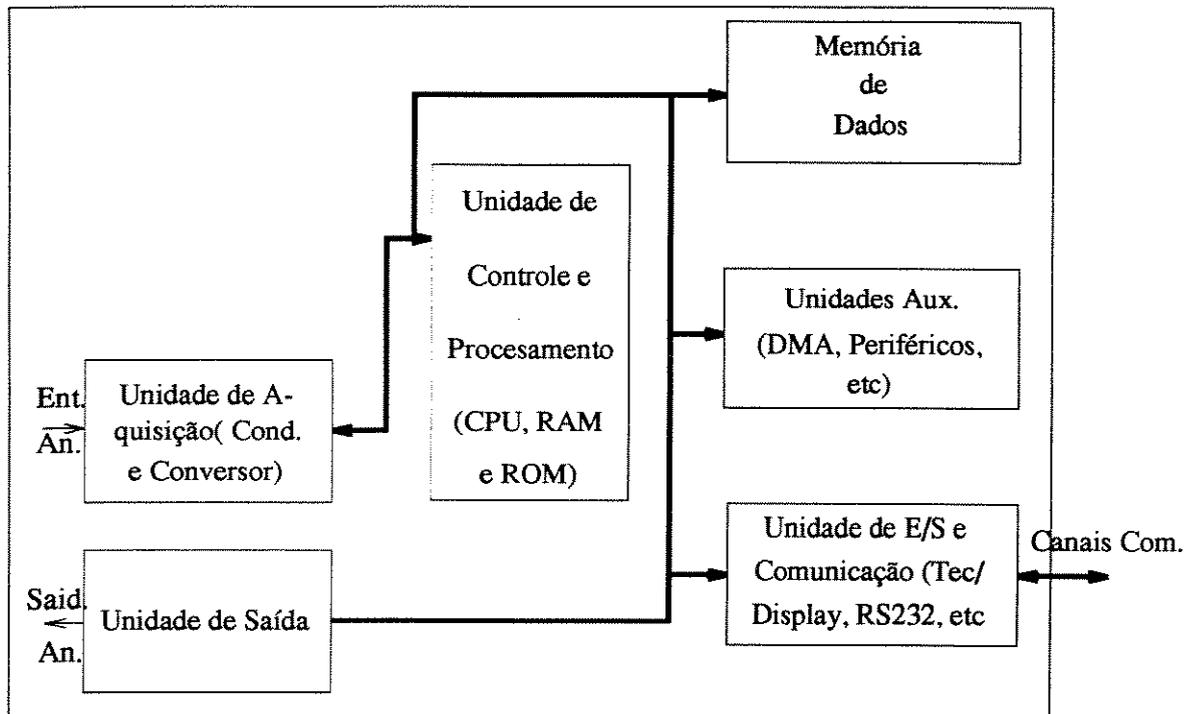


Figura 2-9: Sistema de Aquisição de Dados Dedicado.

O controle de operações pode ser feito através de circuitos lógicos convencionais com microprocessadores ou ainda com microcontroladores. A implementação através de circuitos lógicos convencionais tem a grande limitação da reconfiguração, ou seja, a impossibilidade de mudança.

Utilizando-se de microprocessadores ou microcontroladores o sistema torna-se "inteligente", onde um programa pode manipular suas funções, além de proporcionar facilidade de comunicação com sistemas de computação maiores. Portanto, a arquitetura para sistemas dedicados apresenta uma grande vantagem que é a possibilidade do sistema atuar na tarefa de aquisição de dados distantes de centros computacionais, facilitando as operações de campo, e aquisição em vários pontos. A transferência de informação pode ser feita por uma interface serial padrão.

A grande aplicação dos sistemas dedicados tem sido principalmente na área de instrumentação com aplicações também em controle de pequenos processos, tais como o gerenciamento de teclado em microcomputadores.

A maior dificuldade encontrada no desenvolvimento de sistemas dedicados, é a complexidade em termos de circuitos e o custo dos componentes, embora a questão do uso de componentes de custo relativamente elevado não constitua impedimento importante, pois estes custos vêm se tornando menores ao longo do tempo.

## 2.4 Placa de Aquisição Padrão

Esta unidade representa a parte fundamental deste sistema de aquisição. Optou-se portanto, pela realização de um protótipo auto-suficiente e dedicado de forma compactada, facilitando a sua operação em campo.

O sistema global que processa os sinais digitais e analógicos apresenta configuração típica de microcomputador dada pelo diagrama de blocos completo da figura 2-9, onde dividi-se o mesmo em quatro partes:

- Placa de aquisição padrão (CPU, memórias, conversor A/D e interface serial RS232);
- Controlador teclado/display;
- Condicionadores de sinais;
- Fontes de alimentação.

O sistema de condicionamento dos sinais foi detalhado anteriormente por isso este item se reduz à descrição dos circuitos do sistema de aquisição ou placa de aquisição padrão, incluindo o teclado/display e em seguida características da fonte de alimentação.

### 2.4.1 CPU

Para tornar a placa de aquisição padrão inteligente, optamos por um microprocessador ou uma Unidade de Processamento Central (CPU), que tem sido aplicada a pequenos equipamentos e controle de processos que não exigem rapidez e grande capacidade de memória, como é o caso deste trabalho. A CPU escolhida é o microcontrolador da INTEL 80C31 (CMOS).

A placa de aquisição padrão engloba além do microcontrolador 80C31 memórias externas EPROM de 8kbytes e RAM de 8kbytes, cristal de quartzo e conversor A/D, além de

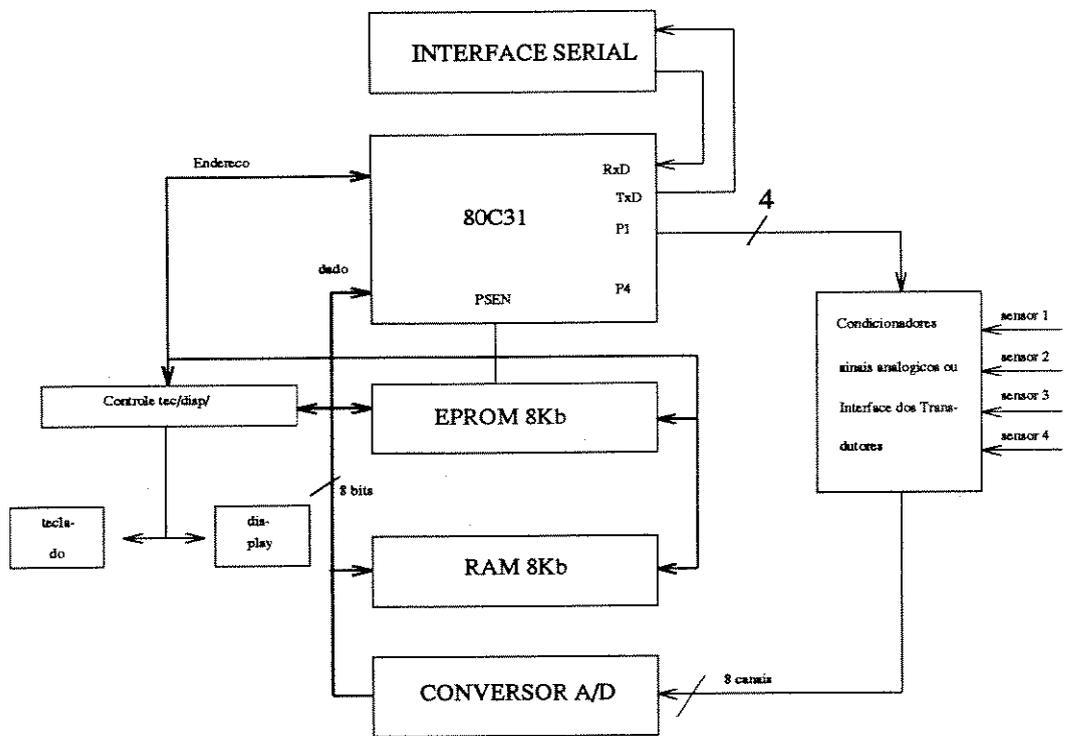


Figura 2.10 - Diagrama de blocos do sistema.

alguns circuitos adicionais externos como portas lógicas, divisores de frequência, decodificadores, necessários na complementação funcional e formação de vias de dados, controle e endereços de todo o circuito. O sistema de entrada e saída (E/S) é composto de um conjunto teclado/display com controlador e interface serial para formação do canal de comunicação RS232.

O microcontrolador 80C31 é um microprocessador de 8 bits que tem sua aplicação voltada para sistemas de aquisição dedicado e a operações de controle, cuja arquitetura interna consiste de uma CPU, memória interna de leitura e escrita, 32 linhas de entrada e saída (E/S), dois contadores/temporizadores programáveis, estrutura de interrupção assíncrona entre processadores, circuito de oscilação e mais linguagem assembler própria. Sua pinagem e diagrama de blocos se encontram no apêndice(B).

A utilização deste componente tem a vantagem de proporcionar um equipamento de tamanho reduzido, de fácil transporte, porém tem seu uso limitado a sistemas que exijam pequena capacidade de memória (64 K de RAM interna e externa e 64K de EPROM externa) e baixa velocidade de processamento.

Esta CPU controla todo o sistema (sensores, teclado, etc), através de um programa que é armazenado em EPROM sendo responsável pela centralização e gerenciamento de todas as tarefas inclusive o armazenamento dos dados adquiridos. Implementa a comunicação serial permitindo sua ligação a um sistema de computador para tratamento desses dados com confecção de gráficos e análise de resultados. Portanto em vista da não necessidade do tratamento desses dados em tempo real, e em conseqüência dos recursos limitados apresentados pela sua linguagem, praticamente todo o tratamento matemático necessário para obter cada parâmetro é feito pelo sistema de computador em linguagem de alto nível C.

Faz-se nos itens que seguem uma breve descrição dos componentes principais da arquitetura interna do 80C31 e a maneira que eles foram configurados para operar neste sistema em particular.

#### a. Contadores de Tempo/Evento

O 80C31 tem dois contadores de tempo/evento programáveis de 16 bits -Timer0 e Timer 1. Com estes contadores podemos medir intervalos e largura de pulsos, contagem de eventos e geração de interrupções periódicas e precisas.

Gera também a base de tempo de  $1\mu s$  para uma rotina de interrupção (INT1) necessária para controle automático dos intervalos ou passos entre as medidas de temperatura (duas medidas), nível de líquido e velocidade do vento.

O Timer 0 implementa a contagem de largura de pulsos para a interface de velocidade do vento e também para a interface que mede o nível de líquido. O Timer 1 gera também

a taxa de transmissão da porta serial cuja transmissão só é realizada quando não se está fazendo coleta de dados. A configuração deste timer é do tipo temporizador de 8 bits com recarga automática, onde seu valor inicial de contagem e de recarga definem a taxa de transmissão.

### b. Porta Serial

O 80C31 possui internamente uma porta serial para interfacear periféricos ou implementar uma comunicação assíncrona ou síncrona full-duplex entre processadores. Para operar full-duplex, ou seja, transmitir e receber com duas vias, este dispositivo tem dois pinos externos, um de recepção (RXD/P3.0) e um de transmissão (TXD/P3.1) não necessitando de outros pinos de controle.

O pino RXD é amostrado periodicamente e, quando a porta serial deteta um “start-bit” válido o dado correspondente é carregado no registrador SBUF. O “flag” RI é então habilitado para comunicar à CPU a existência de um dado recebido. A CPU tem acesso a este dado executando uma operação de leitura em SBUF. Na transmissão a CPU escreve o dado a ser enviado em SBUF e a porta serial encarrega-se de transmití-lo através do pino TXD.

Neste trabalho, em particular, a porta serial foi programada para implementar uma comunicação assíncrona com palavra de transmissão de 10 bits ( 1 start bit, 8 bits de dados, 1 stop bit) e taxa de transmissão variável, usada na coleta de dados da memória RAM estática.

A taxa de transmissão da porta serial é definida pelo “timer 1” que envia pulsos periódicos a esta porta a cada final de contagem. A frequência desses pulsos é dividida por 32 ou 64 dependendo de um bit interno de controle.

Para obtenção de uma taxa de transmissão de  $2400\text{bits/s}$  ou baud com uma divisão interna por 32 calculamos o valor de contagem a ser carregado no temporizador sabendo que a frequência de contagem do “timer 1” é igual a frequência do oscilador de 12 MHz dividido por 12, isto é, 1 MHz. O timer deverá contar a partir de 0 a 255 ( 8 bits ).

$$t_{transmissao} = \frac{1 \times 10^6}{32 \times 256} = 122 \text{ Hz} \quad (2.13)$$

Este valor é a duração de cada pulso de contagem, sendo a menor frequência que podemos obter.

O contador divide internamente por 32. Neste caso para a frequência de 2400 “baud”, teremos:

$$t_{transmissao} = \frac{1 \times 10^6}{32 \times (256 - N)} = 2400 \text{ baud} \quad (2.14)$$

ou  $N = 243$  que significa o início de contagem do contador para obter esta taxa de transmissão.

### c. Oscilador

A geração do sinal interno de sincronismo (clock interno) é realizado por um circuito de oscilação contido na própria pastilha do 80C31 operando na faixa de 1.2 a 12 MHz.

O pino Xta12 é a saída de um amplificador de alto ganho enquanto o pino Xta11 é sua entrada. Quando se conecta um cristal externo entre esses dois pinos são criadas as condições ( de realimentação e deslocamento de fase) necessárias para a oscilação. Neste circuito foi usado um cristal de 12 MHz O circuito desta placa é apresentada na figura 2-10 onde observa-se a ligação da CPU e os demais componentes necessários para seu pleno funcionamento.

## 2.4.2 Memórias

A capacidade de memória de dados para este microcontrolador é limitada a 128 bytes internos podendo ser expandida até 64 K de memória RAM externamente. Memória EPROM não existe internamente, só externamente e expandível até 64 Kbytes.

A capacidade do circuito de memória está intimamente relacionada com o tamanho do programa e a quantidade de dados que se quer armazenar, portanto à capacidade da memória EPROM e a capacidade da memória RAM estática, respectivamente. Por isto o dimensionamento deste sistema foi limitado a 8 Kbytes de EPROM sendo suficientes para armazenar o programa que gerencia todo o sistema. Para um primeiro protótipo reserva-se 8Kbytes de RAM externos, onde pode-se armazenar cerca de quatro dias de dados contanto que sejam feitas coletas com intervalo de 5 minutos(no mínimo) e considerando um conjunto de dados de sete bytes(2016 bytes por dia).

Os tipos de memórias que estão sendo utilizadas são memórias EPROM 2764 INTEL de 8K organizada com palavras de 8 bits e a RAM 6264 MOTOROLA do tipo estática tendo capacidade de 8192 palavras de 8 bits.

### 2.4.3 Conversor A/D

O conversor A/D usado é o ADC0808 de 8 bits, que contém em sua arquitetura multiplex de 8 canais, compatível com a lógica de controle de microprocessadores, e utiliza em seu processo de conversão a técnica de aproximação sucessiva. Portanto, é com este dispositivo que coleta-se os sinais dos dois sensores de temperatura para através de cálculos obter a umidade relativa.

Este conversor apresenta algumas especificações importantes que são:

- Tempo de conversão de  $100\mu s$ ;
- Resolução de 8 bits com erro de quantização de  $(\pm 1LSB)$  ( $20mV$  para  $V_{cc} = 5,0V$ ) e  $(\pm 1/2LSB)$  para referência simétrica;
- Faixa de tensão de entrada analógica de 0 a 5 V com tensão de alimentação única de 5 V;
- Faixa de temperatura de  $-40^{\circ}C$  a  $85^{\circ}C$  ou  $-55^{\circ}C$  a  $125^{\circ}C$ ;
- Baixo consumo ( $15mW$ );
- Necessidade de pouco circuito externo para seu funcionamento.

Um barramento bidirecional do tipo tri-state 74LS245 é usado para fazer a conexão entre os dados do conversor e o barramento de dados do microprocessador e ao mesmo tempo habilita e desabilita o conversor isolando o seu barramento de dados do resto do sistema.

Os sinais de controle que iniciam e finalizam a conversão são todos comandados via programa pela CPU.

### 2.4.4 Interface Serial RS-232

Qualquer interface de comunicação entre computadores é de importância primordial, particularmente neste caso que servirá para viabilizar os cálculos que serão feitos visando estimar a evapotranspiração.

A interface serial RS-232 opera com uma taxa de transmissão de 2400 bits/s gerado pela CPU. Seu circuito de interface recebe os dados e transmite diretamente da CPU 8031 microprocessadora que apresenta os pinos prontos para transmissão e recepção.

O pino de transmissão de saída que está em nível TTL (0-5 V) é convertido para o padrão RS-232 ( $\pm 12V$ ) através do conversor de nível 1488. Na recepção ocorre o inverso onde o padrão RS-232 é convertido para níveis TTL através do conversor 1489.

Os parâmetros de comunicação serial como taxas de bits, comprimento de palavra, número de " stop-bits ", tipo de paridade, etc, que definem o modo de operação da RS-232 são especificados por " software ".

Não se utiliza modem por estar sendo feita comunicação de pequena distância. Os dados são armazenados em memória RAM e tratados no final de alguns dias conforme a capacidade de memória. Para o transporte desses dados a RAM é alimentada por um circuito com uma bateria de 3,6V. que é acionada quando é desligada a fonte de alimentação de 5 V. Esta bateria mantém somente a carga da RAM com todo o resto do circuito desativado.

O aparelho de aquisição é levado a um microcomputador tipo PC-xt ou qualquer outro que tenha saída serial disponível onde transmite dados por meio de um comando acionado via teclado. Estes dados são recebidos e tratados por um programa que prepara arquivos separados de cada variável envolvida para serem posteriormente manipulados. O circuito de interface de aquisição padrão é apresentado na figura 2-11.

### 2.4.5 Teclado/Display

Uma unidade de teclado/display foi usada não somente para facilitar o desenvolvimento do sistema, mas também para que o usuário possa introduzir dados ou executar funções manualmente; serve também para calibração dos sensores e liberação da transmissão serial.

O teclado é constituído de 16 teclas alfanuméricas , que possibilitam a entrada de dados e um conjunto de comandos que possibilita ao usuário executar as várias funções do sistema. O display possui 6 unidades de sete segmentos, permitindo a visualização de endereços e dados. A figura 2-11 mostra a configuração completa do conjunto onde foi utilizado o controlador programável para teclado/display 8279. Este recurso oferece economia de tempo , liberando a CPU desta tarefa de varredura. O CI 8279 opera com um relógio interno de 100KHz, de modo a garantir um tempo de varredura para o teclado de 5,1 ms, um tempo de "debounce" de 10,3 ms.

O 8279 foi projetado para operar em sistemas microprocessados, comunicando-se com a CPU através do próprio barramento de dados do sistema e de algumas linhas de controle.

Possui uma memória FIFO que armazena o código das teclas pressionadas e os dígitos a serem enviados ao display. A cada tecla pressionada o 8279 executa o debouncing e ativa uma linha de interrupção que é usada pela CPU para iniciar o tratamento de te-

clado. Quando uma tecla é pressionada a linha e a coluna referentes a esta tecla são curto-circuitadas.

O 8279 foi programado com decodificador externo(74LS138) e a CPU tem acesso aos dados armazenados executando uma operação de leitura com  $A0$ ,  $\overline{CS}$  e  $\overline{RD}$  com nível baixo.

O display conta com uma RAM  $16 \times 8$  que armazena os códigos dos caracteres que estão sendo mostrados no display. Como o controlador tem apenas um barramento de saída para o display é necessário que os códigos correspondentes a cada dígito sejam multiplexados. Desta forma, cada dígito é acionado durante um pequeno intervalo de tempo dentro de um ciclo de varredura do display.

## 2.5 Fonte de Alimentação

Para este projeto são necessárias fontes de tensão de  $+5\text{ V}$  e  $\pm 12\text{ V}$ . Na implementação da interface de tratamento dos sensores limitou-se à escolha de componentes que usam fonte de alimentação única com nível de  $+5\text{ V}$ , compatíveis com a placa de aquisição que contém em sua maioria circuitos do tipo TTL, embora o circuito de comunicação serial que usa o padrão RS-232 necessite para processar a transmissão níveis de sinais de  $(\pm 12\text{ V})$ .

Em termos de consumo de corrente o sistema total quando em operação de aquisição consome cerca de 200 mA (display apagados), e na fase de calibração sobe para cerca de 300 mA.

### 2.5.1 Sistema da Bateria de Emergência( back-up)

Este sistema monta seu banco de dados em memória RAM, por isso cessada a alimentação é necessário que exista tensão de no mínimo 3 Volts para retenção da informação, a fim de que seja feito o transporte do equipamento até um microcomputador para efetuar a transmissão e descarregamento desses dados. Desta forma, um circuito de alimentação de emergência foi projetado visando solucionar este problema.

O circuito implementado está esquematizado no diagrama de blocos da figura 2-13. Este circuito utiliza bateria com as seguintes especificações:  $V_{bat} = 3.6\text{ V}$ , 280 mA/h, fornecendo corrente da ordem de 5 mA.

A figura 2-14 mostra o circuito que tem um carregador de bateria composto de um gerador de corrente formado pelo transistor T(PNP) e seus componentes de polarização. O diodo D4 e os resistores R1 e R2 fixam a tensão de base  $V_B$  da tensão de saída da

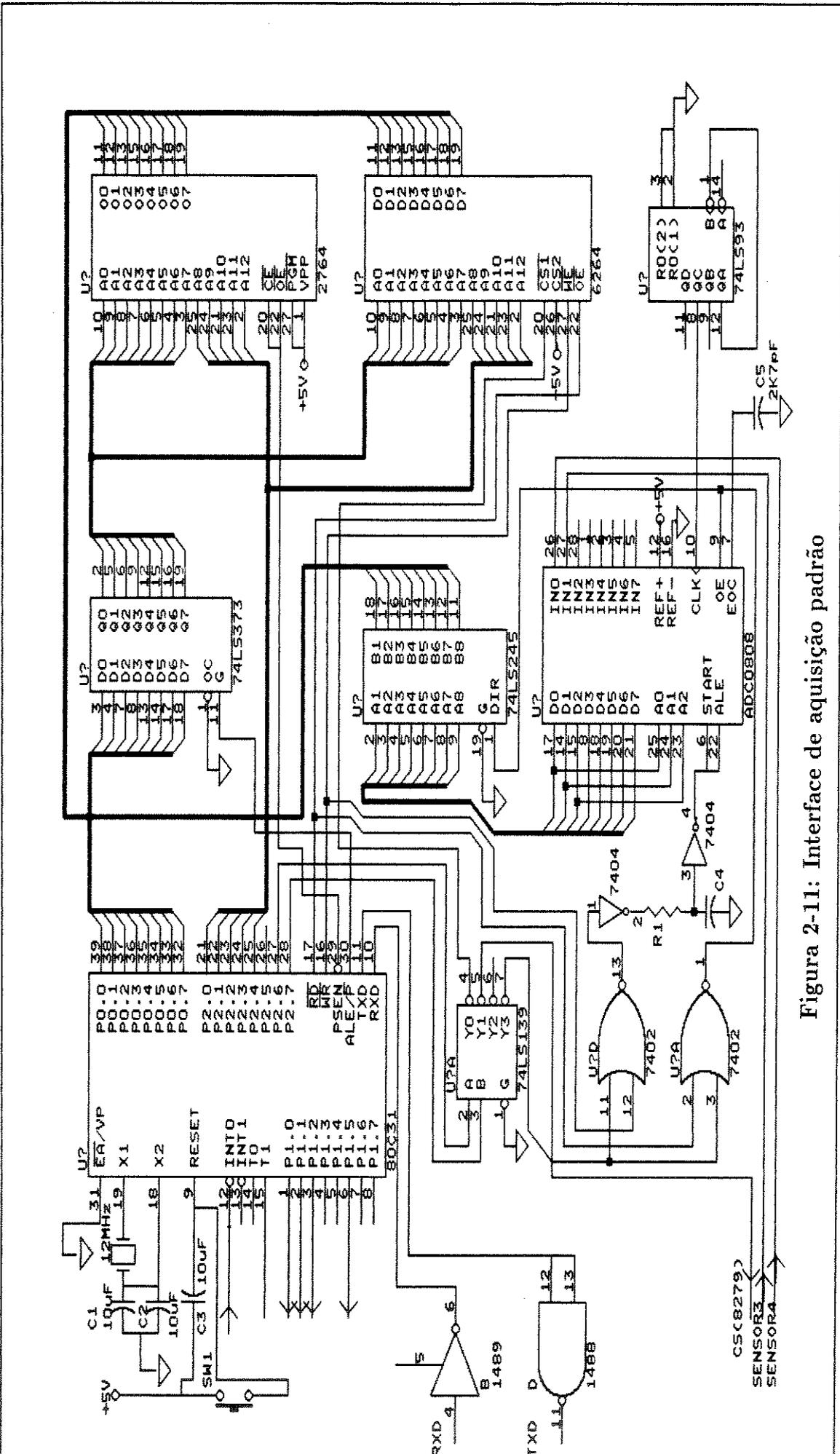


Figura 2-11: Interface de aquisição padrão

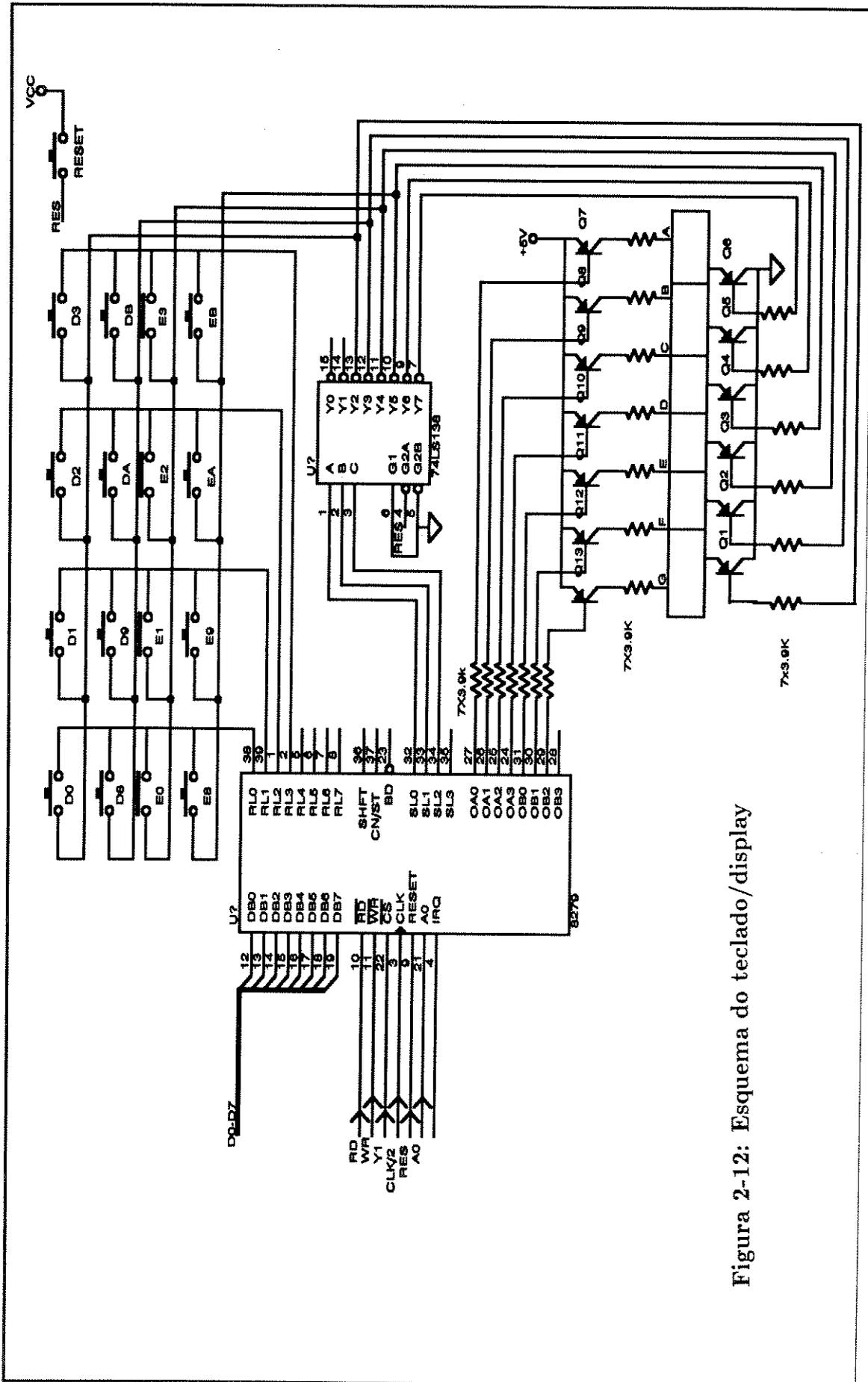


Figura 2-12: Esquema do teclado/display

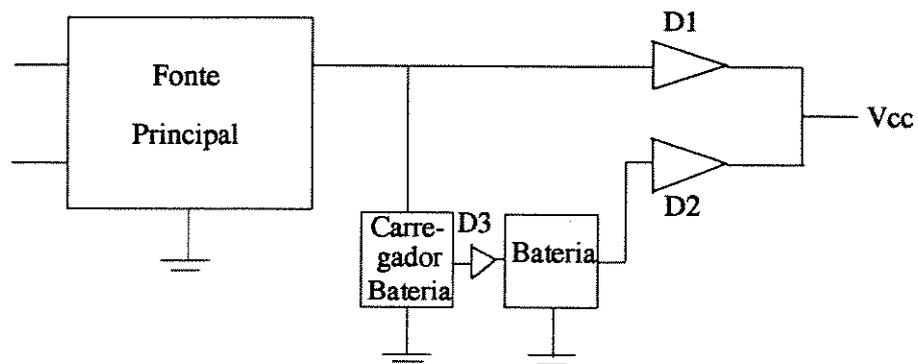


Figura 2-13: Diagrama de blocos do circuito de emergência.

bateria. A corrente  $I_4$  ( no diodo  $D_4$ ) é da ordem de 5 mA. Quando a tensão da bateria for menor que  $V_C$ ,  $D_3$  conduz passando a carregar a bateria .

O sistema usa a fonte de alimentação até que cesse polarizando  $D_2$ , onde o circuito agora é alimentado pela tensão da bateria, que apenas é reduzida da queda do diodo  $D_2$ .

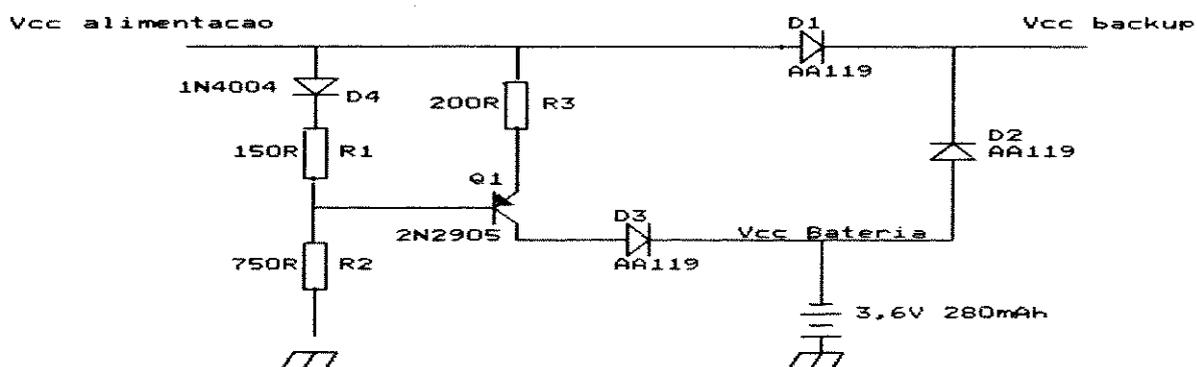


Figura 2-14: Diagrama do Circuito da bateria da RAM

## Capítulo 3

# PROGRAMAÇÃO

As rotinas que compõe o programa de gerenciamento do sistema são apresentadas neste ítem, onde são abordadas com detalhes as mais importantes. Em seguida é anexada uma listagem do programa (Apêndice C).

A linguagem utilizada para o desenvolvimento deste programa foi o assembler 8051 que é formado pelo conjunto de instruções (minemônicos) do próprio microcontrolador. O fluxograma geral é observado na figura 3-1.

O programa foi segmentado em rotinas visando torná-lo legível e estruturado onde cada rotina foi classificada segundo critérios funcionais.

- Rotinas de inicialização
- Rotinas de temporização
- Rotina de interface com o usuário
- Rotinas de aquisição de dados
- Rotinas de armazenamento.
- Rotinas de E/S

### 3.1 Rotinas - Visão Geral

As rotinas do programa são apresentadas de um ponto de vista funcional, sendo omitido os detalhes de implementação.

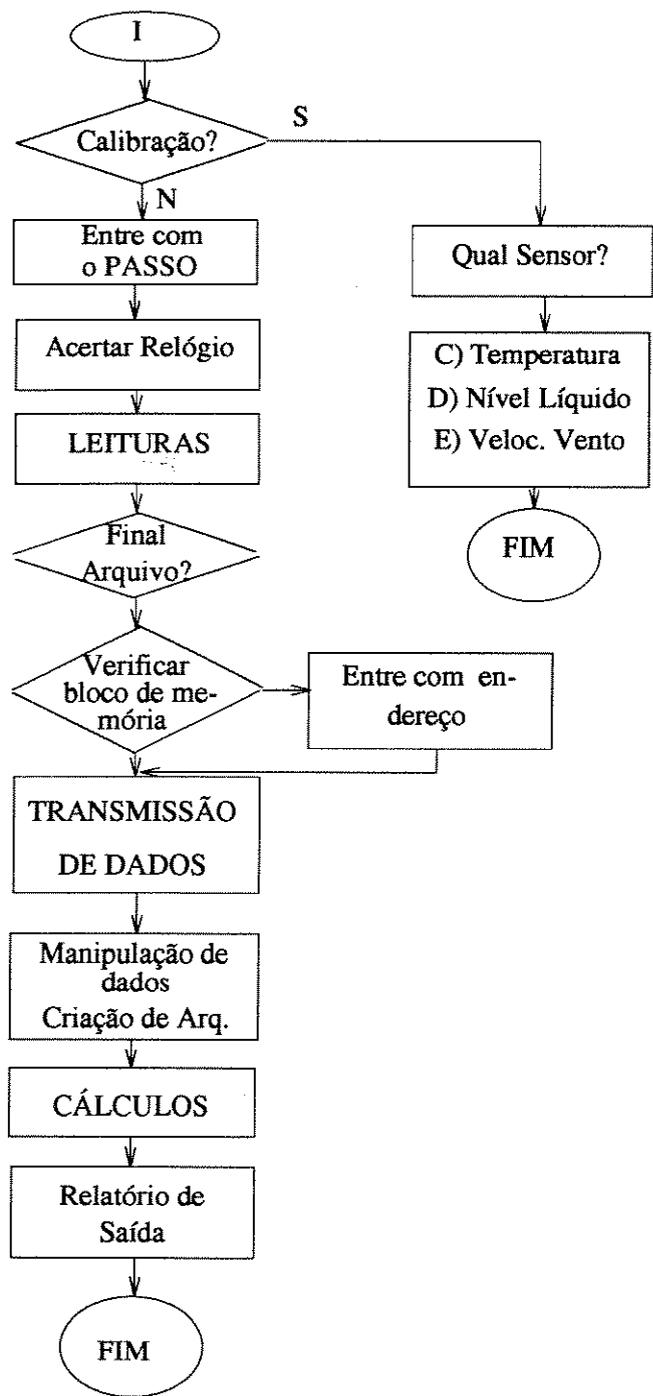


Figura 3-1: Fluxograma Geral do Programa Desenvolvido.

### 3.1.1 Rotinas de Inicialização

O programa principal é responsável pela inicialização interna de todos os CI's da placa de aquisição (8279, CPU).

### 3.1.2 Rotina de Temporização

INTVET: Subrotina de interrupção, tem a função de gerar a base de tempo do sistema, através da informação fornecida pelo usuário via teclado, do passo em que serão processadas as medidas

### 3.1.3 Rotinas de Interface com o Usuário

COMAND: Subrotina que permite ao usuário escolher a função que deseja executar:

- (A) passos ou intervalo que as medidas serão efetuadas
- (B)acerta a hora inicial
- (C)calibra os sensores de temperatura
- (D)calibra o sensor de velocidade do vento
- (E)calibra o sensor de nível de líquido
- (F)verifica bloco de memória preenchido com resultados
- (9)faz a transmissão serial .

### 3.1.4 Rotinas de aquisição de dados

- CONVERT: Faz a aquisição dos dados de temperatura de bulbo seco e bulbo úmido, acionando o conversor A/D, mostra no display e grava na memória os dados lidos (Esses dados são tratados em hexadecimal).
- NIVL: Mede o intervalo entre a ida e a volta do sinal de ultra-som .Esta rotina gera o pulso de 1 MHz .
- VVENT: Rotina que mede o período do sinal gerado pelo anemômetro.

### **3.1.5 Rotina de armazenamento**

PREBL\_PR: preenche bloco de memória externa em tempo real. Está programado para preencher byte a byte, a partir do endereço 2000H da RAM 6264.

### **3.1.6 Rotinas de Entrada/Saída**

- PRINT: que imprime mensagem no display;
- MBYTE: mostra um byte no display;
- TRANSM: transmite os dados contidos na RAM quando é solicitado pelo usuário via teclado.

## Capítulo 4

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi mostrado o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados controlado por microcomputador para medir a velocidade do vento, nível do líquido, temperatura ambiente e umidade relativa diretamente aplicado a agronomia, tendo em vista o estabelecimento de um programa de irrigação . Este protótipo encontra-se em fase de ajustes no seu "hardware" e acabamento (circuito impresso e colocação em caixa blindada), para ser colocado em teste no campo, visando atingir o objetivo inicial.

Atualmente torna-se imprescindível, a automação de processos que monitoram parâmetros, pois substitue métodos manuais cansativos e demorados, melhora a confiabilidade diminuindo os erros e apresenta resultados em menos tempo. Além disso, oferece recursos para análises melhores e mais completas. Por outro lado, o desenvolvimento deste tipo de projeto é longo e minucioso.

A partir do momento em que foi definido o tema do trabalho e depois o método de trabalho, uma série de passos foram seguidos para que fosse alcançado nosso objetivo.

Tomando por base a aplicação a que se destina, no caso tomada de decisão de quando e quanto irrigar, partiu-se em busca dos transdutores. Características importantes na escolha dos sensores, referem-se à precisão e repetibilidade das medidas efetuadas. Diante do que foi observado, escolheu-se como transdutores um anemômetro de canecas para medição da velocidade do vento, circuito integrado LM335 para medição da temperatura de bulbo seco e bulbo úmido para cálculo da umidade relativa e uma cerâmica piezoelétrica para medição do nível de líquido.

Como etapa seguinte foram projetados os circuitos de tratamento dos sinais de saída dos sensores tendo em vista o sistema que fará a aquisição. Nesta etapa uma série de detalhes estão embutidos em todo o seu desenvolvimento dentre eles, pode-se destacar alguns como, fonte de alimentação, níveis de sinais que serão tratados, local que irá funcionar, etc.

Paralelamente, desenvolveu-se o circuito digital programável auto-suficiente que fará o tratamento desses sinais, observando detalhes de medições, capacidade de memórias, quantidades de vias de E/S . Dependendo do tipo do sinal a ser tratado usam-se conversores A/D. Caso o controle de processos seja necessário utiliza-se saídas digitais do próprio sistema de aquisição ou conversores D/A.

## 4.1 Aspectos de Implementação

A implementação da placa de aquisição contendo os circuitos digitais foi feita em montagem de " wire-wrapping ". Esta técnica tem como principal vantagem a rapidez com que podem ser executadas as ligações, viabilizando com relativa facilidade possíveis mudanças. Porém este tipo de técnica apresenta algumas desvantagens que são a baixa imunidade ao ruído, o que exige uma série de cuidados, como uso intensivo de dispositivos de desacoplamento; isolamento tanto física como elétrica, entre os circuitos analógicos e digitais (incluindo a separação dos circuitos analógico e digital em caixas diferentes) ;e minimização das distâncias entre os CI's digitais de modo a melhorar o desempenho do circuito.

Outro fator relevante que merece comentário são as ferramentas necessárias para o desenvolvimento de sistemas que requerem programas gerenciadores ou monitores. Neste trabalho, em sua fase de programação contou-se com um circuito emulador de EPROM , o que facilitou bastante o desenvolvimento do software em linguagem de máquina.

## 4.2 Resultados Práticos

Nesta seção mostram-se os resultados práticos obtidos pelo protótipo desenvolvido em laboratório, fazendo a análise dos resultados , apresentando possíveis soluções para melhorias e refinamentos dos mesmos. São vistos a seguir detalhes de cada grandeza tratada, separadamente.

### 4.2.1 Velocidade do vento

Com base na teoria do capítulo 2, o transdutor de velocidade do vento, fornece um sinal de frequência que é diretamente proporcional a velocidade de giro ou tangencial das canecas(velocidade instantânea). Portanto, para o anemômetro foi medido a frequência do sinal de saída.

Para calibrar o anemômetro foi usado o túnel de vento, equipamento lotado no DEM-

FEIS\_UNESP, onde obteve-se os resultados de frequência de 0 a 100Hz, isto equivale a velocidades na faixa de 0 a 30 m/s, aproximadamente. Este resultado foi monitorado junto com a frequência, por um anemômetro digital para obter-se uma referência, para velocidade do vento. Com estes dados executou-se o projeto do circuito medidor.

Tendo disponibilidade de dois "timers" no microcontrolador, optou-se por tratar a frequência fazendo a contagem do sinal, tendo como base de tempo o relógio do próprio microcontrolador, 12MHz que é dividido internamente por 12, gerando uma base de tempo para o contador de 1 microsegundo. Este tipo de tratamento originou um circuito mais simples, apenas com problemas de corrente em face do baixo nível de tensão do sinal do anemômetro para baixas frequências, mas sendo solucionado com a troca de componentes do tipo TTL por CMOS, que consome bem menos corrente.

Quando se trabalha com baixas frequências, é necessário um pouco mais de cuidado no processo de medição. A região brasileira de um modo geral, apresenta tipos de ventos fracos e moderados dificilmente ventos fortes, portanto, a faixa de frequência que normalmente ocorrerá é menor que 20Hz, que corresponde a ventos fracos e moderados.

Em face do que foi exposto, alguns resultados são mostrados na figura 4-1 e figura 4-2 respectivamente. Na figura 4-1, tem-se o gráfico da frequência  $\times$  frequência onde se observa a resposta satisfatória da interface de aquisição para sinais de frequência de um gerador de áudio. Na figura 4-2 vento  $\times$  frequência mostram-se os resultados da medição feita com o anemômetro e a partir da frequência obtida pelo contador, depois de um tratamento matemático tem-se a velocidade do vento obtida teoricamente. De um modo geral, os resultados estão coerentes, com trechos comuns, apenas observa-se bastante oscilação nas baixas frequências. Para o teste com o anemômetro foi usado um ventilador para gerar o vento, cuja velocidade atingida é de 2,5m/s, por impossibilidade de transportar todo o equipamento até o túnel de vento, com vistas a ampliar esta faixa de medida, usou-se o gerador de áudio para completar a faixa de frequência de 0 a 100Hz, e observar o comportamento da interface na faixa inteira.

Fator que pode colaborar com erros nas medidas além do aspecto construtivo do anemômetro e a dispersão do vento que ocorre com o uso do ventilador como fonte de sinal.

Pequenos ajustes ainda são necessários no tratamento do sinal, principalmente para frequências menores que 15 Hz que são justamente onde estão situados as faixas de maior incidência de velocidade do vento.

Alternativa de melhoria seria tratar a amplitude do sinal e não a frequência, necessitando neste caso de um "sample-hold" e aquisição destes dados através de conversor A/D.

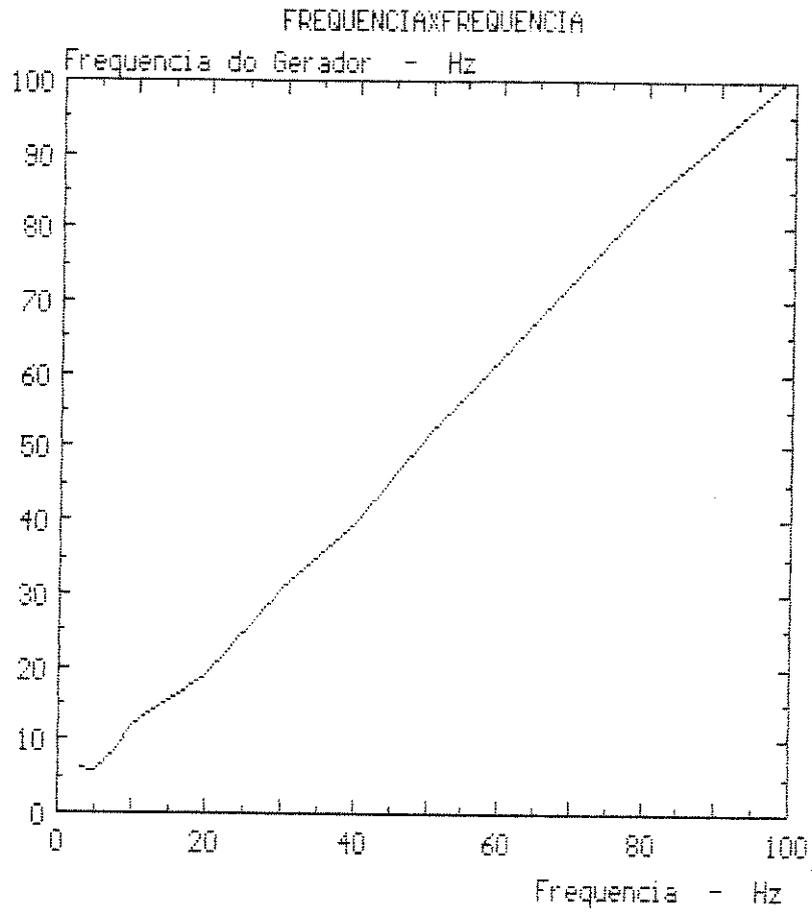


Figura 4-1: Frequência × frequência dada pelo medidor

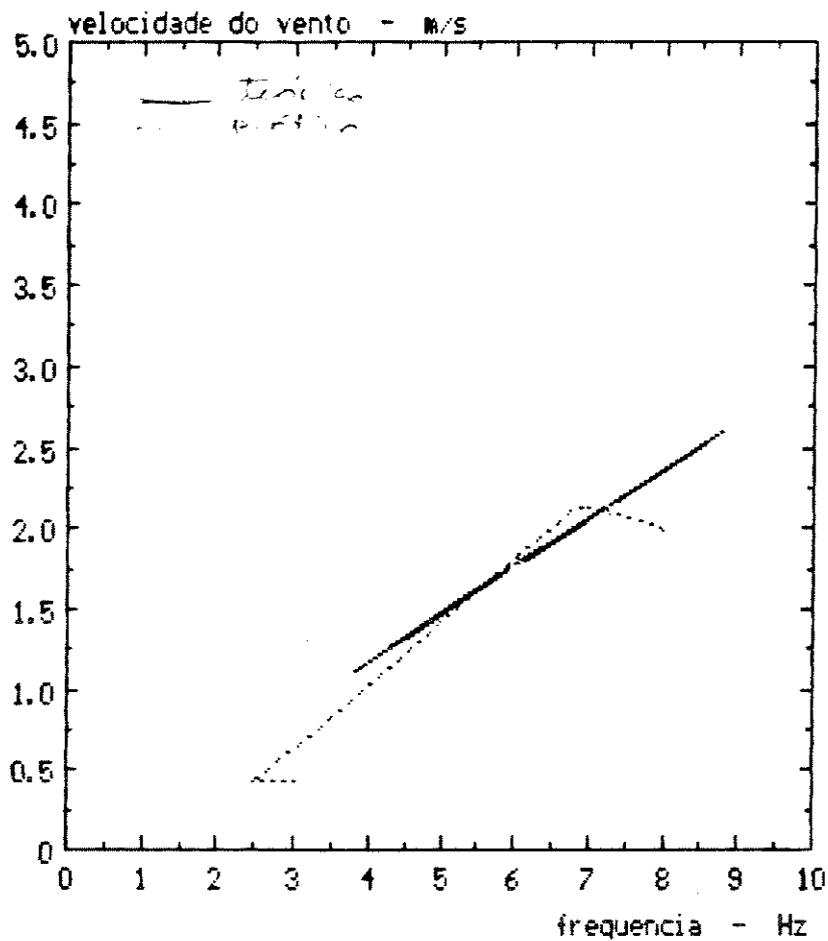


Figura 4-2: Velocidade do vento  $\times$  frequência

### 4.2.2 Umidade Relativa

A umidade relativa foi processada por intermédio das medições das temperaturas de bulbo sêco e bulbo úmido usando o CI LM335. Os gráficos que mostram o desempenho das medidas feitas através do sistema de aquisição estão nas figuras 4-3 e 4-4, onde tem-se dados coletados no período de 12 a 24 horas.

Fazendo a análise desses gráficos verifica-se o desempenho satisfatório nas medições da temperatura de bulbo seco, embora apresente um erro constante nas medições da temperatura de bulbo úmido, comparando-se com um medidor de umidade relativa que usa termômetros comuns. Este erro reflete-se no resultado de umidade relativa, como pode ser observado no gráfico da figura 4-4.

Possíveis soluções para melhorar a construção de bulbo úmido relaciona-se à manutenção da umidade do cardaço que reveste o sensor, pois a temperatura do sensor/cardaço não pode estar à temperatura da água. Distância adequada deve ser mantida entre o nível de água usado para manter a umidade do cardaço e o sensor.

### 4.2.3 Nível de Líquido

Para obtenção desta grandeza o circuito de tratamento teve a configuração vista no capítulo anterior. Para cada fase de tratamento do sinal da cerâmica ultra-sônica acompanhou-se o desenvolvimento dos sinais pelo osciloscópio e estes resultados são mostrados em fotografias relacionadas nas figuras 4-5 e 4-6.

- resposta da cerâmica junto com o pulso de excitação - Figura 4-5(b).
- sinal de saída do comparador - Figura 4-6(b)
- sinal de saída do monoestável - Figura 4-5(a)
- sinal de saída do flip-flop - Figura 4-6(a)

A saída do flip-flop, que é alta quando a cerâmica é acionada habilita o contador. Quando é detetado o retorno o flip-flop desabilita o contador parando a contagem. Desta forma o resultado obtido no contador está relacionado com o tempo de percurso do pulso ultra-sônico.

A calibração é executada relacionando-se a velocidade do pulso ultra-sônico no líquido com o tempo de percurso do pulso.

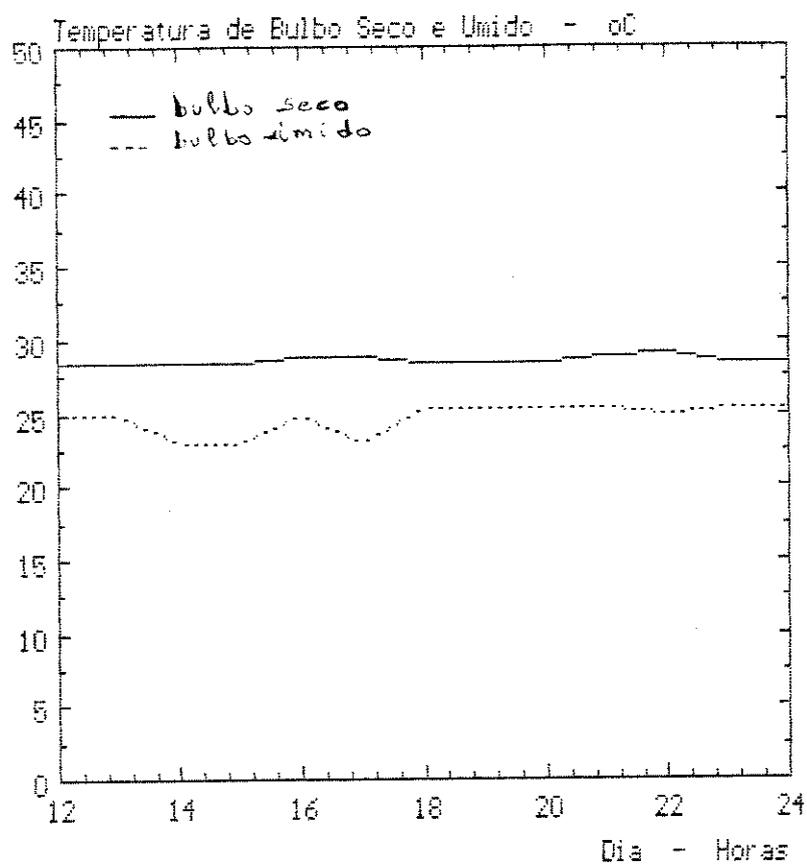


Figura 4-3: Temperaturas de bulbo seco e úmido

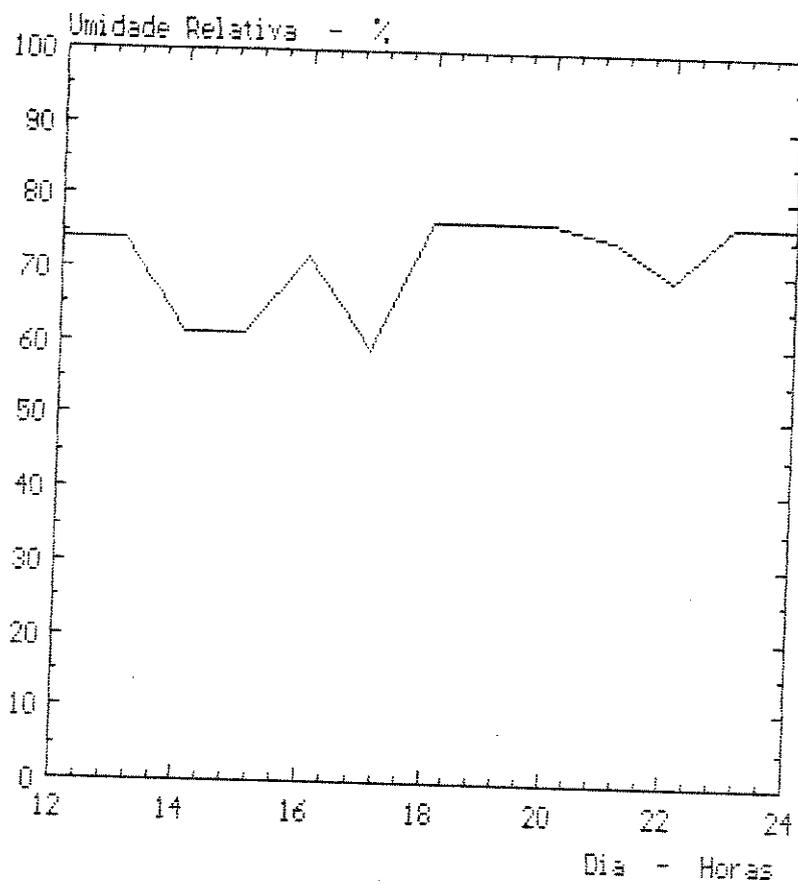


Figura 4-4: Umidade relativa(%)

Usando a montagem de teste descrita no capítulo 2, foram feitas medidas experimentais para avaliar o desempenho do sensor ultra-sônico e do sistema de tratamento obtendo-se os resultados mostrados no gráfico da figura 4-7.

Os resultados demonstram uma precisão de 1,5mm, o que era de se esperar pois a velocidade da onda ultra-sônica na água é de  $1,5 \times 10^6$  mm/s.

Esta precisão pode ser melhorada com a troca da cerâmica que responda a frequência mais altas. Outra solução seria aumentar a frequência do clock do microcontrolador, porém neste caso outro dispositivo que aceitasse um "clock" mais elevado seria necessário.

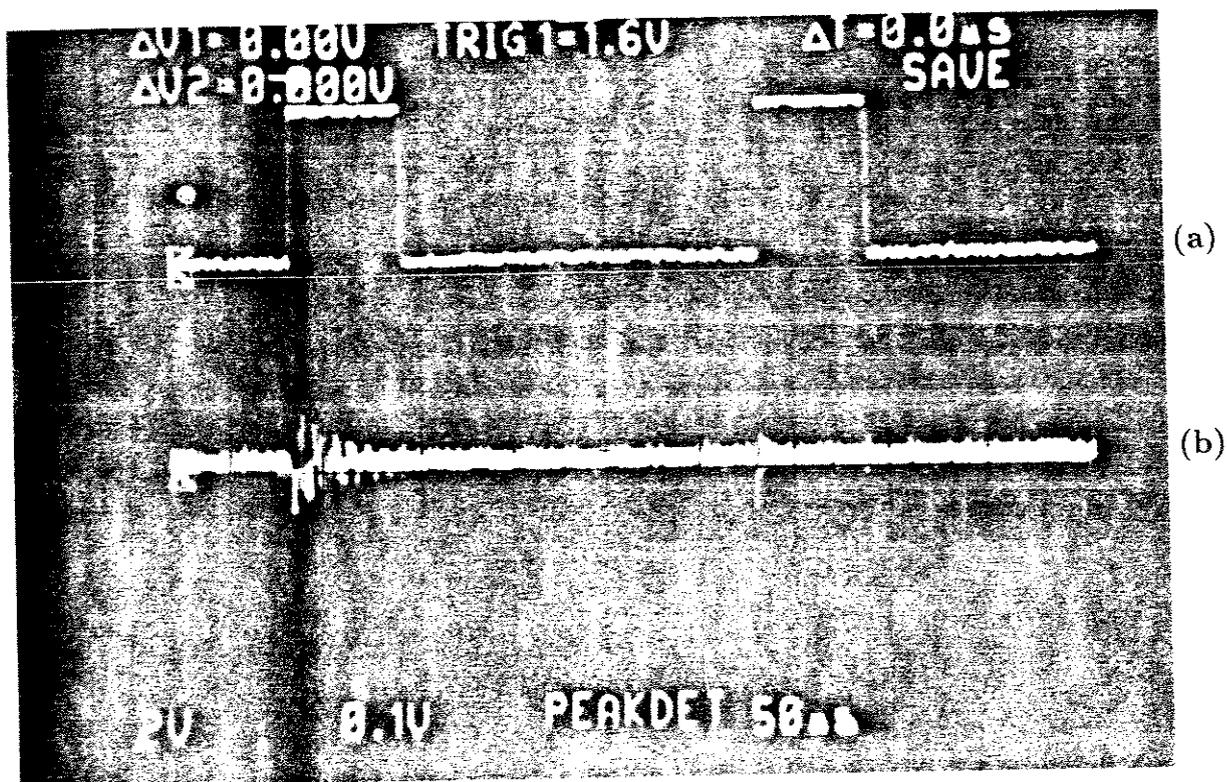


Figura 4-5: Formas de onda (a) Monoestável (b) Retorno do sinal

### 4.3 Conclusões

Ao finalizar este trabalho destacam-se alguns pontos importantes nesta conclusão.

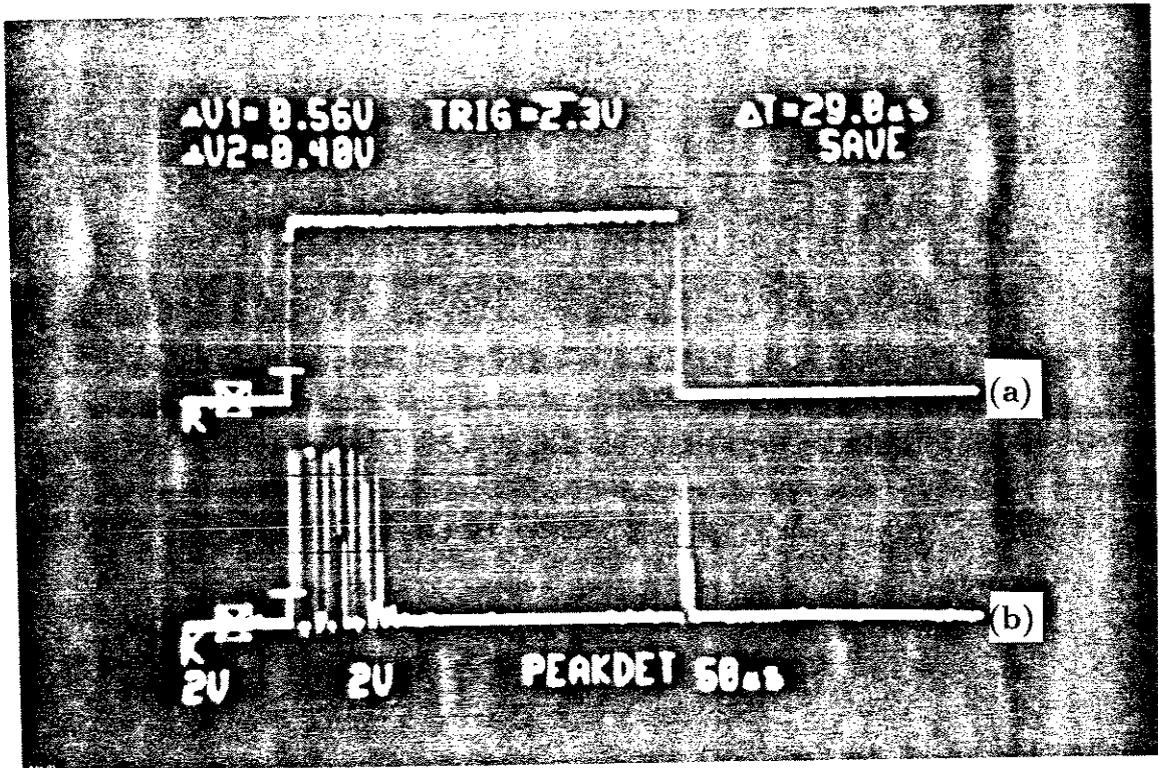


Figura 4-6: Formas de onda na saída (a) Flip-flop (b) Comparador

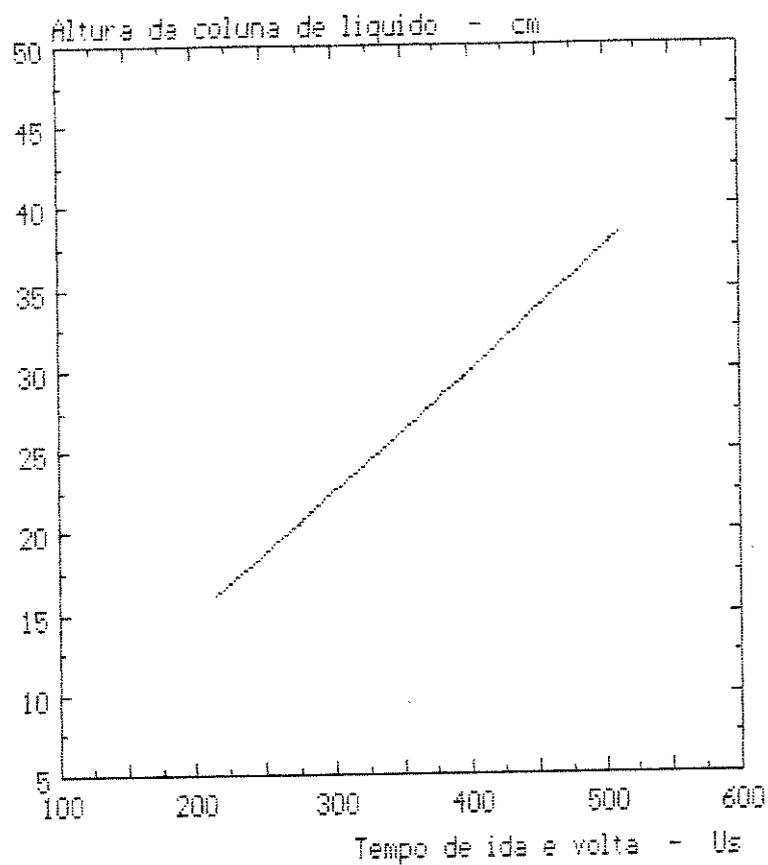


Figura 4-7: Nível de líquido

A implementação deste sistema de aquisição e tratamento permitiu extrair resultados essenciais para sua validação, embora necessite de outras fases de testes e ajustes.

Alguns detalhes de programação podem ser melhorados, tais como, interromper a aquisição de dados no meio do período, sem perder os dados do período todo, ou seja sem apagar o que já estava gravado na memória, bastando para isso inicializar a memória a partir daquele momento; ampliar a capacidade de memória RAM externa para que seja alongado o período de dias de aquisição (com passo de 5min somente 4 dias/dados podem ser armazenados), enfim, fazer a otimização do "software" de maneira geral.

Uma série de outros itens podem ser acoplados a este protótipo visando seu aperfeiçoamento, servindo também como indicação para futuros trabalhos. Um deles é a medição da radiação solar, importante como parâmetro de avaliação na evaporação do tanque classe A; a monitoração do índice pluviométrico, também é de interesse pois afeta a tomada de decisão de irrigar.

Toda experiência adquirida na sua realização foi altamente proveitosa gerando subsídios para continuidade de futuros projetos nesta mesma área de atuação. Finalmente, a importância primordial do desenvolvimento deste sistema, está na transformação de uma idéia inicial, em um protótipo de laboratório.

# Bibliografia

- [1] Hillel, D. " Applications of Soil Physics" . Academic Press, New York, 1980.
- [2] Phene, C. J. " Developments in Agriculture Engineering Trickle Irrigation for Crop Production, Operational and management ". F. S. Nakayama and D. A. Bruks Elsevier.
- [3] Phene, C. J. " Techniques for Computerized Irrigation Management ", Computers and Electronics in Agriculture, 3(18989)189-208, Elsevier Science Publishers B. V. , Amsterdan.
- [4] Hernadez, F. B. T. " Determinação do Consumo de Água na Cultura do Trigo(*Triticum aestivum L*) na Região de Jaboticabal-SP ". Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias " campus " de Jaboticabal, 1992.
- [5] Villa Nova, N. A. " Estimativa da Demanda Hídrica das Culturas ", In: Seminário sobre o Manejo da Água na Agricultura, Campinas 1987, pp. 14-26.
- [6] Jensen, M. E. et alli " Scheduling Irrigations Using Climate-Crop-Soil Date " Journal Irrigation Drain Division, American Society Civil Engineering 96(IR1):25-38, 1970.
- [7] Jensen, M. E. et alli " Estimate Soil Moisture Depletion from Climate, Crop and Soil Date " Transactions on American Society Agriculture Engineering 19(5):954-959, 1971.
- [8] Amorim Neto, M. S. " Análise Preliminar do Desempenho de um Sistema de Medidas de Evapotranspiração para o Tanque Classe A ". Dissertação de mestrado, ESALQ-USP, Piracicaba-SP, 1981.
- [9] Phene, C. J. and Howell " Soil Sensor Control of Hight-Frequency Irrigation Systems ". Transactions of the ASAE, 1984.
- [10] Nakayama, F. S. e Bruks, D. A. " Developments in Agricultural Engineering 9, Trickle Irrigation for Crop Production ", Cap. 3, pg. 188 - 215, Editora Data.
- [11] Silva Jr.,Vidal P. " Microcontrolador 8051 Hardware e Software ", 1990 Editora Érica, São Paulo - Brasil.

- [12] Intel “ MCS - 51 Archicteture Manual ”, Editora da Intel Corporation, EUA, 1982, 345 páginas.
- [13] Semiconductor National Manual, Linear Databook, 1980.
- [14] Mantovani, S. C. A. e Oki, N. e Avilez Filho, O. V. “ Sistema de Automação Aplicado à Irrigação ”, 22 Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Ilhéus Bahia - Brasil, 19/07 a 23/07/1993, pp. 2273 - 2284.

Cultura	Estágios de desenvolvimento da cultura					Período total de crescimento
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	
Feijão verde	0.3-0.4	0.65-0.75	0.95-1.05	0.9-0.95	0.85-0.95	0.85-0.9
Feijão seco	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.25-0.3	0.7-0.8
Amendoim	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.1	0.75-0.85	0.55-0.6	0.75-0.8
Milho verde	0.3-0.5	0.7-0.9	1.05-1.2	1.0-1.15	0.95-1.1	0.8-0.95
Milho grãos	0.3-0.5	0.8-0.85	1.05-1.2	0.8-0.95	0.55-0.6	0.75-0.9
Cebola seca	0.4-0.6	0.7-0.8	0.95-1.1	0.85-0.9	0.75-0.85	0.8-0.9
Cebola verde	0.4-0.6	0.6-0.75	0.95-1.05	0.95-1.05	0.95-1.05	0.65-0.8
Batata	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.2	0.85-0.95	0.7-0.75	0.75-0.9
Arroz	1.1-1.15	1.1-1.5	1.1-1.3	0.95-1.05	0.95-1.05	1.05-1.2
Tomate	0.4-0.5	0.7-0.8	1.05-1.25	0.8-0.95	0.6-0.65	0.75-0.9
Melancia	0.4-0.5	0.7-0.8	0.95-1.05	0.8-0.9	0.65-0.75	0.75-0.85
Trigo	0.3-0.4	0.7-0.8	1.05-1.2	0.65-0.75	0.2-0.25	0.8-0.9

Tabela - 2A .. : Coeficientes de Cultura ( $K_c$ ).

Primeiro número: Sob alta umid. ( $UR_{min} > 70\%$ ) e vento fraco ( $v < 5m/s$ ).

Segundo número: Sob baixa umid. ( $UR_{min} < 20\%$ ) e vento forte ( $v > 5m/s$ ).

Caracterização dos estágios: Estágio I - emergência até 10 % do Desenv. Veget. (DV)

Estágio II - 10 % do DV até 80% do DV

Estágio III - 80 % do DV até 100 % do DV

Estágio IV - maturação

Estágio V - colheita

# Apêndice B

Apresentam-se a seguir o diagrama de blocos e a pinagem do CI 80C31.

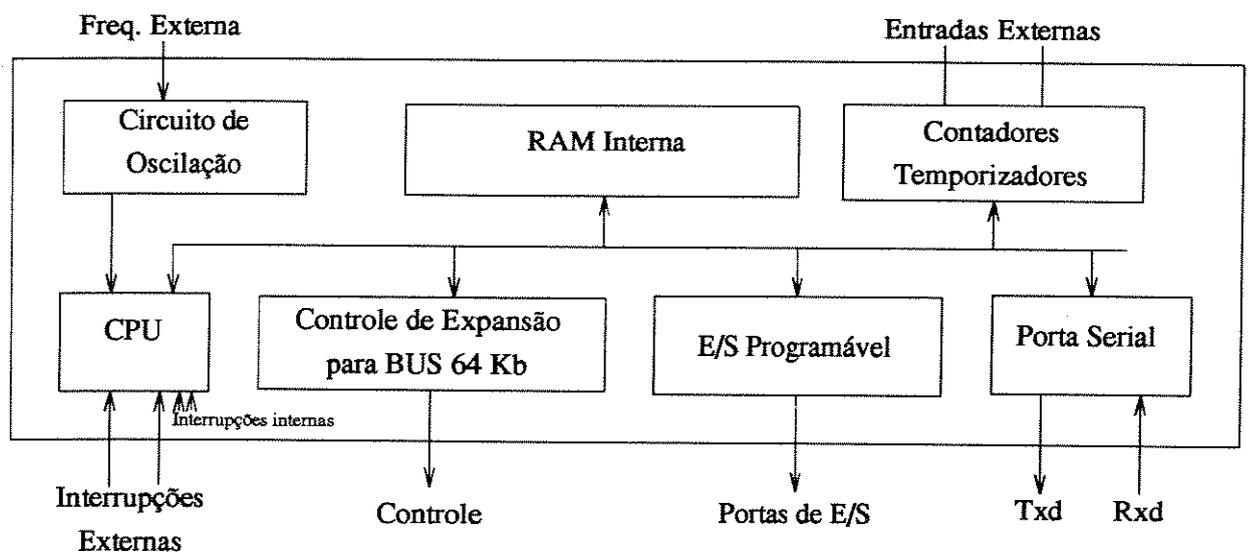


Figura - 1B: Diagrama de Blocos do 80C31.

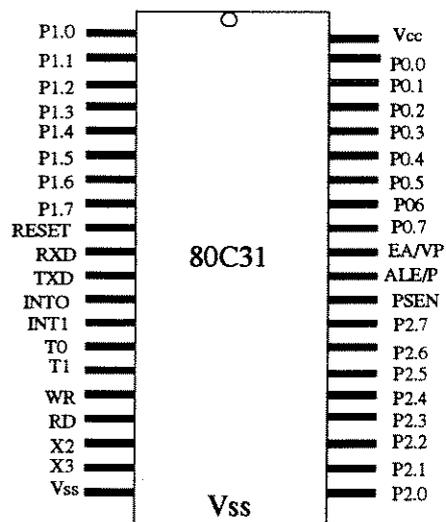


Figura - 2B: Pinagem do 80C31.

# Apêndice C

Listagem dos programas desenvolvidos:

```
*****
;Rotinas de Enderecamento
*****

                DEFSEG ZERO,START=0
                SEG      ZERO

                ORG      00H
                LJMP     200H

;endreca a ROTINA DE INTERRUPCAO

                DEFSEG  ZERO,START=0
                SEG      ZERO

                ORG      01BH
                LJMP     100H
                END

;ROTINA DE INTERRUPCAO
;ENDERECO 100H

BASE            EQU      26H
CONTA_SEG       EQU      25H
conta_min       equ      24h
                DEFSEG  ZERO,START=0
                SEG      ZERO
```

```

                ORG      0100H
                PUSH    PSW
                PUSH    ACC
                PUSH    DPL
                PUSH    DPH
                MOV     PSW,#30H
                CLR     EA
                CLR     TR1
                MOV     TH1,#00H
                MOV     TL1,#00H
                SETB    BASE,DESVIO
                MOV     BASE,#15D
                INC     CONTA_SEG
                MOV     A, CONTA_SEG
                CJNE    A,#3CH,DESVIO
                INC     CONTA_MIN
                MOV     CONTA_SEG
DESVIO          SETB    EA
                POP     DPH
                POP     DPL
                POP     ACC
                POP     PSW
                RETI
                END

```

```

;*****
;LABORATORIO DE ELETRONICA E DISPOSITIVOS-LED/FEE/UNICAMP
;Programa Monitor para o Sistema de Automacao Aplicado a
;Irrigacao - CPU 80C31
;Campinas, Marco/1993
;*****
; PROGRAMA PRINCIPAL
;*****
;Enderecos de Perifericos
;*****
CNTL_DISP      EQU      4001H          ;end. de controle - 8279
DADO_DISP      EQU      4002H          ;end. de dado - 8279
INIC_MEM       EQU      2000H          ;end. RAM - 6264
FIM_MEML       EQU      0FFH          ;end. final da RAM (baixo)
FIM_MEMLH      EQU      3FH          ;end. final da RAM (alto)
CONV           EQU      0C00H          ;end. conversor ADC0808

```

```

;*****
;enderecos de variaveis
;*****

```

```

VAR1      EQU      31H      ;conta estouro do contador
CONME_PR  EQU      2EH      ;conta memoria provisoria
CONME_PRO EQU      2FH      ;conta memoria provisoria
MEPRO     EQU      2DH
DEZENA    EQU      2CH
CENTENA   EQU      2BH
CON_AQUIH EQU      2AH      ;conta numero de aquisicoes(alto)
CON_AQUIL EQU      29H      ;conta numero de aquisicoes(baixo)
CON_VEN   EQU      28H
CANAL     EQU      27H      ;varredura dos canais do conversor
BASE      EQU      26H
CONTA_SEG EQU      25H
CONTA_MIN EQU      24H
PASSO     EQU      23H      ;guarda intervalo de aquisicao
HORA      EQU      22H
MIN       EQU      21H
SEG       EQU      20H

```

```

;*****
;   Inicializacao da Variaveis

```

```

;*****

```

```

        MOV     SP,#40H
        MOV     PSW,#10H      ;uso do banco 2
        MOV     TMOD,#19H     ;programacao dos contadores
        MOV     TCON,#50H

        MOV     CONTA_SEG,#00H
        MOV     CONTA_MIN,#00H
        MOV     BASE,#15D

```

```

;*****

```

```

;   Programacao do controlador teclado/display

```

```

;*****

```

```

        MOV     DPTR,#CNTL_DISP
        MOV     A,#00H;MODO KEYBOARD/DISP
        MOVX    @DPTR,A
        MOV     A,#3EH;INTER CLK 100KHz
        MOVX    @DPTR,A
        LCALL   APDIS
        LCALL   TEMPO

```

```

;*****

```

```

;   Atendimento aos comandos
;*****
;*****
;   Tarefas: 9,A,B, C,D,E,F
;*****

                MOV     DPTR,#MENS
                LCALL  PRINT
COMAND:        LCALL  TECLA
                SUBB   A,#04D
                SUBB   A,#05D
                JZ     TECLA_9
                DEC    A
                JZ     TECLA_A ;entra com passo
                DEC    A
                JZ     TECLA_B ;acerta o rel e processa todas as med
                DEC    A
                JZ     TECLA_C ;temperatura(conv)
                DEC    A
                JZ     TECLA_D ;nivel de liquido
                DEC    A
                JZ     TECLA_E1 ;vel. do vento
                DEC    A
                JZ     TECLA_F1 ;transmissao serial

ERRENT:        LCALL  APDIS
                MOV    DPTR,#MERR
                LCALL  PRINT
                LJMP   COMAND
TECLA_E1       LJMP   TECLA_E
TECLA_F1       LJMP   TECLA_F
TECLA_9        LCALL  APDIS
                LCALL  TRANSM
                LCALL  COMAND

;*****
;   Tecla "A" - entra com o passo de medidas
;*****
TECLA_A        LCALL  APDIS      ;pede o passo
                LCALL  TBYTE     ;entra tec o passo(2bytes)
                MOV    PASSO,A    ;guarda memoria
                LJMP   COMAND

;*****
;   Tecla "B" - entra com a hora e inicio do experimento

```

```

;*****
TECLA_B:      LCALL   APDIS
              LCALL   ACERTREL
              LCALL   TEMPO
              LCALL   TEMPO

              MOV     TH1,#00H
              MOV     TL1,#00H
              MOV     IE,#88           ;programa de inter
              MOV     IP,#08H
              SETB    TR1
              MOV     DPTR,#INIC_MEM   ; end ram ext
              LCALL   CONVERT
              LCALL   NIVL
              LCALL   VVENT
              MOV     CON_AQUIH,#00H
              MOV     CON_AQUIL,#01H
              LJMP    CONTROL_CONV

;*****
; Tecla "C" - Mede temperatura (usado para calibracao)
;*****
TECLA_C:      LCALL   APDIS
              LCALL   TEMPO
              LCALL   CONVERT
              LCALL   TEMPO
              LCALL   MFINAL
              LJMP    COMAND
MFINAL       LCALL   APDIS
              MOV     DPTR,#EOF
              LCALL   PRINT
              RET

;*****
; Tecla "D" - Mede nivel de Liquido (usado para calibracao)
;*****
TECLA_D:      LCALL   APDIS
              LCALL   NIVL
              LCALL   TEMPO
              LJMP    COMAND

;*****
; Tecla "E" - Mede Velocidade do vento (usado para calibracao)
;*****
TECLA_E:      LCALL   APDIS
              LCALL   VVENT

```

```

                LCALL    TEMPO
                LJMP     COMAND
;*****
; Mostra Bloco de Memoria RAM
;*****
TECLA_F        LCALL    APDIS
                LCALL    MOSTREM
                LJMP     COMAND
MOSTREM        MOV      DPTR,#INIC_MEM    ;end ram exter
MOSL           PUSH    DPL
                PUSH    DPH
                LCALL    APDIS
                POP     DPH
                POP     DPL
                MOV     A,DPH
                LCALL    MBYTE
                MOV     A,DPL
                LCALL    MBYTE
                LCALL    TEMPO
                MOVX   A,@DPTR
                LCALL    MBYTE
                LCALL    TEMPO

                INC     DPTR
                MOV     A,DPL
                CJNE   A,#FIM_MEML,MOSL
                MOV     A,DPH
                CJNE   A,#FIM_MEMH,MOSL
                RET

;*****
CONTROL_CONV   LACLL   APDIS
                MOV     A\c-{C}ONTA_MIN
                CJNE   A,PASSO, CONTROL_CONV
                MOV     CONTA_MIN,#00H
                CLR     C
                INC     CON_AQUIL
                JNC     RESTO
                MOV     CON_AQUIL,#00H
                INC     CON_AQUIH
RESTO          MOV     DPL, CONME_PR
                MOV     DPH, CONME_PRO
                LCALL   CONVERT
                LCALL   NIVL

```

```

                LCALL    VVENT
;verificar tecla se desejar parar conversao
                LJMP     CONTROL_CONV
ACERTRE1       LCALL    APDIS
                LCALL    TBYTE
                MOV     HORA,A      ;guarda valor hora
                LCALL    TEMPO
                LCALL    TBYTE
                MOVE    MIN,A
                LCALL    TBYTE
                MOV     MIN,A
                LCALL    TBYTE
                MOV     SEG,A
                LCALL    TEMPO
                RET
APDIS:         MOV     DPTR,#CNTL_DISP
                MOV     A,#0DFH      ;clear disp_todos 1s
                MOVX    @DPTR,A;
                MOV     A,#50H      ;atraso(no emul tem ffh)
DELAY1:        DEC     A
                CJNE   A,#00H,DELAY1
                MOV     A,#92H
                MOVX    @DPTR,A
                RET
PRINT:         PUSH    DPL      ;end mensagem
                PUSH    DPH
                MOV     DPTR,#CNTL_DISP
                MOV     A,#92H
                MOVX    @DPTR,A
                POP     DPH
                POP     DPL
                CLR     A
                MOV     R1,A
PRINT1:        MOV     A,@A+DPTR
                CJNE   A,#OFFH,MENS1
                RET
MENS1:        MOV     R2,A
;
;
                PUSH    DPL
                PUSH    DPH
                CALL    CO
                INC     R1
                MOV     A,R1
;
                POP     DPH

```

```

;          POP      DPL
          LJMP     PRINT1

CO:        PUSH     DPL
          PUSH     DPH
          MOV      DPTR,#CNTL_DISP
          MOVX     A,@DPTR
          ANL      A,#80H
          JNZ      CO
          MOV      A,R2
          MOV      DPTR,#DADO_DISP
          MOVX     @DPTR,A
          POP      DPH
          POP      DPL
          LCALL    TEMPO
          RET

TBYTE:     LCALL    TECLA
          CJNE     A,#10H,NIGL

NIGL:      JNC      ERR
          LCALL    CONDIS
          MOV      R2,A
          MOV      A,R1
          SWAP     A
          MOV      B,A
          LCALL    CO
;          PUSH     DPL
;          PUSH     DPH
          LCALL    TECLA
          CJNE     A,#10H,NIGL1

NIGL1:     JNC      ERR
          LCALL    CONDIS
          MOV      R2,A
          CLR      C
          MOV      A,B
          ADDC     A,R1
;          POP      DPH
;          POP      DPL
          PUSH     ACC
          LCALL    CO
          POP      ACC
          RET

ERR:       SETB    C

```

```

TECLA:      LJMP      TBYTE
            PUSH     DPL      ;end cntl_disp
            PUSH     DPH
            LCALL    CI
            MOV      R2,A
            MOV      DPTR,#TABTEC
            CLR      A
TECLA1:     MOV      R1,A
            MOVC     A,@A+DPTR
            XRL      A,R2
            JNZ      DIF
            MOV      A,R1
            POP      DPH
            POP      DPL
            RET
DIF:        MOV      A,R1;
            INC      A
            LJMP     TECLA1
CI:         MOV      DPTR,#CNTL_DISP      ;estado de fifo
            MOVX     A,@DPTR
            ANL      A,#07H
            JZ       CI
            MOV      A,#40H      ;fifo/sensor RAM
            MOVX     @DPTR,A
            MOV      DPTR,#DADO_DISP      ;DADO DA FIFO
            MOVX     A,@DPTR
            RET

CONDIS:
            PUSH     DPL
            PUSH     DPH
            MOV      R1,A
            MOV      DPTR,#TABDIS;
            MOVC     A,@A+DPTR
            POP      DPH
            POP      DPL
            RET
;*****
;preenche bloco de memoria
;*****
PREBL_PR    MOVX     @DPTR,A
            INC      DPTR
            MOVE     CONME_PR,DPL

```

```

MOV     CONME_PRO,DPH
MOV     A,DPL
CJNE   A,FIM_MEM1,VAZIA
MOV     A,DPH
CJNE   A,FIM_MEMH,VAZIA
MOV     DPTR,#INIC_MEM
VAZIA  RET
convert
prcanal
CLR     A
PUSH   DPL
PUSH   DPH
MOV     DPTR,#CONV
;      MOV     A,#02H
MOVX   @DPTR,A      ; seleciona canal
INC     A
MOV     CANAL,A
MOV     B,#75D
ATRA10 DJNZ   B,ATRA10
MOVX   A,@DPTR
PUSH   ACC
LCALL  APDIS
POP     ACC
PUSH   ACC
;      LCALL  BINBCD
LCALL  MBYTE
LCALL  TEMPO
POP     ACC
POP     DPH
POP     DPL
LCALL  PREBL_PR
MOV     A\c{C}ANAL
CJNE   A,#02H,PRCANAL
RET

BINBCD MOV     B,#100D
DIV     AB
MOV     CENTENA,A
LCALL  MBYTE
MOV     A,#10D
XCH    A,B
DIV     AB
SWAP   A
ADD    A,B

```

```

MOV     DEZENA,A
LCALL  MBYTE
RET
;BINBCD MOV     B,#FF
;      MOV     MEPRO,A
;      MUL     AB
;      ADD     A,MEPRO
;      JC      CARRY
;      ADD     B\c{C}ENTENA
;      MOV     A\c{C}ENTENA
;      LCALL  MBYTE
;      LCALL  TEMPO
;      MOV     A,#10D
;      XCH    A,B
;      DIV    AB
;      SWAP   A
;      ADD    A,B
;      MOV    DEZENA,A
;      LCALL  MBYTE
;      LCALL  TEMPO
;      RET
MBYTE:  PUSH    ACC
        ANL    A,#0FOH
        SWAP   A
        LCALL  CONDIS
        MOV    R2,A
        LCALL  CO
        LCALL  TEMPO
        POP    ACC
        ANL    A,#0FH
        LCALL  CONDIS
        MOV    R2,A
        LCALL  CO
        MOV    R4,#100D
ATRAD   LCALL  TEMPO
        DJNZ   R4,ATRAD
        RET
;
;      ORG    0100H
TAB DIS DB 0CH,9FH,4AH,0BH,99H
        DB 29H,28H,8FH,08H,89H
        DB 88H,38H,6CH,1AH,68H

```

```

                DB 0E8H,00H,00H,00H,00H

TEMPO:         MOV R3,#50D      ; temporizador 25,5 miliseg
DEL2:         MOV R7,#0FFH
DEL1:         DJNZ R7,DEL1
                DEC R3
                CJNE R3,#00,DEL2
                RET

MENS          DB 08H,0CH,0BH,9FH,0FBH
                DB 6CH,-1
TABTEC       DB 0EBH,0EAH,0E9H,0E8H
                DB 0E3H,0E2H,0E1H,0EOH
                DB 0DBH,0DAH,0D9H,0D8H
                DB 0D3H,0D2H,0D1H,0DOH
MERR         DB 68H,0FAH,0FAH,3AH,-1
POW_DOWN     DB 0C8H,1AH,-1

                DB 38H,-1
MENVENT      DB 68H,-1
TRSERIE     DB 0E8H,-1
EOF         DB 68H,0CH,0E8H,-1
MCHEIA      DB 0FAH,88H,0BAH,7AH,-1
;*****
; Trata o sinal do sensor de nivel de liquido - Mede o periodo
; do sinal
;*****
NIVL
                PUSH    PSW
                MOV     PSW,#00H      ;sel. banco de mem 0
                MOV     PCON,#00H
                CLR     P1.5
                SETB    P1.5
                CLR     P1.1
                MOV     R6,#01D      ;numero de medidas
VOLT1:       MOV     TH0,#00H
                MOV     TLO,#00H
                SETB    TRO
                SETB    P1.1
;gerando o pulso de 1 Ms
                NOP
                CLR    A
                SETB    P1.0

```

```

CLR      P1.0
LCALL   DE12M      ;espera 2 ms para aquisicao
CLR     TRO
CLR     P1.1
LCALL   APDIS
CLR     A
MOV     A,TLO
PUSH    ACC
LCALL   MBYTE
LCALL   TEMPO
MOV     DPL\c{C}ONME_PR
MOV     DPH\c{C}ONME_PRO
POP     ACC
LCALL   PREBL_PR
MOV     A,TH0
PUSH    ACC
PUSH    DPL
PUSH    DPH
LCALL   MBYTE
LCALL   TEMPO
POP     DPH
POP     DPL
POP     ACC
LCALL   PREBL_PR
LCALL   APDIS
DJNZ    R6,VOLT1
POP     PSW
CLR     P1.5
RET

;*****
;programa de transmissao de dados contidos na RAM
;*****
;programacao do timer
TRANSM   MOV     IE,#00H
;        MOV     PCON,#80H
;        MOV     SCON,#42H
;        MOV     TMOD,#29H ;programacao para o timer 1 e 0
;        MOV     TH1,#0F3H
;        SETB    TR1      ;contagem feita pelo contador 1
;        LCALL   DADOS
;        MOV     DPTR,#INIC_MEM ;end RAM exter
COMP    MOVX    A,@DPTR
;        LCALL   TRANSM1

```

```

        MOV     A,DPL
        CJNE   A,#0FFH, COMP
        MOVX   A,@DPTR
        LCALL  TRANSM1
        MOV    A,DPH
        CJNE   A,#3FH, COMP
        RET

DADOS      MOV     A,PASSO
           LCALL  TRANSM1
           MOV    A,HORA
           LCALL  TRANSM1
           MOV    A,MIN
           LCALL  TRANSM1
           MOV    A,SEG
           LCALL  TRANSM1
           MOV    A, CON_AQUIH
           LCALL  TRANSM1
           MOV    A, CON_AQUIL
           LCALL  TRANSM1
           RET

TRANSM1:   JNB    TI,$
           CLR    TI
           MOV    SBUF,A
           MOV    R4,#10D    ;subr de tempo 10 ms
DELY1     LCALL  DE12M
           DJNZ  R4,DELY1
           INC   DPTR
           RET

DE12M:    MOV    R3,#04D
DE14      MOV    R7,#0FFH
DE13      DJNZ  R7,DE13
           DEC   R3
           CJNE  R3,#00H,DEL14
           RET

;*****
; Trata o sinal do sensor do transdutor velocidade do vento -
; mede periodo do sinal
;*****
VVENT     PUSH   TMOD
           PUSH   PSW
           SETB   P1.5
           MOV    PSW,#18H

```

```
MOV     VAR1,00H
MOV     CONTA_VEN,#01H    ;mostra 1 valor
INICIA  MOV     TH0,#00H
MOV     T10,#00H
SETB    P1.2
SETB    P1.2
SETB    TRO
CLR     P1.2
MOV     R4,#15D
TEMP1S  LCALL   TEMPO
JB      TFO,OVERF
CONTINU DJNZ   R4,TEMP1S
CLR     TRO
LCALL   APDIS
MOV     A,T10
PUSH    ACC
LCALL   MBYTE
LCALL   TEMPO
MOV     DPL, CONME_PR
MOV     DPH, CONME-PRO
POP     ACC
LCALL   PREBL_PR
CLR     A
MOV     A,TH0
PUSH    ACC
PUSH    DPL
PUSH    DPH
LCALL   MBYTE
LCALL   TEMPO
POP     DPH
POP     DPL
POP     ACC
LCALL   PREBL_PR
;
LCALL   APDIS
MOV     A,VAR1
PUSH    ACC
PUSH    DPL
PUSH    DPH
LCALL   MBYTE
LCALL   TEMPO
POP     DPH
POP     DPL
POP     ACC
```

```

                LCALL  PREBL_PR
                LCALL  APDIS
;               PUSH   DPH
;               PUSH   DPL
                DJNZ   CONTA_VEN, INICIA
                POP    PSW
                POP    TMOD
                CLR    P1.5
                RET
OVERF          CLR    TF0
                MOV    TH0,#00H
                MOV    TL0,#00H
                CLR    A
                MOV    A,VAR1
                INC    A
                MOV    VAR1,A
                JMP    CONTINU
                END

```

Programação em linguagem C que consta:

- Rotina de transmissão - DATACOM.C
- Rotina de manipulação - MANIPULA.C
- Rotinas de cálculos:
  - VENTO.C
  - LIQUIDO.C
  - UMIDADE.C

#### DATACOM.C

```

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>

#define DATA_REG  0x3F8
#define L_STATUS  0X3FD
int i;
main()
{

```

```

int dado,vetor_dados[8000],fim_dados;
FILE *out_file;

for(i=0;i<8000;i++) vetor_dados[i]=1;
clrscr();fim_dados=8000;
printf("\nPRONTO PARA RECEBER DADOS - Dispare a transmissao\n")
if((out_file=fopen("coleta.dat","wt"))==NULL)
{
    printf("Problemas na criacao de arquivos\n");
    exit(0);
}

/*inicializa serial */

    outportb(0x3fb,0x83); /* 8 bits, 1 bit de stop e sem paridade */
    outportb(0x3f8,0x30); /* 0x30 -->2400 bauds 0x18 --> 4800 */
    outportb(0x3fb,0x03);
/* preenche vetor de dados atraves de recepcao pela RS-232 */
i=0;dado=0;recebe_dado232();fim_dados=2500;
while(i<6)
{
    dado=recebe_dado232();
    if(dado!=-2) vetor_dados[i++]=dado;
    if(Kbhit()) {i=6;printf("\nSISTEMA NAO RESPONDE -
Pri.parada");exit(1);}
}
/*fim_dados=vetor_dados[4]*0xFF00 + vetor_dados[5];
printf("fim de dados real = %d\n",fim_dados); */
/*fim_dados*10;*/
/* printf("fim_de_dados = %d\n",fim_dados);*/
while(i<fim_dados+6)
{
    dado=recebe_dado232();
    if(dado!=-2) {vetor_dados[i++]=dado;}
    if(kbhit()) {i=fim_dados;printf("\nSISTEMA NAO RESPONDE -
Seg. Parada %d",dado);exit(1);}
}
/* salva dados no arquivo especificado */
i=0;
printf("\n\nSalvando Arquivo de Dados\n");
while(i<fim_dados+6) fprintf(out_file,"%4x\n",vetor_dados[i++]);
fprintf(out_file,"%d",-11);
printf("\nPRONTO! AQUISICAO REALIZADA E DADOS GRAVADOS NO

```

```

    ARQUIVO coleta.DAT\n");
}

recebe_dado232() /*recebe dado pela RS-232 */
{
    unsigned char p;

    p=inportb(0x3fd);
    while((p & 0x01)==0) return(-2); /*sistema nao responde*/
    return(inportb(DATA_REG)); /*retorna dado lido */
}

```

## MANIPULA.C

```

#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<dos.h>

main()
{
    int i,x,y,dado\c{c}onverte[8],fim;
    float t1[600],t2[600],niv[600],vent[600];
    short int vetor_dados[4000];
    FILE *inp_file,*arq_saida[4];
    char dado_arquivo[10]="";
    clrscr();dado=11;
    if((inp_file=fopen("coleta.dat","r"))==NULL ||
        (arq_saida[0]=fopen("temp1.dat","r","w+"))==NULL ||
        (arq_saida[1]=fopen("temp2.dat","w+"))==NULL ||
        (arq_saida[2]=fopen("liquido.dat","w+"))==NULL ||
        (arq_saida[3]=fopen("vento.dat","w+"))==NULL )
    {
        printf("Problemas na criacao de arquivos\n");
        exit(0);
    }
    i=0;x=11;
    printf("\n\nLendo Arquivo de Dados Geral *** Aguarde manipulacao\n");
    while(dado!=EOF & x!=-11)
    {
        fscanf(inp_file,"%8s",dado_arquivo);

```

```

        sscanf(dado_arquivo,"%4x",&dado);
        x=atoi(dado_arquivo);
        vetor_dados[i++]=dado;
    }
    fim=vetor_dados[4]*0xff00+vetor_dados[5];fclose(inp_file);
    i=6;x=0;
    while(i<fim*6)
    {

        t1[x]=vetor_dados[i];
        t2[x]=vetor_dados[i+1];
        niv[x]=vetor_dados[i+2]*1.0+vetor_dados[i+3]*256.0;
        vent[x]=vetor_dados[i+4]*1.0+vetor_dados[i+5]*256.0+
        vetor_dados[i+6]*65536.0;
        i=i+7;x=x+1;
    }

    for(i=0;i<fim-1;i++)
    {
        fprintf(arq_saida[0],"%f\n",((t1[i]*1.0/256.0+2.73)*100.0)-273.15);
        fprintf(arq_saida[1],"%f\n",((t2[i]*1.0/256.0+2.73)*100.0)-273.15);
        fprintf(arq_saida[3],"%f\n",vent[i]);
    }

    for(i=0;i<4;i++) fclose(arq_saida[i]);

    /* converte[0]=vetor_dados[i+2]+vetor_dados[i+3]*256;
    converte[1]=vetor_dados[i+4]+vetor_dados[i+5]*256;
    converte[2]=vetor_dados[i+6]+vetor_dados[i+7]*256;
    converte[3]=vetor_dados[i+8]+vetor_dados[i+9]*256;
    niv[x]=(converte[0]+converte[1]+converte[2]+converte[3])/4;*/

}

```

#### ROTINA DE CALCULO DE VELOCIDADE DO VENTO

```

#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
main()
{

```

```

FILE *fp_saida,*fp_entrada;
/*
    vt      : Velocidade do vento (m/s)
    f       : Frequencia de oscilacao (Hz)
    soma_v  : Somatoria de vt
*/
float vetor_t[600], vetor_f[600], vetor_vt[600], soma_v = 0 ;
char dado[20];
int i = 0, j = 0;
float k2 = 0.294;

if((fp_saida = fopen("vento.out","W+")) == NULL
{
    printf("ERRO NA ABERTURA DE ARQUIVO DE SAIDA\n");
    exit(1);
}
if((fp_entrada = fopen("vento.dat","r+")) == NULL)
{
    printf("ERRO NA ABERTURA DO ARQUIVO DE ENTRADA\n");
    exit(1);
}

/* Le o arquivo de entrada fazendo o tratamento matematico */

while(fscanf(fp_entrada,"%s",dado)!=EOF
{
    vetor_t[i] = atof(dado);
    vetor_t[i] = 1E6/vetor_t[i];
    vetor_vt[i]= k2 * vetor_f[i];
    soma_v = soma_v + vetor_vt[i];
    i++;
    j++; /* conta o numero de elementos dos vetores */
}

/* Definir a estrutura do arquivo de saida

fprintf(fp_saida,"%s%e\n","Somatoria da velocidade do
                                                vento=",soma_v);

fprintf(fp_saida,"\n");

fprintf(fp_saida,"%s\n","Frequencia          Veloc. Vento");
fprintf(fp_saida,"\n");

```

```

    i = 0;
    while ( i < j )
    {
        fprintf(fp_saida,"%f%s%f\n",vetor_f[i]," ",vetor_vt[i]);
        i++;
    }

    fclose(fp_saida);
    fclose(fp_entrada);

}
/*

```

ROTINA PARA CALCULO DA UMIDADE RELATIVA

```

*/

```

```

#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>

```

```

main()
{
    FILE *fp_saida, *fp_entrada1, *fp_entrada2

```

```

/*

```

```

pressao      : Pressao atmosferica (mmHg)
vetor_t      : Temperatura do ar (termometro de Bulbo Seco)
vetor_tu     : temperatura do ar (termometro de bulbo Umido)
vetor_D      : Depressao Psicometrica
UR           : Umidade Relativa (%)
A           : Constante Psicometrica

```

```

*/

```

```

int  pressao=720, i, k , j;

```

```
float vetor_t[500],vetor_tu[500],vetor_D[500];
char dado[20];

double A=8E-4, Kpa, P01, x, Esu, Es, UR, E;

i=0;

if((fp_saida=fopen("{u}idade.out","w+")) == NULL)
{
    printf("ERRO NA ABERTURA DE ARQUIVO \n");
    exit(1);
}

if((fp_entrada1=fopen("temp1.dat","r+")) == NULL ::
    (fp_entrada2=fopen("temp2.dat","r+")) == NULL)
{
    printf("ERRO NA ABERTURA DE ARQUIVO \n");
    exit(1)
}

j = 0;

while(fscanf(fp_entrada1,"%s",dado)!=EOF)
{
    vetor_t[i] = atof(dado);
    fscanf(fp_entrada2,"%s",dado);
    vetor_tu[i]=atof(dado)
    i++;
    j++;
}

/* fim=i-1; */

Kpa=A*pressao;

/*   for (i=0;i<fim;i++) */
for (i=0;i<j;i++)
{
    vetor_D[i]=vetor_t[i]-vetor_tu[i];
    x=vetor_tu[i];
```

```
    P01=5*pow(10.0,-4.0)*pow(x,3.0)+9*pow(10.0,-4.0)*pow(x,2.0)
+0.4366*x+4.3565;
    Esu=P01;
    E=Esu-(Kpa*vetor_D[i];
    P01=5*pow(10.0,-4.0)*pow(x,3.0)+9*pow(10.0,-4.0)*pow(x,2.0)
+0.4366*x+4.3565;
    Es=P01
    UR=(E/Es)*100;

/* definir a estrutura do arquivo de saida */

/*      fprintf(fp,"%d%c%d\n",UR,"",Es);      */
    printf("%d%c%d\n",UR,"",Es);
    fprintf(fp_saida,"%f\n",UR);

}

fclose(fp_saida);
```