

01

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA E INFORMÁTICA**

**“MONITOR MICROPROCESSADO PARA MEDIÇÃO DE VARIÁVEIS
HIDROLÓGICAS”**

MARCELO MARQUES SIMÕES DE SOUZA

Dissertação apresentada ao Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Mestre em Ciências “Física Aplicada-Opção: Física Computacional

Orientador: Prof. Dr. Valentin Obac Roda

São Carlos – São Paulo
2000

en

USP/IFSC/SBI



8-2-001338

IFSC-USP SERVIÇO DE BIBLIOTECA
INFORMAÇÃO

Souza, Marcelo Marques Simões de

"Monitor Microprocessado para Medição de variáveis hidrológicas" / Marcelo Marques Simões de Souza – São Carlos, 2000

Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2000
– páginas: 98

Área: Física Aplicada-Opção: Física Computacional
Prof. Dr. Valentin Obac Roda

1. Instrumentação, 2. Microprocessador, 3. Limnology

I. Título



**MEMBROS DA COMISSÃO JULGADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE
MARCELO MARQUES SIMÕES DE SOUZA APRESENTADA AO INSTITUTO DE FÍSICA DE
SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, EM 28 DE JULHO DE 2000**

COMISSÃO JULGADORA:

Prof. Dr. Valentin Obac Roda/EESC-SEL-USP

Prof. Dr. José Hiroki Saito/UFSCar-DC

Prof. Dr. Alberto Cliquet Júnior/EESC-SEL-USP

E mail: wladerez@if.sc.usp.br

Dedicatória

"A todos aqueles que, não só para deleite de seus orientadores ou para obtenção de um título, trabalharam efetivamente, com persistência e competência, nos projetos de pesquisa deste país. O mérito é todo de vocês ..."

Agradecimentos

- Ao prof. Valentin Obac Roda e ao IFSC pela oportunidade de realizar este trabalho.
- À CAPES pelo apoio financeiro.
- Ao CNPPai e CNPMãe, não só pelo apoio financeiro, mas também pela força, carinho, consideração e muita paciência nos momentos de dificuldade. Seu filho sempre agradece de coração ...
- Aos colegas de laboratório que ainda estão por aí (Max, Leo, Pott, Peçanha, Marquinho, Isaura e IA) e os que já se foram pelos momentos de convivência e ajuda.
- À amiga e namorada Isaura pelo companheirismo, dedicação e muita muita paciência. Tenho você no meu coração ...
- Ao pessoal do laboratório de biofísica (Humberto e Bianca) pelo apoio no preparo de soluções de testes e outras cositas mais ...
- Aos técnicos do GII (Ailton, Ivani, Lirio e Benê) pelos bons momentos de convivência e a boa vontade em ajudar.
- À Wladerez pela atenção e consideração que têm com cada um de nós da pós-graduação.

Sumário

LISTA DE FIGURAS.....	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
INTRODUÇÃO	1
FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA	5
1.1 INTRODUÇÃO	5
1.2 TRANSDUTORES DE ENTRADA	5
1.3 MODIFICADORES DE SINAL	8
INVESTIGAÇÃO DA SONDA DE MEDIDAS	10
2.1 INTRODUÇÃO	10
2.2 ARQUITETURA E QUESTÕES FUNCIONAIS.....	11
2.3 MEDIDOR DE TEMPERATURA	12
2.3.1 <i>Caracterização do instrumento</i>	12
2.3.2 <i>Obtenção da grandeza temperatura</i>	13
2.4 MEDIDOR DE PH	15
2.4.1 <i>Caracterização do instrumento</i>	15
2.4.2 <i>Obtenção da grandeza pH</i>	17
2.5 MEDIDOR DE CONDUTIVIDADE	19
2.5.1 <i>A grandeza física condutividade</i>	19
2.5.2 <i>Caracterização do instrumento</i>	21
2.5.3 <i>Obtenção da grandeza condutividade</i>	22
2.6 MEDIDOR DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	25
2.6.1 <i>Caracterização do instrumento</i>	25
2.6.2 <i>Obtenção da grandeza oxigênio dissolvido</i>	26
2.7 MEDIDOR DE TURBIDEZ.....	29
2.8 MEDIDOR DE PROFUNDIDADE.....	31
2.9 CONCLUSÃO	32
UNIDADE MICROPROCESSADA DE AQUISIÇÃO DE MEDIDAS (UMAM).....	33
3.1 INTRODUÇÃO	33
3.2 ESTRUTURA FÍSICA DO EQUIPAMENTO	34
3.2.1 <i>“Real Time Clock”</i>	36
3.2.2 <i>Mostrador LCD e Teclado</i>	38
3.2.3 <i>Portos de Comunicação Serial</i>	38
3.2.4 <i>Memória RAM</i>	38
3.2.5 <i>Memória de Programa</i>	39
3.3 ESTRUTURA LÓGICA DA UMAM	39
3.3.1 <i>A Estrutura Lógica do Programa Principal</i>	40
3.3.2 <i>Aquisição, Processamento e Armazenamento das medidas</i>	42
3.3.3 <i>Calibração dos instrumentos</i>	45
3.4 ASPECTOS OPERACIONAIS DO EQUIPAMENTO.....	47
3.5 CONCLUSÃO	49

UNIDADE DE ARMAZENAMENTO (UA)	50
4.1 O MEIO DE ARMAZENAMENTO - PC CARD ("PERSONAL COMPUTER CARD").....	50
4.2 ASPECTOS CONSTRUTIVOS DA UNIDADE	52
4.3 ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO DE MEMÓRIA DO PC CARD	53
4.4 ASPECTOS DA LÓGICA DE OPERAÇÃO DA UNIDADE	54
4.4.1 <i>O processo de escrita de dados em mais detalhes</i>	57
4.4.2 <i>O processo de leituras de dados em mais detalhes</i>	57
4.5 O PROGRAMA PARA ORGANIZAÇÃO E MANIPULAÇÃO DOS DADOS (GETIT)	58
4.6 CONCLUSÃO	60
CAPÍTULO 5	61
PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS E DE VALIDAÇÃO DO SISTEMA	61
5.1 INTRODUÇÃO	61
5.2 METODOLOGIA DOS ENSAIOS	61
5.3 RESULTADOS	63
CAPÍTULO 6	68
CONCLUSÕES	68
6.1 INTRODUÇÃO	68
6.2 LIMITAÇÕES ENCONTRADAS NA Sonda DE MEDIDAS	68
6.3 QUESTÕES RELATIVAS AO DESENVOLVIMENTO DA UMAM.....	69
6.4 MELHORIAS PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	70
BIBLIOGRAFIA	71
APÊNDICES	73
APÊNDICE A - FOTOS.....	73
<i>Fotografia 1 : O processo de coleta de medidas</i>	73
<i>Fotografia 2 : Detalhamento da sonda de medidas e do computador "Notebook"</i>	74
<i>Fotografia 3 : O primeiro protótipo do Monitor Microprocessado</i>	75
APÊNDICE B - ESQUEMÁTICOS DOS CIRCUITOS DOS EQUIPAMENTOS	76
APÊNDICE C – CÓDIGO FONTE DAS ROTINAS DE PROCESSAMENTO	81
APÊNDICE D – PROGRAMA DE OPERAÇÃO DA UA	89
APÊNDICE E – MANUAL DE OPERAÇÃO DO PROGRAMA GETIT	97

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Diagrama de blocos que ilustra a arquitetura da sonda para medida das propriedades físico-químicas da água.	12
Figura 2.2 - Interpolação linear dos pontos utilizados na obtenção da resposta do instrumento medidor de temperatura da sonda.	14
Figura 2.3 - Características construtivas do sensor de eletrodo combinado de <i>pH</i> utilizado no instrumento medidor de <i>pH</i> da sonda.....	15
Figura 2.4 - Visualização gráfica do procedimento utilizado na obtenção da equação da reta utilizada no cálculo da medida de <i>pH</i>	17
Figura 2.5 - Experimento eletroquímico para o estudo da condutividade de soluções aquosas iônicas.....	20
Figura 2.6 – Característica Tensão x Condutância do instrumento medidor de condutividade da sonda, para as escalas: (a) x1; (b) x10; (c) x100.....	23
Figura 2.7 – Representação gráfica da reta que possibilita a determinação da medida de porcentagem de oxigênio dissolvido em função da leitura obtida do instrumento medidor da sonda.	27
Figura 2.8 – Ábaco utilizado na obtenção da quantidade de oxigênio dissolvido numa amostra de água em <i>mg/l</i> a partir da saturação de oxigênio e da temperatura.	28
Figura 2.9 - Arranjo utilizado como sensor para medida de turbidez na sonda.	30
Figura 3.1 - Diagrama em blocos com a representação genérica dos módulos que constituem a UMAM	35
Figura 3.2 – Esquema em diagrama de blocos da estrutura interna do circuito integrado DS 1287 desenvolvido pela Dallas Semiconductors [®]	37
Figura 3.3 – Representação na forma de diagrama do programa principal que permite a operação global do equipamento.....	41
Figura 3.4 - Módulos de código e estruturas de dados envolvidas na execução das tarefas de aquisição de dados da sonda, processamento destes dados para obtenção das medidas físico-químicas e armazenamento destas medidas obtidas.....	43
Figura 3.5 – Formato do pacote de dados recebido da sonda de medidas (leituras da sonda de medidas) durante o procedimento de aquisição..	44
Figura 3.6 – Fluxograma que representa o método utilizado na aquisição de leituras da sonda para a calibração dos instrumentos medidores.....	46

Figura 3.7 - Aspecto do painel frontal da UMAM , onde observa-se o teclado e o mostrador de cristal líquido. Através destes, o usuário interage com o equipamento e visualiza as medidas físico-químicas.....	47
Figura 4.1 - Cartões de memória do tipo SRAM e FLASH.	51
Figura 4.2 - Diagrama em blocos da UA , que serve como ponte entre um Computador Hospedeiro e um <i>PC CARD</i>	52
Figura 4.3 – Organização do espaço de memória do <i>PC CARD</i> que a UA utiliza para o acesso e o gerenciamento de informações.....	53
Figura 4.4 – Diagrama de fluxo que apresenta a lógica de operação da unidade de armazenamento de dados desenvolvida.	55
Figura 4.5 - Representação do programa GETIT em diagrama de blocos.	59
Figura 5.1 – Esquema mostrando a interligação entre os módulos de equipamento que compõem o sistema medidor para a realização dos ensaios de laboratório.	62
Figura 5.2 – Relatório de medidas obtido nos ensaios realizados com o sistema medidor em uma amostra de água captada na torneira do laboratório.	64
Figura 5.3 – Relatório obtido do sistema medidor para a mesma amostra analisada anteriormente com a adição de bissulfito de sódio.	65
Figura 5.4 – Gráfico que apresenta a dinâmica da medida da quantidade de oxigênio dissolvido da solução sob análise versus o tempo, com a adição de bissulfito de sódio a amostra.....	66
Figura 5.5 - Gráfico que apresenta a dinâmica da medida da condutância da solução sob análise versus o tempo com a adição de bissulfito de sódio a amostra.....	67

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de dois equipamentos orientados a microprocessador para aquisição e armazenamento automatizado de variáveis físico-químicas da água. Os equipamentos desenvolvidos operam conjuntamente com uma sonda de medidas que fornece dados relativos às variáveis medidas de temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez e profundidade. Outro estudante de mestrado Ronaldo Bruno desenvolveu a sonda de medidas em trabalho anterior. O primeiro equipamento desenvolvido neste trabalho, denominado **UMAM**, é uma unidade de visualização; este coleta dados da sonda e realiza o processamento destes para mostrar as medidas de uma maneira apropriada. Este equipamento também permite a realização de algumas calibrações de suas leituras. O segundo equipamento, denominado **UA**, opera conectado à **UMAM**, armazenando as variáveis medidas em um dispositivo de memória de cartão removível (*PC CARD*). A **UA**, também permite transferir os valores armazenados a um computador pessoal para manipulação destes dados e a produção de relatórios. Ambos os equipamentos desenvolvidos utilizam microcontroladores da família MCS-51. Estes microcontroladores são responsáveis pelas tarefas de processamento dos dados e controle dos processos. Os equipamentos foram avaliados qualitativamente e quantitativamente em laboratório, utilizando-se de amostras de água com características físico e químicas bem conhecidas, demonstrando um bom desempenho e adequação para utilização em campo.

Abstract

This work presents the development of two microprocessor-based equipment for automatic data acquisition and storage of water physical and chemical variables. The developed equipment works together with a measuring probe which supplies data related to the measured variables, namely temperature, pH, dissolved oxygen, conductivity, turbidity and depth. Another MSc student Ronald Bruno in his mastering work previously developed the measuring probe. The first equipment developed, called **UMAM**, is a visualization unit; it collects the data from the probe and performs the processing to show the data in an appropriate manner, it allows also performing some calibrations. The second equipment, called **UA**, operated connected to the **UMAM**, storing the measured variables in to a removable card memory device (PC CARD). The **UA**, allows also to transfer the stored values to a personal computer for data manipulation and to produce reports. Both developed equipment used microcontrollers of the MCS-51 family. The microcontrollers are responsible for data processing and process control tasks. The equipments have been evaluated qualitatively and quantitatively in the lab using water samples of well-known physical and chemical characteristics, demonstrating to have good performance and to be adequate for use in the field.

Introdução

A água é um elemento de fundamental importância para a manutenção da vida em nosso planeta. A humanidade sempre fez uso deste recurso através da sua captação em rios, represas, lagoas e lençóis subterrâneos.

Com o desenvolvimento tecnológico e o crescimento da população mundial, o risco da degradação dos recursos hídricos existentes têm aumentado. Assim, os custos para a captação e o tratamento da água, tornando-a potável e disponível às populações, vêm aumentando, trazendo riscos de racionamentos e até de indisponibilidade deste recurso a longo prazo.

A pressão de grupos ambientalistas têm levado governos a adotarem políticas que visam monitorar e policiar os recursos existentes a fim de garantir a manutenção e a utilização racional dos mesmos. Desta forma, fica possível atuar sobre os agentes que causam impacto em determinado recurso a fim de garantir sua manutenção.

O monitoramento de um dado recurso hídrico é realizado através da avaliação da sua qualidade. Esta avaliação de qualidade é realizada a partir da análise de determinados parâmetros; parâmetros estes que são obtidos em coletas de medidas realizadas sobre o recurso em questão. Tais parâmetros medidos, são classificados de acordo com a sua natureza como sendo físico-químicos ou biológicos.

A iniciativa para o desenvolvimento de um instrumento que permita a obtenção de medidas de alguns parâmetros físico-químicos surgiu do trabalho realizado por Ronaldo Bruno (**BRUNO**, 1997). Este desenvolveu e construiu uma sonda que, quando inserida em um determinado corpo de água, envia a um microcomputador IBM-PC informações relativas às medidas de *pH*, temperatura, quantidade de oxigênio dissolvido, condutividade, profundidade e turbidez.

Como complemento ao trabalho de Ronaldo Bruno, esta dissertação apresenta o desenvolvimento de dois equipamentos que, operando em conjunto com esta sonda de medidas, formam um sistema dedicado para a coleta, o tratamento e o armazenamento de medidas físico-químicas. Neste sistema, as tarefas que antes eram desempenhadas pelo microcomputador pessoal passam a ser executadas por :

- Um equipamento dedicado microprocessado que, operando conectado à sonda de medidas, obtém e processa suas informações para a determinação das medidas físico-químicas. Este módulo possibilita não só a obtenção das medidas, como também a visualização destas nos locais aonde realizam-se as coletas. Denominou-se este módulo de Unidade Microprocessada de Aquisição de Medidas (**UMAM**);
- Um outro equipamento que, operando conectado à **UMAM**, permite o armazenamento das medidas físico-químicas produzidas pelo conjunto sonda/**UMAM**. Este equipamento, que recebeu a denominação de Unidade de Armazenamento (**UA**), possibilita o armazenamento de medidas em uma unidade de memória de cartão (*PC CARD*). Este equipamento também possibilita a transferência das medidas armazenadas a um microcomputador pessoal para a geração de relatórios de medidas utilizáveis para a análise;

Por tratarem-se de aplicações destinadas a operar em conjunto com a sonda de medidas, fez-se necessário investigá-la, o que envolveu conhecimentos gerais de instrumentação eletrônica, os quais são apresentados no capítulo 1 deste trabalho.

Já o capítulo 2 é direcionado a investigação da sonda. Neste, descreve-se como as informações dos seus instrumentos constituintes é disponibilizada, os aspectos construtivos destes instrumentos e a natureza das medidas físico-químicas que estes realizam. Estes aspectos permitem definir o processamento (tratamento matemático) que

a **UMAM** deve realizar sobre as informações da sonda para obter cada uma das medidas físico-químicas.

A **UMAM** é abordada no capítulo 3. Esta é apresentada em sua estrutura física e lógica. Aspectos operacionais do equipamento também serão abordados neste capítulo.

O capítulo 4 trata da **UA**. Este se inicia com uma breve discussão a respeito do meio de armazenamento de dados utilizado nesta unidade, que consiste em um tipo de cartão de memória removível utilizado em computadores "Notebook" (*PC CARD*). Procura-se descrever neste capítulo a maneira na qual os dados das medidas são armazenados e lidos deste tipo de memória por intermédio deste equipamento.

A integração de todas as unidades que compõem o sistema medidor é feita no capítulo 5. Além de tratar da conectividade das unidades (sonda, **UMAM** e **UA**), este capítulo também apresenta os resultados obtidos em ensaios realizados em laboratório com este sistema em algumas amostras selecionadas.

Finalmente é apresentada no último capítulo uma discussão dos resultados e das dificuldades encontradas durante o desenvolvimento do trabalho.

O desenvolvimento de todo este trabalho envolveu as seguintes etapas :

1. Abordagem do problema prático;
2. Investigação das características da sonda de medidas;
3. Projeto e a construção das duas unidades a partir das especificações obtidas nos itens 1 e 2;
4. Programação das funções realizadas pelas unidades;

As unidades desenvolvidas têm como principal componente um elemento de circuito denominado microcontrolador, o qual é responsável por coordenar as tarefas e processar as informações consideradas relevantes para atender os objetivos definidos nas etapas 1 e 2 do desenvolvimento do trabalho. As tarefas de coordenação foram

programadas na linguagem nativa do microcontrolador (linguagem de máquina) enquanto que as tarefas de processamento foram programadas em linguagem C. Estes códigos em C, depois de uma etapa da compilação, são traduzidos para linguagem nativa do microcontrolador utilizado.

Por ser um trabalho de forte ênfase prática, utilizaram-se diversas ferramentas de desenvolvimento de circuitos eletrônicos digitais envolvendo microprocessadores, e de softwares para programação das funções realizadas pelos equipamentos, produção de esquemáticos de circuito e projeto de placas de circuito impresso.

Um protótipo de bancada da sonda de medidas foi utilizado nos ensaios práticos efetuados com o sistema medidor.

Capítulo 1

Fundamentos de Instrumentação Eletrônica

1.1 Introdução

Instrumentação eletrônica visa obter informações a respeito da natureza física ou química de determinado objeto ou processo, ou então controlar este objeto ou processo de acordo com estas informações (LION, 1959). Estas informações podem ser fornecidas de uma maneira contínua (analógica) ou discreta (digital).

A metodologia utilizada em instrumentação eletrônica para atingir tais objetivos, envolve o desenvolvimento de circuitos nos quais estão envolvidos 3 tipos de elementos:

- Transdutores de entrada : Convertem uma grandeza não elétrica em um sinal elétrico.
- Modificadores de sinal: Convertem um sinal elétrico em um outro sinal elétrico modificado.
- Transdutores de saída : Convertem um sinal elétrico em uma grandeza não elétrica.

1.2 Transdutores de entrada

Um elemento transdutor de entrada ou sensor é um componente responsável pela transformação de uma grandeza não elétrica em um sinal elétrico (LION, 1959), sendo

este processo de transformação regido por leis físicas e químicas de conversão de energia.

Diversos parâmetros são utilizados para caracterizar os sensores em instrumentação eletrônica, sendo os de maior relevância: a grandeza de entrada em questão (característica física ou química de interesse), a função de transferência, a sensibilidade e o erro.

O tipo de grandeza física ou química envolvida define o fundamento da operação do transdutor. Isto tem influência direta na sua construção e portanto, em suas características funcionais.

A função de transferência corresponde à função matemática que relaciona a magnitude da grandeza física ou química de entrada, com a magnitude do sinal elétrico obtido na saída do transdutor (LION, 1959), ou seja

$$G_o = f(G_i) \quad (1.1)$$

sendo:

G_o : Grandeza elétrica de saída;

G_i : Grandeza física ou química de entrada.

Obtém-se a função (1.1) a partir de equações teóricas ou experimentais que modelam o sensor, descrevendo os fenômenos físicos ou químicos envolvidos no processo de transdução.

Define-se a sensibilidade como uma medida da variação produzida na grandeza elétrica de saída, por uma variação ocorrida na grandeza física de entrada (LION, 1959). Isso é representado matematicamente como a derivada da função de transferência.

$$S = \frac{dG_o}{dG_i}$$

$$S = \frac{df(G_i)}{dG_i} \quad (1.2)$$

Observa-se da prática que grande parte dos sensores, apresentam sensibilidade dependente com a magnitude da grandeza de entrada implicando no surgimento de não linearidades. Na maioria destes casos consegue-se, dentro de determinados limites de valores da grandeza de entrada, realizar aproximações na função de transferência que a torna linear sem que se incorra em grandes erros de medida.

Desta forma, para um sensor linear, a sensibilidade resulta em

$$S = \frac{df(G_o)}{dG_i}$$

$$S = \frac{dk \cdot G_i}{dG_i}$$

$$S = k \quad (1.3)$$

sendo k uma constante que representa a taxa de variação da saída para variações na entrada do transdutor.

O erro faz com que o sensor não obedeça com exatidão a equação (1.1). Este é uma medida do desvio da grandeza observada na prática, em relação ao valor correto ou esperado, e é avaliado tanto em termos da entrada como da saída do transdutor (LION, 1959). A partir da definição, obtém-se a seguinte equação para o erro em função da saída :

$$\xi = |G_o' - G_o| \quad (1.4)$$

Desta forma, a função de transferência passa a ser representada por :

$$G_o' = f(G_i) + \xi \quad (1.5)$$

São muitos os fatores que contribuem no erro de medida de um instrumento. Dentre estes, temos: os ruídos, as modificações sofridas na função de transferência do sensor com o tempo, não linearidades, transientes e a eficiência (rendimento) do elemento transdutor no processo de conversão de energia.

Muitas vezes, o tratamento do erro de um instrumento envolve processos estatísticos, pois alguns dos fatores que colaboram para o mesmo são de natureza aleatória.

1.3 Modificadores de sinal

A fim de adequar o sinal elétrico de um sensor às necessidades do instrumento, são utilizados os elementos modificadores de sinal (LION, 1959).

Em instrumentação eletrônica puramente analógica, utilizam-se elementos de circuito isoladores para evitar que estágios de circuito posteriores ao sensor sobrecarreguem a saída do mesmo, resultando em erros de medida.

Amplificadores são utilizados para introduzir ganhos e deslocamentos nos sinais provenientes do sensor. Há também os filtros, que eliminam alguns ruídos indesejáveis introduzidos no sinal durante o processo de transdução e modificam a característica de resposta em frequência do instrumento.

Quando é desejado realizar o processamento digital deste sinal, além das etapas analógicas que foram brevemente discutidas, introduz-se um elemento de circuito capaz

de transformar um *senal analógico*¹ em um *senal digital*². O elemento de circuito responsável por esta conversão é denominado de conversor A/D (VARTANIAN, 1979).

Este sinal digital, uma vez obtido, é armazenado em um elemento de memória digital para posteriormente ser tratado (processado) por um computador digital ou um microprocessador.

¹ Sinal Analógico : Tensões ou Correntes cujas amplitudes sejam contínuas no tempo.

² Sinal Digital : Seqüência de número binários cujos valores são diretamente proporcionais a níveis discretos de tensão que são tomados de um Sinal Analógico em determinados instantes de tempo.

Capítulo 2

Investigação da Sonda de Medidas

2.1 Introdução

A avaliação da qualidade das águas de rios e lagos envolve medições tanto dos parâmetros de natureza físico-química como dos de natureza orgânica, pois são estes parâmetros que sofrem alterações de acordo com o impacto causado pela utilização destas águas por seres humanos.

A sonda multi-sensora de medida proposta por Ronaldo Bruno possibilita a obtenção de dados relativos às medidas das propriedades físico-químicas de águas de rios e represas no próprio local. Esta sonda é inserida no rio ou represa sob análise por um cabo que, além de dar sustentação mecânica a sonda, permite a comunicação desta com um sistema hospedeiro.

Este sistema hospedeiro é responsável por receber os dados desta sonda e tratá-los a fim de se obter as medidas físico-químicas desejadas.

Um breve estudo da arquitetura e da operação desta sonda, bem como a investigação do comportamento de seus instrumentos constituintes, nos permitirá obter informações relevantes para a especificação do comportamento do sistema hospedeiro que foi desenvolvido neste trabalho. Os resultados destas investigações serão abordados neste capítulo.

2.2 Arquitetura e questões funcionais

A arquitetura da sonda é subdividida em duas partes: uma correspondente aos circuitos dos instrumentos e outra correspondente a unidade central de processamento (UCP) (BRUNO, 1997).

Cada um desses instrumentos entrega à UCP um sinal de tensão que apresenta uma relação direta ou indireta com a medida físico-química realizada. Desta forma, quando efetua um procedimento de aquisição, a UCP digitaliza e coleta o sinal de 6 instrumentos : medidor de temperatura, medidor de *pH*, medidor de oxigênio dissolvido, medidor de turbidez, medidor de condutividade e medidor de profundidade (BRUNO, 1997).

Após as aquisições, estes dados digitalizados são enviados a um computador ou um sistema dedicado (hospedeiro) que conecta-se à sonda através de um cabo de comunicação. Esta comunicação ocorre num padrão de transmissão e recepção de dados serial RS232-C.

O computador hospedeiro é quem inicia o processo de aquisição e processa as informações recebidas a fim de determinar os valores numéricos das grandezas físico-químicas.

A arquitetura da sonda de medidas é representada em diagrama de blocos na figura 2.1.

Os circuitos dos instrumentos foram construídos dentro dos fundamentos de instrumentação eletrônica devidamente expostos no capítulo 1 e serão sucintamente caracterizados nas próximas seções deste capítulo.

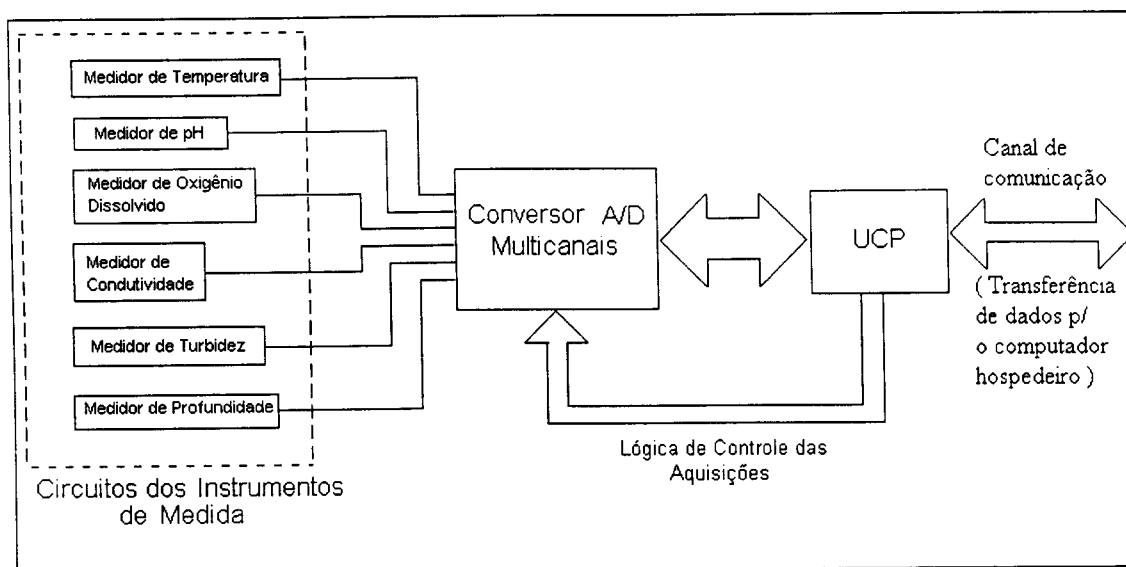


Figura 2.1 - Diagrama de blocos que ilustra a arquitetura da sonda para medida das propriedades físico-químicas da água.

2.3 Medidor de Temperatura

A utilização de um instrumento para medida de temperatura na sonda não visa unicamente a obtenção desta grandeza, mas a sua utilização pelo sistema hospedeiro para correção da influência térmica sobre os valores das medidas de *pH*, Condutividade e Oxigênio Dissolvido (BRUNO, 1997).

2.3.1 Caracterização do instrumento

Este instrumento utiliza um sensor de temperatura integrado desenvolvido pela National Semiconductor Inc. denominado LM 35D.

Este integrado apresenta as seguintes características:

- Faixa de temperatura mensurável : 0 a 100 °C.
- Função de transferência : Linear dentro da faixa mensurável de temperatura com sensibilidade de 10 mV/°C.

Não houve necessidade de utilizar neste instrumento nenhum circuito adicional para modificar a resposta do sensor, pois as tensões produzidas em sua saída encontram-se na faixa de valores de operação do conversor A/D da sonda.

2.3.2 Obtenção da grandeza temperatura

Para a obtenção da equação matemática que possibilita o cálculo da grandeza temperatura , partiu-se da informação conhecida de que este instrumento apresenta sensibilidade constante de 10 mV/°C (BRUNO, 1997). Sendo a leitura da sonda um valor de tensão diretamente proporcional à temperatura da amostra sob análise, deve-se encontrar uma função matemática tal que :

$$T_{(^{\circ}C)} = f(V_{Temp(mV)}) \quad (2.1)$$

Da definição de sensibilidade, temos :

$$Sens = \frac{df(V_{Temp})}{dV_{Temp}} = \frac{1}{10} \quad (mV/^{\circ}C)$$

$$T_{(^{\circ}C)} = \frac{1}{10} \cdot V_{Temp(mV)} + c1 \quad (2.2)$$

sendo a constante $c1$ obtida para o ponto onde $V_{Temp} = 0$.

A fim de obter a equação (2.2) experimentalmente, foram realizadas medidas comparativas, onde tomaram-se leituras do instrumento medidor de temperatura da sonda para amostras de água em diferentes temperaturas. O instrumento utilizado como padrão de medida de temperatura foi um termômetro eletrônico digital HP, modelo 2804-A, que apresenta precisão de centésimos de °C.

Realizando-se a interpolação linear dos resultados obtidos, obteve-se uma equação que apresenta concordância com a equação (2.2). Estes resultados estão apresentados na figura 2.2.

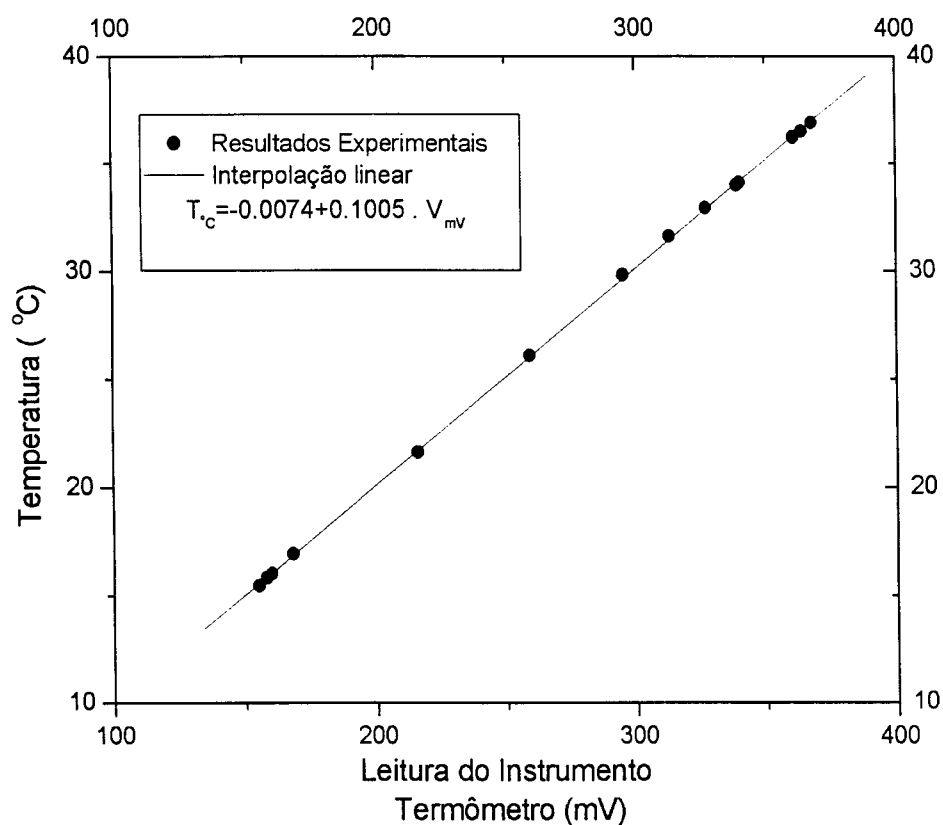


Figura 2.2 - Interpolação linear dos pontos utilizados na obtenção da resposta do instrumento medidor de temperatura da sonda.

2.4 Medidor de pH

2.4.1 Caracterização do instrumento

O instrumento medidor de pH utiliza um tipo de sensor eletroquímico denominado eletrodo combinado de pH (WANG, 1948), que tem o aspecto apresentado na figura 2.3 .

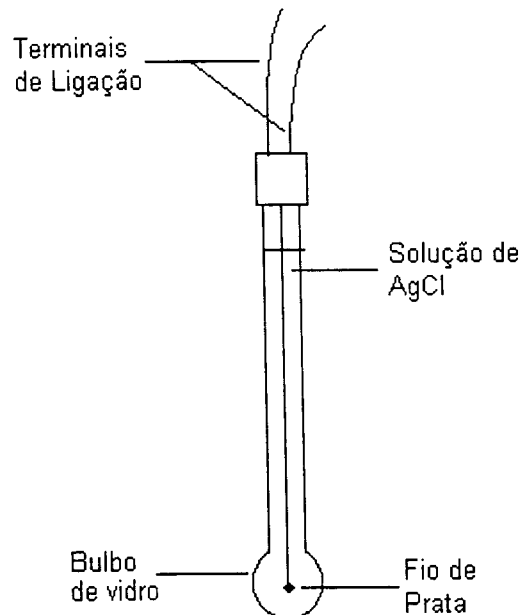


Figura 2.3 - Características construtivas do sensor de eletrodo combinado de pH utilizado no instrumento medidor de pH da sonda.

Este sensor tem sido amplamente utilizado em medidas de pH pela sua boa linearidade e rápida estabilização de leitura (WANG, 1948).

Para a realização da medida, insere-se o bulbo de vidro do sensor dentro da amostra sob análise e espera-se o tempo necessário para estabilização da leitura do instrumento.

Teoricamente, demonstra-se para este tipo de sensor que a diferença de potencial produzida em seus terminais depende da concentração de íons H^+ de acordo com a equação (2.3), que deriva da equação de Nernst (OEHME,1991):

$$V_{(mV)} = V_{O(mV)} - (54.20 + 0.198 \cdot T_{(°C)}) \cdot (pH - 7) \quad (2.3)$$

Constata-se, a partir da equação (2.3), que a tensão nos terminais deste sensor (V) depende linearmente do valor da grandeza físico-química pH .

Aplicando a definição de sensibilidade na equação (2.3), temos:

$$S_{(mV/pH)} = \frac{dV}{dpH} = - (54.2 + 0.198 \cdot T_{(°C)}) \quad (2.4)$$

Da equação (2.4), concluímos que a sensibilidade é uma função linear da temperatura. O sinal negativo indica que, para este sensor, a tensão em seus terminais decresce com o aumento da temperatura da amostra para um valor determinado de pH .

A constante V_0 da equação (2.3) corresponde a um potencial que, na prática, depende da conservação, da idade e do fabricante do sensor. Por esta razão, deve-se calibrar periodicamente o instrumento a partir de padrões cujo pH seja conhecido (WESTCOTT,1978).

Constata-se também da função de transferência que, a tensão produzida nos terminais do sensor varia de $-800 mV$ a $+800 mV$. Como esta faixa de valores não se corresponde àquela na qual o conversor A/D da sonda opera (0 a 4.1 V), introduziu-se neste instrumento um circuito amplificador que trata este sinal tornando-o sempre positivo.

Este circuito introduz um ganho de 2.56 vezes e adiciona um nível contínuo de tensão de 2.08 V ao sinal do sensor antes de entregá-lo ao conversor A/D (BRUNO, 1997).

2.4.2 Obtenção da grandeza pH

A determinação da grandeza pH medida pelo instrumento medidor da sonda envolve o cálculo da equação da reta que relaciona as leituras obtidas deste instrumento com valores de pH

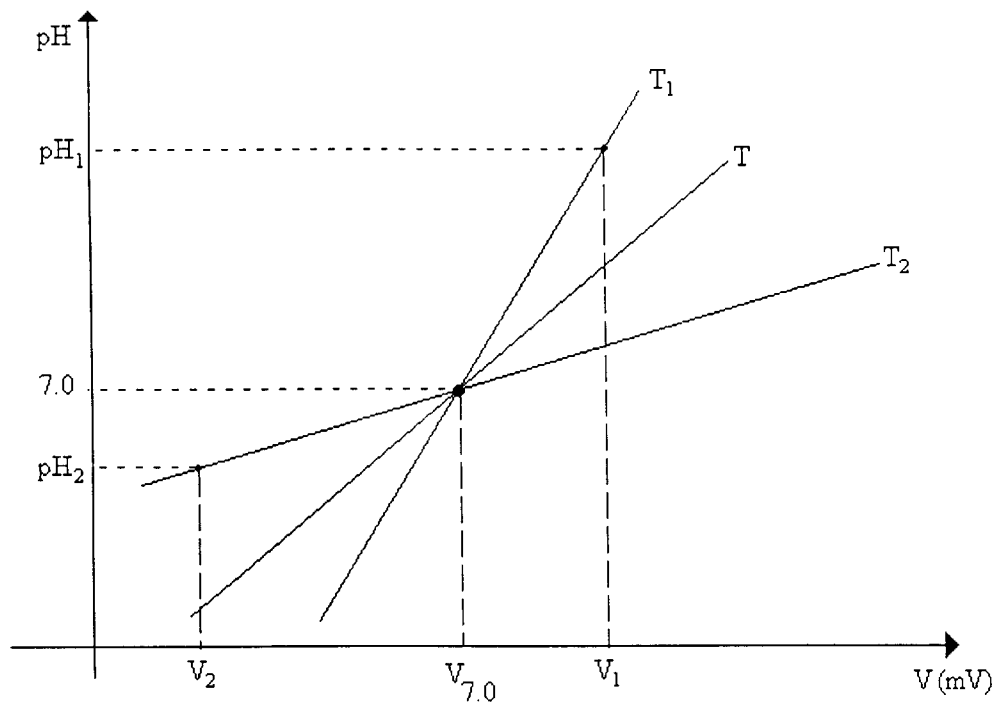


Figura 2.4 - Visualização gráfica do procedimento utilizado na obtenção da equação da reta utilizada no cálculo da medida de pH . Os valores pH_1 e pH_2 correspondem aos valores de pH das soluções padrões utilizadas na calibração do instrumento nas temperaturas T_1 e T_2 ; V_1 e V_2 são as leituras obtidas do instrumento medidor da sonda para cada uma das soluções.

Consegue-se esta através de um procedimento de calibração onde obtém-se dois pontos de medidas a partir de soluções cujos valores de pH sejam previamente conhecidos (soluções padrão). Na figura 2.4 encontra-se ilustrado o processo gráfico utilizado na obtenção desta reta.

A equação da reta que possibilita o cálculo da medida pH a partir da leitura de tensão obtida do instrumento medidor de pH da sonda é da forma

$$pH = \frac{V - V_{7.0}}{M(T)} + 7.0 \quad (2.5)$$

sendo :

- $V_{7.0}$: Leitura de tensão obtida do instrumento, em milivolts, para o ponto cujo pH vale 7.0;
- V : Leitura de tensão obtida do instrumento, em milivolts, para o valor de pH desejado;
- $M(T)$: Coeficiente angular da reta, em $mV.pH^{-1}$, que é uma função da temperatura da amostra sob medição. Depende também da sensibilidade do instrumento.

Para que a equação (2.5) fique completamente definida, devemos encontrar os termos $M(T)$ e $V_{7.0}$.

O coeficiente angular $M(T)$, que corresponde ao inverso da sensibilidade do instrumento, é composto de dois termos: um que considera os pontos de calibração e outro a temperatura em que está sendo feita a medida, ou seja :

$$M(T) = \frac{V_1 - V_2}{pH_1 - pH_2} + (T - T_{padrão}).FT \quad (2.6)$$

Na equação (2.6), adotou-se $T_{padr\tilde{a}o}$ como a média aritmética entre as temperaturas T_1 e T_2 dos padrões de calibração utilizados. O termo FT é um fator que modela a influência térmica na sensibilidade do sensor combinado com o ganho do circuito amplificador do instrumento e vale $-0.51 \text{ mV.pH}^{-1}.\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ (BRUNO, 1997).

O termo $V_{7.0}$ é obtido a partir de uma das retas de coeficiente angular $M(T_1)$ ou $M(T_2)$, pois a leitura obtida do ponto cujo pH é 7.0 independe da temperatura (WESTCOTT,1978). Para a reta com coeficiente angular $M(T_1)$, temos que $V_{7.0}$ será dado por:

$$V_{7.0(mV)} = M(T_1) \cdot (7.0 - pH_1) + V_{1(mV)} \quad (2.7)$$

2.5 Medidor de Condutividade

2.5.1 A grandeza física condutividade

Dentre as medidas eletroquímicas, a medida de condutividade é uma das mais utilizadas para monitorar a qualidade de águas, pois possibilita, de maneira indireta e não seletiva, caracterizar o meio iônico de uma dada amostra (COVINGTON, 1979).

A condutividade de uma solução pode ser estudada a partir do experimento apresentado na figura 2.5.

Neste experimento, o circuito externo é constituído de uma célula eletroquímica de dois eletrodos de platina inserida numa solução aquosa com íons dissociados.

Nos fios condutores deste circuito, os portadores responsáveis pelo fluxo de corrente são os elétrons existentes nos átomos do material condutor. Já no circuito

externo (célula + solução), os portadores de corrente são os íons dissociados na solução. Este processo é denominado condução eletrolítica de corrente (**LADD**, 1969).

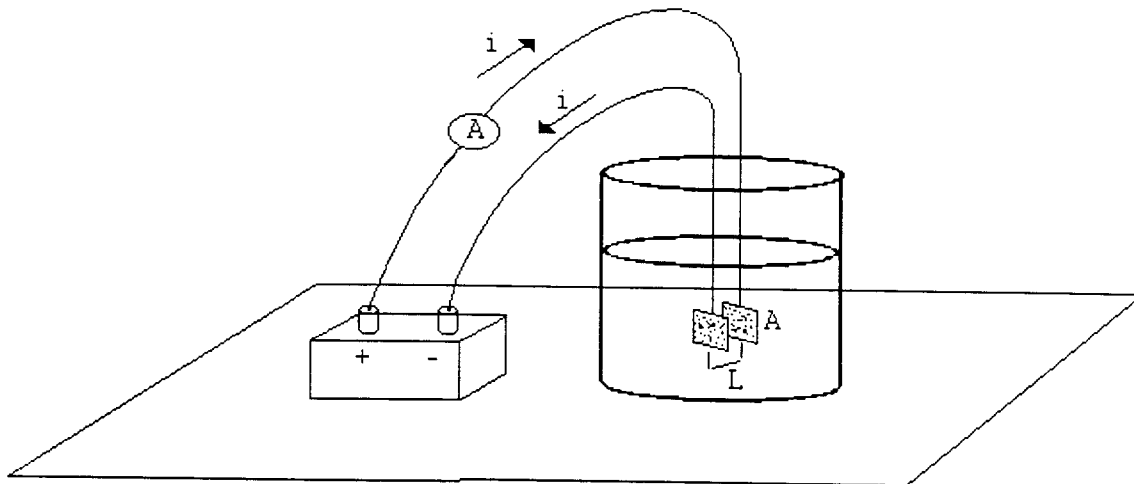


Figura 2.5 - Experimento eletroquímico para o estudo da condutividade de soluções aquosas iônicas.

A conversão dos íons em corrente ocorre na interface eletrodos/solução através de reações eletroquímicas de oxidação-redução.

Soluções que conduzem eletricidade são denominadas soluções eletrolíticas, enquanto que as substâncias presentes na solução, e que são responsáveis pela produção dos íons dissociados, são os eletrólitos (**LADD**, 1969).

Apesar da natureza dos portadores de corrente nas soluções eletrolíticas diferir da dos portadores nos metais, a condutividade elétrica em ambos os casos segue um modelo matemático similar, dado pela Equação (2.8) (**LADD**, 1969) :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = G \cdot \kappa \quad (2.8)$$

onde

G : Condutância elétrica da solução em Siemens ;

σ : Condutividade elétrica da solução em Siemens/cm ;

ρ : Resistividade da solução em ohm.cm ;

κ : Constante de Célula em cm^{-1} .

A constante de célula é um fator dependente das características construtivas (dimensões) da célula eletroquímica utilizada. Para uma célula de dois eletrodos retangulares de área A , afastados por uma distância L , o valor teórico desta constante será (LADD, 1969; EHRHARDT & WILLIAM, 1990) :

$$\kappa = \frac{L}{A} \quad (2.9)$$

2.5.2 Caracterização do instrumento

No instrumento medidor de condutividade, é utilizado como sensor uma célula constituída por eletrodos retangulares cuja constante de célula calculada a partir da equação (2.9) é 1 cm^{-1} . O circuito deste instrumento apresenta um ohmímetro que polariza o sensor com um sinal de tensão alternada e afere o valor da condutância da solução na qual o sensor encontra-se inserido.

A utilização de corrente alternada evita que ocorra um erro no valor da condutância lida devido a fenômenos de polarização (EHRHARDT & WILLIAM, 1990). Estes fenômenos ocorrem na interface entre os eletrodos e a solução, e deve-se a capacitância formada pelos íons da solução quando o sensor é submetido a operação em um regime de corrente contínua.

Devido aos efeitos de espalhamento do campo elétrico e de processos de corrosão/deposição que ocorrem nos eletrodos, que reduzem a área efetiva dos mesmos, o valor da constante de célula observado na prática difere ligeiramente do esperado da teoria (EHRHARDT & WILLIAM, 1990).

Por esta razão, é necessária a calibração do instrumento, a fim de se determinar experimentalmente o valor desta constante, utilizando-se de soluções cuja condutividade seja teoricamente conhecida numa dada temperatura.

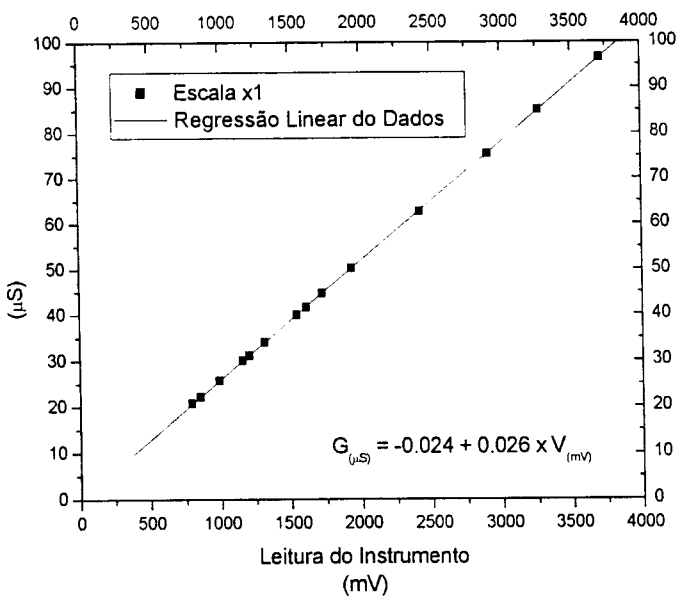
2.5.3 Obtenção da grandeza condutividade

Como o instrumento medidor de condutividade é um ohmímetro linear (BRUNO, 1997), este produz um sinal elétrico de tensão que é diretamente proporcional à condutância da solução sob análise.

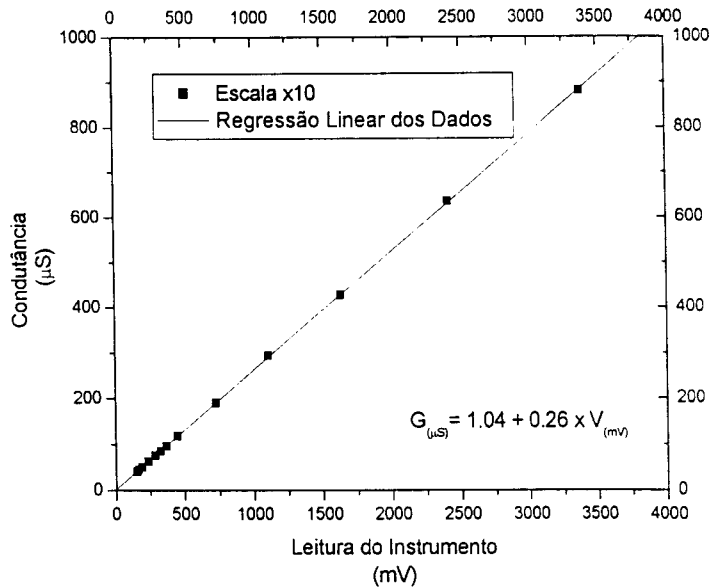
Esta característica Tensão x Condutância, foi levantada experimentalmente substituindo-se o sensor do instrumento (célula eletroquímica) por um resistor variável (potenciômetro). Os resultados obtidos estão apresentados nos gráficos da figura 2.6 (a), (b) e (c).

Cada gráfico apresentado corresponde a uma escala de medida do instrumento, o que possibilita medidas em uma ampla faixa de valores de condutâncias sem perda de sensibilidade.

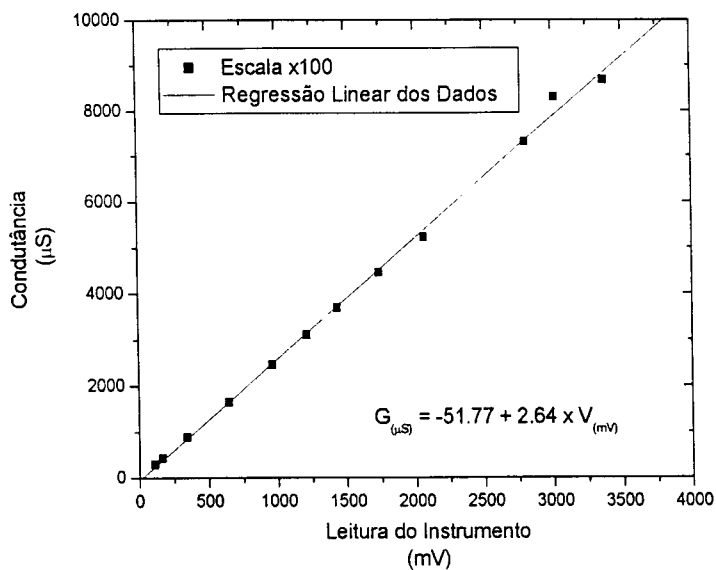
A condutividade de uma amostra é obtida por medida indireta substituindo-se a condutância obtida através dos gráficos da figura 2.6 na equação (2.8), visto que a constante de célula é um parâmetro conhecido do instrumento.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.6 – Característica Tensão x Condutância do instrumento medidor de condutividade da sonda, para as escalas: (a) x1; (b) x10; (c) x100.

Sendo a condutividade uma grandeza que depende diretamente da temperatura, normaliza-se qualquer medida efetuada para a temperatura de 25 °C. Isto porque, em se

tratando de análises hídricas, há a necessidade de se comparar medidas obtidas de diferentes amostras de água provenientes de diferentes locais ou de amostras obtidas em um mesmo local, mas em diferentes estações do ano (e portanto em diferentes temperaturas) (MOORE, 1989; MICHAUD, 1991).

A padronização da medida de condutividade é realizada da seguinte forma (FOZDAR, 1985):

- Aumenta-se o valor da medida de condutividade em aproximadamente 2 %, para cada °C de diminuição de temperatura em relação à temperatura de 25 °C;
- Diminui-se o valor da medida de condutividade em aproximadamente 2 %, para cada °C de aumento de temperatura em relação à temperatura de 25 °C;

Matematicamente, temos :

$$\sigma(25) = \sigma(T) \cdot [1 - 0.021 \cdot (T - 25)] \quad (2.10)$$

Devido a constante de célula κ sofrer alterações com a idade do sensor, deve-se utilizar alguma forma de calibração periódica a fim de obter seu verdadeiro valor conforme já foi explicitado. Para isto, utiliza-se uma solução padrão de *KCl* 0.01 Molar, cuja condutividade a 25 °C é 1.413 mS/cm.

Medindo-se a condutância desta solução, consegue-se determinar κ a partir da substituição dos termos conhecidos na equação (2.8).

2.6 Medidor de Oxigênio Dissolvido

A quantidade de oxigênio dissolvido é um parâmetro de grande importância para análises hídricas por ser o oxigênio elemento fundamental para a manutenção da vida aquática (HUTCHINSON, 1957).

Na natureza, a dissolução do gás oxigênio na água ocorre nas quedas d'água e nas ondas, quando a água entra em contato mais direto com o oxigênio presente no ar.

Numa amostra de água, esta quantidade pode ser medida em porcentagem de oxigênio, *ppm* (partes por milhão) ou miligrama de oxigênio por litro de solução (*mg/l*).

2.6.1 Caracterização do instrumento

O sensor utilizado no instrumento medidor de oxigênio dissolvido é formado por um par de eletrodos imersos em uma solução eletrolítica, sendo este conjunto separado da solução sob teste por uma membrana seletiva permeável ao oxigênio. Esta membrana é hidrofóbica e feita de teflon enquanto a solução eletrolítica é composta de *KCl* (WANG, 1948)

Neste arranjo, o oxigênio difunde-se através da membrana e é reduzido na superfície do eletrodo. A corrente produzida no cátodo é proporcional à taxa de difusão de O_2 e, portanto, à concentração de O_2 na amostra em análise.

O potencial no qual o cátodo deste sensor deve ser polarizado depende da construção do sensor, mas deve ser um valor tal que mantenha o sensor operando no limite da região onde apenas ocorra o consumo do O_2 que sofreu difusão através da membrana (KORYTA, 1982).

A função de transferência deste tipo de sensor é bastante linear e relaciona corrente com porcentagem de oxigênio dissolvido. Desta forma, neste instrumento, foi introduzido um circuito condicionador de sinal a fim de converter a corrente proveniente do sensor em tensão. Assim, consegue-se obter um sinal de tensão compatível com a entrada do conversor A/D (BRUNO, 1997).

Este tipo de sensor apresenta uma resposta relativamente lenta, devendo-se aguardar de 10 a 60 minutos para se obter uma leitura estável do instrumento (WANG, 1948).

2.6.2 Obtenção da grandeza oxigênio dissolvido

A leitura obtida do instrumento medidor de oxigênio dissolvido da sonda tem relação linear com a porcentagem de oxigênio dissolvido da amostra medida (BRUNO, 1997). Como a sensibilidade deste instrumento varia muito com os parâmetros construtivos do sensor utilizado, obtém-se a equação para o cálculo desta medida através de um procedimento de calibração. Nesta, utilizam-se duas soluções padrão, sendo uma saturada de oxigênio e outra sem nenhum oxigênio dissolvido.

Deixando-se borbulhar ar em uma amostra de água destilada por mais de trinta minutos, consegue-se uma solução com concentração de oxigênio dissolvido da ordem de 75 %. Para obter-se uma solução com 0 % de oxigênio dissolvido, deve-se dissociar em uma amostra de água algum reagente que consuma o oxigênio. Pode-se utilizar o Sulfito de Sódio (Na_2SO_3) na proporção de 100 mg de sulfito por 5 ml de solução (ATKINS, 1989). Uma representação gráfica da resposta que resulta deste procedimento é apresentada na figura 2.7.

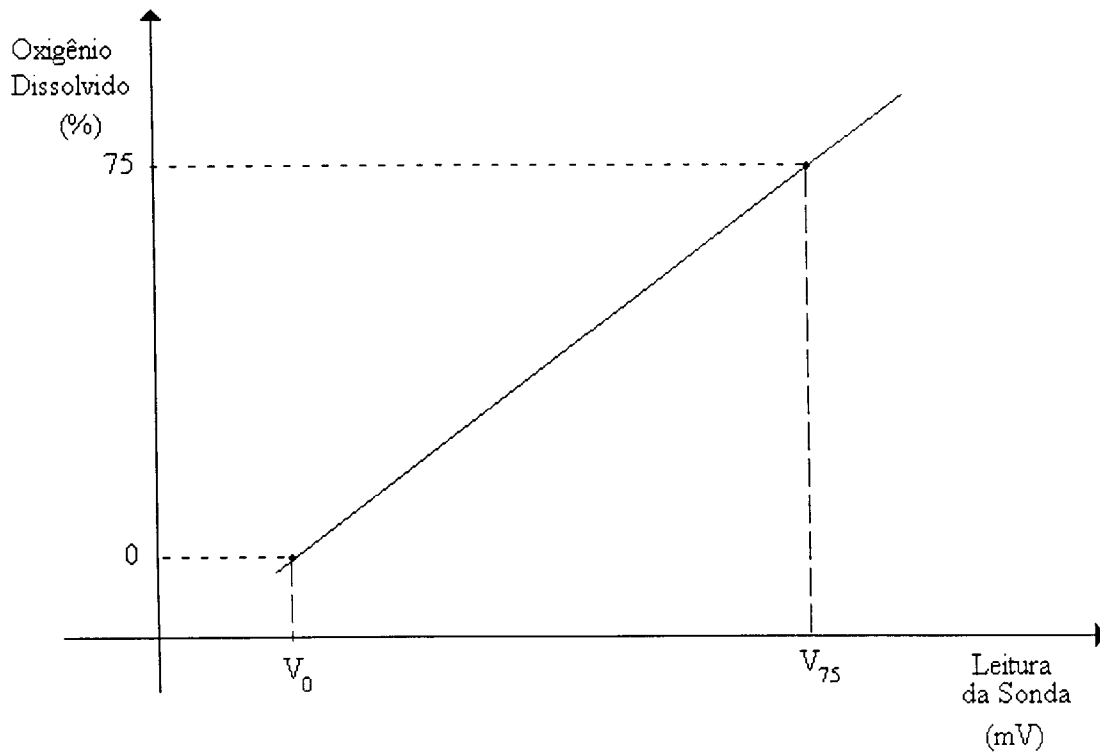


Figura 2.7 – Representação gráfica da reta que possibilita a determinação da medida de porcentagem de oxigênio dissolvido em função da leitura obtida do instrumento medidor da sonda. Os pontos V_0 e V_{75} são leituras obtidas do instrumento a partir de padrões de calibração com 0 % e 75 % de oxigênio dissolvido respectivamente.

Desta forma, a equação para cálculo da medida de porcentagem de oxigênio dissolvido é dada pela equação da reta :

$$OD_{\%} = \frac{(75 - 0)}{(V_{75(mV)} - V_{0(mV)})} \cdot (V_{(mV)} - V_{0(mV)}) \quad (2.11)$$

Como a porcentagem de oxigênio dissolvido depende da altitude em que a medida é realizada (ATKINS, 1989) , deve-se corrigir a resposta obtida da equação (2.11) com a pressão atmosférica do local, ou seja :

$$OD_{\text{Corrigido}\%} = OD_{\%} \cdot \frac{P_{\text{atmosférica(mmHg)}}}{760_{\text{(mmHg)}}} \quad (2.12)$$

Freqüentemente, utiliza-se para esta medida uma outra unidade denominada quantidade de oxigênio dissolvido, que é dada em miligramas de oxigênio por litro de solução (*mg/l*). Um método visual que permite converter porcentagem de oxigênio dissolvido em quantidade de oxigênio dissolvido é apresentado na figura 2.8 (MOORE, 1989; MICHAUD, 1991).

Conhecendo-se previamente a porcentagem de oxigênio dissolvido e a temperatura da amostra sob análise, traça-se uma reta que intercepte estes pontos nas escalas correspondentes. A quantidade de oxigênio dissolvido será obtida pelo ponto de cruzamento da extrapolação desta reta com a escala dada em *mg/l*.

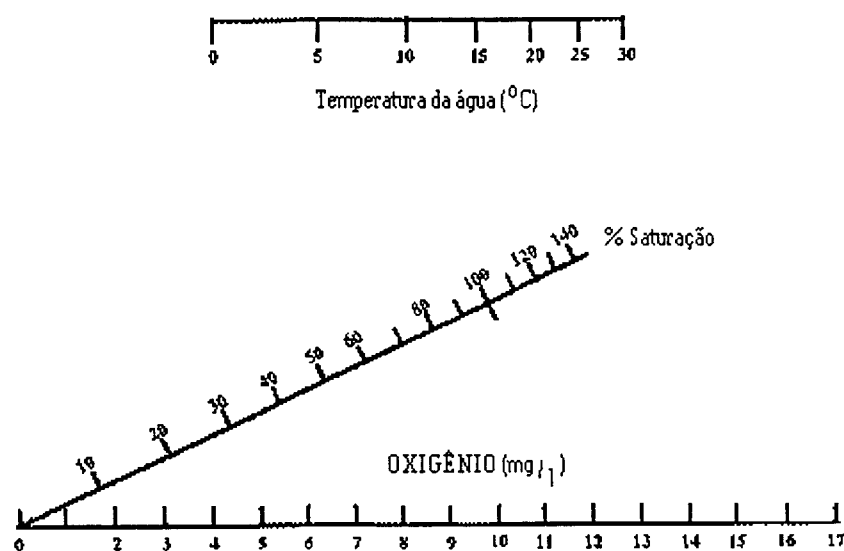


Figura 2.8 – Ábaco utilizado na obtenção da quantidade de oxigênio dissolvido numa amostra de água em *mg/l* a partir da saturação de oxigênio e da temperatura.

Outra forma de obter a concentração de oxigênio, é através de alguma equação que possibilite a determinação da solubilidade do oxigênio em uma dada amostra de água em função da temperatura desta amostra. A partir da equação (2.13) consegue-se obter um valor aproximado para esta solubilidade (HUTCHINSON, 1957).

$$So\ lub = \begin{cases} 0.063.T_{O_2}^2 - 0.3875.T_{O_2} + 14.158 & \text{para } T_{O_2} < 17.5 \text{ } ^\circ C \\ -3.2192.\log(T_{O_2}) + 18.478 & \text{para } T_{O_2} \geq 17.5 \text{ } ^\circ C \end{cases} \quad (2.13)$$

A quantidade de oxigênio dissolvido é obtida através do produto desta solubilidade com a porcentagem de oxigênio dissolvido obtida da equação (2.12), ou seja :

$$OD_{(mg/l)} = OD_{Corrigido\%} \cdot So\ lub \quad (2.14)$$

2.7 Medidor de Turbidez

A turbidez é definida como a medida da presença de partículas em suspensão numa dada amostra de água e sua unidade, por definição, é o NTU^3 .

O procedimento utilizado na avaliação da turbidez de uma amostra, é o da determinação da intensidade da luz refletida quando esta é iluminada adequadamente. A unidade de turbidez é atribuída comparando-se a intensidade desta luz refletida pela amostra em análise, com a refletida por algumas soluções denominadas de suspensões-padrão de referência, as quais apresentam valores padronizados em NTU . Quanto maior a luz refletida por uma amostra, maior será sua turbidez.

No instrumento medidor de turbidez, foi utilizado como sensor o arranjo apresentado na figura 2.9. Este utiliza um “led” monocromático (A) para iluminar uma amostra que fica confinada em uma câmara (H) localizada na extremidade inferior de um tubo cilíndrico preto (D). A luz incide a amostra através de um canal condutor de

³ NTU é uma sigla que significa “Nephelometric Turbidity Units”.

luz (C) e capta-se a luz refletida através de outro canal (E). Esta luz captada excita um detetor óptico do tipo fotodiodo (G) colocado na parte superior do cilindro.

O sinal elétrico produzido por este detetor óptico, é tratado por um circuito amplificador que implementa duas escalas para medida de turbidez: uma de alta sensibilidade e outra de baixa sensibilidade (BRUNO,1997).

A determinação da relação de transferência do instrumento, envolveu a preparação de suspensões-padrão com valores de turbidez de 0, 4, 20, 40, 50, 80, 100, 200 e 400 *NTU*. Leituras foram tomadas, para cada uma destas suspensões, tanto nas escalas de alta como na de baixa sensibilidade.

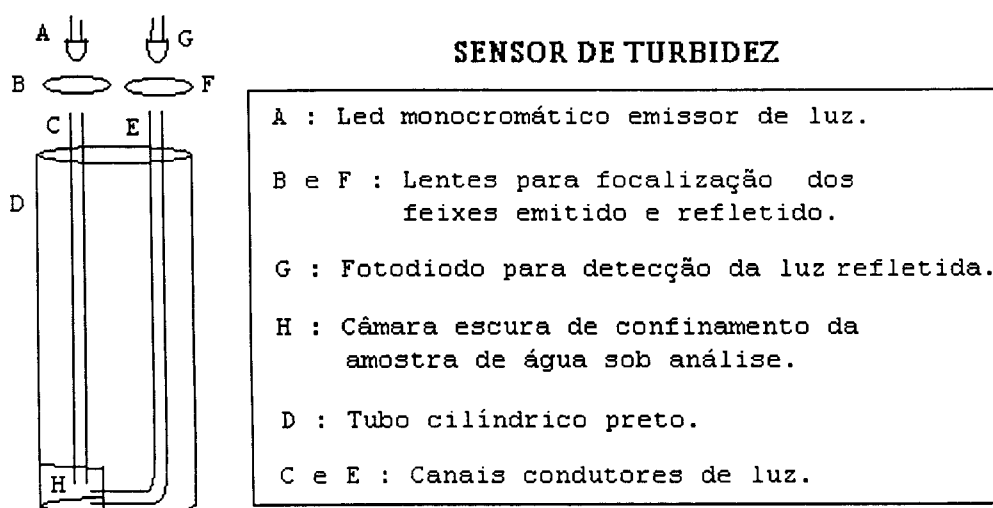


Figura 2.9 - Arranjo utilizado como sensor para medida de turbidez na sonda. O princípio da medida é o da detecção da quantidade de luz difundida em uma amostra de água analisada.

Desta forma, obteve-se por interpolação polinomial o par de equações (2.15), que relacionam a turbidez em *NTU* com a tensão lida do instrumento em milivolts, para as escalas de alta e baixa sensibilidade respectivamente (BRUNO, 1997):

$$Turb_{(NTU)} = \begin{cases} -8.10^{-5} \cdot V_{\%}^3 + 0.0105 \cdot V_{\%}^2 + 0.2292 \cdot V_{\%} + 0.65 & \text{Para escala alta} \\ -2.10^{-5} \cdot V_{\%}^4 + 0.0684 \cdot V_{\%}^3 + 8.8719 \cdot V_{\%} + 0.0636 & \text{Para escala baixa} \end{cases} \quad (2.15)$$

aonde

$$V_{\%} = \frac{V_{Turb(m)}}{4096} \cdot 100 \quad (2.16)$$

2.8 Medidor de Profundidade

O instrumento medidor de profundidade tem como parte constituinte um sensor de pressão. Este instrumento apresenta uma característica de transferência que relaciona a pressão a qual o sensor encontra-se submetido com a leitura de tensão que este produz, ou seja:

$$p_{(atm)} = k \cdot F(V_{prof(m)}) \quad (2.17)$$

Sendo a constante k um fator que modela a sensibilidade do instrumento.

Desta forma, conhecendo-se a natureza da equação (2.17), consegue-se determinar a profundidade por medida indireta a partir da equação (2.18) que relaciona a profundidade com a densidade do líquido, a aceleração da gravidade, o ganho do amplificador e a característica de transferência do sensor de pressão.

$$prof_{(m)} = \frac{k \cdot F(V_{prof(m)})}{\mu \cdot g} - \frac{1}{\mu \cdot g} \quad (2.18)$$

2.9 Conclusão

Este capítulo nos permitiu, através dos processos de investigação apresentados, conhecermos não só o comportamento global da sonda de medidas como também o comportamento de cada um dos seus instrumentos constituintes em particular.

Estes conhecimentos permitirão especificar o primeiro equipamento desenvolvido neste trabalho, que é o responsável em coletar, interpretar e processar as informações fornecidas pela sonda a fim de obter as variáveis físico-químicas desejadas. Este equipamento, o qual denominou-se de **UMAM** (Unidade Microprocessada de Aquisição de Medidas), é o assunto do próximo capítulo deste trabalho.

Capítulo 3

Unidade Microprocessada de Aquisição de Medidas (UMAM)

3.1 Introdução

Quando Bruno (1997) projetou e construiu a sonda, este também implementou um programa para tratar os dados que esta fornece.

Este programa, que permite o processamento, a visualização e o armazenamento das medidas físico-químicas, foi denominado de “Virtual Water Analyser” e foi desenvolvido na linguagem Visual Basic™ para operar em um microcomputador hospedeiro do tipo IBM-PC em ambiente Windows™. Este microcomputador deve operar conectado à sonda de medidas a fim de que o programa execute as tarefas para as quais este foi desenvolvido.

Esta abordagem é bastante útil e conveniente para o tratamento dos dados em laboratório, mas num rio ou represa, há necessidade de se utilizar um microcomputador do tipo “Notebook” que encarece o projeto. Além disso, constatou-se em testes de campo, que a leitura do painel do “Notebook” fica comprometida quando coletas são realizadas em condições de alta luminosidade.

A Unidade Microprocessada de Aquisição de Medidas (UMAM), é uma proposta mais barata, portátil e robusta para esta mesma finalidade.

Operando conectada à sonda e a uma outra unidade, desenvolvida com a finalidade de armazenar as medidas, a **UMAM** permite a realização das seguintes tarefas:

- Coleta dos dados provenientes da sonda de forma manual ou automática;
- Processamento matemático destes dados para obtenção dos valores das grandezas físico-químicas;
- Visualização das medidas;
- Armazenamento das medidas em um dispositivo externo de memória, possibilitando a transferência futura destas informações a um microcomputador;
- Calibração dos instrumentos medidores de pH, condutividade, oxigênio dissolvido e profundidade;
- Configuração do modo de operação do equipamento.

3.2 Estrutura física do equipamento

A **UMAM** foi concebida dentro da filosofia de instrumentação eletrônica digital microprocessada. Desta forma, esta é composta de elementos físicos de circuitos (circuitos eletrônicos digitais orientados a microprocessador) e de uma estrutura lógica que opera sobre esta estrutura física (programa).

A estrutura física da **UMAM**, pode ser representada de acordo com o diagrama de blocos apresentado na figura 3.1. Nesta figura, observa-se a presença de um elemento processador (UCP), o qual é o responsável pela coordenação e pela realização das principais tarefas que o equipamento desempenha.

O tipo de processador utilizado neste equipamento, que pertence a uma categoria de componentes processadores denominada microcontroladores, foi desenvolvido pela INTEL Corp. em meados da década de 80.

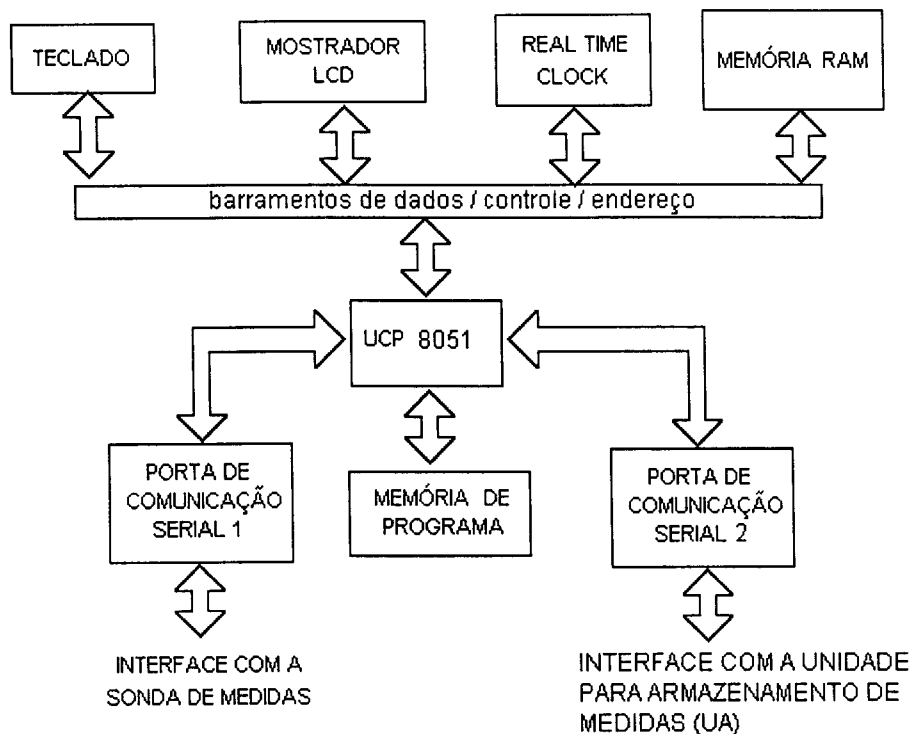


Figura 3.1 - Diagrama em blocos com a representação genérica dos módulos que constituem a UMAM.

Este componente é o circuito integrado 8051, o qual foi o precursor da linha MCS-51 de microcontroladores de 8 bits a qual atualmente encontra-se bastante difundida no mercado (STEWART, 1993).

Os fatores que levaram a escolha deste tipo de processador no projeto do equipamento foram :

- Consistir um componente bastante versátil para aplicações dedicadas;
- Pertencer a uma família de microcontroladores de baixo custo;

- Existir grande quantidade de documentação e ferramentas de programação para desenvolvimento de projetos com este componente;

Observa-se na figura 3.1 a existência de outros módulos de circuito que, a comando do microcontrolador, realizam tarefas específicas. Estes módulos denominam-se genericamente por periféricos.

Um periférico pode ser constituído por um único elemento de circuito ou pela combinação de diversos elementos de circuito (STEWART, 1993). Assim, a combinação do comportamento de cada um dos periféricos determina o comportamento global do equipamento.

Cada periférico será apresentado em mais detalhes nas sub-seções a seguir.

3.2.1 “Real Time Clock”

Este periférico é composto de um único circuito integrado desenvolvido pela Dallas Semiconductors[®] denominado DS 1287, cuja estrutura lógica é apresentada na figura 3.2.

O DS 1287 consiste em um relógio e um calendário digital que fornece informações de data e hora, as quais encontram-se acessíveis à UCP do equipamento como posições de memória RAM (DALLAS, 1998).

No projeto, este permite obter uma base de tempo para que a coleta e o processamento dos dados ocorra de maneira automatizada. Além disso, as informações de data e hora disponibilizadas, são anexadas ao relatório de medidas que a unidade de coleta produz.

Observa-se na figura 3.2 que, além do relógio digital, existe um espaço de memória RAM não volátil de uso geral (114 bytes). A não volatilidade desta memória é garantida pela existência de uma bateria interna no circuito integrado, que possibilita a

manutenção das informações armazenadas mesmo quando o circuito encontra-se sem alimentação externa.

Desta forma, utilizou-se deste espaço de memória disponível para armazenar variáveis de configuração que devem ser mantidas quando a **UMAM** encontra-se desligada.

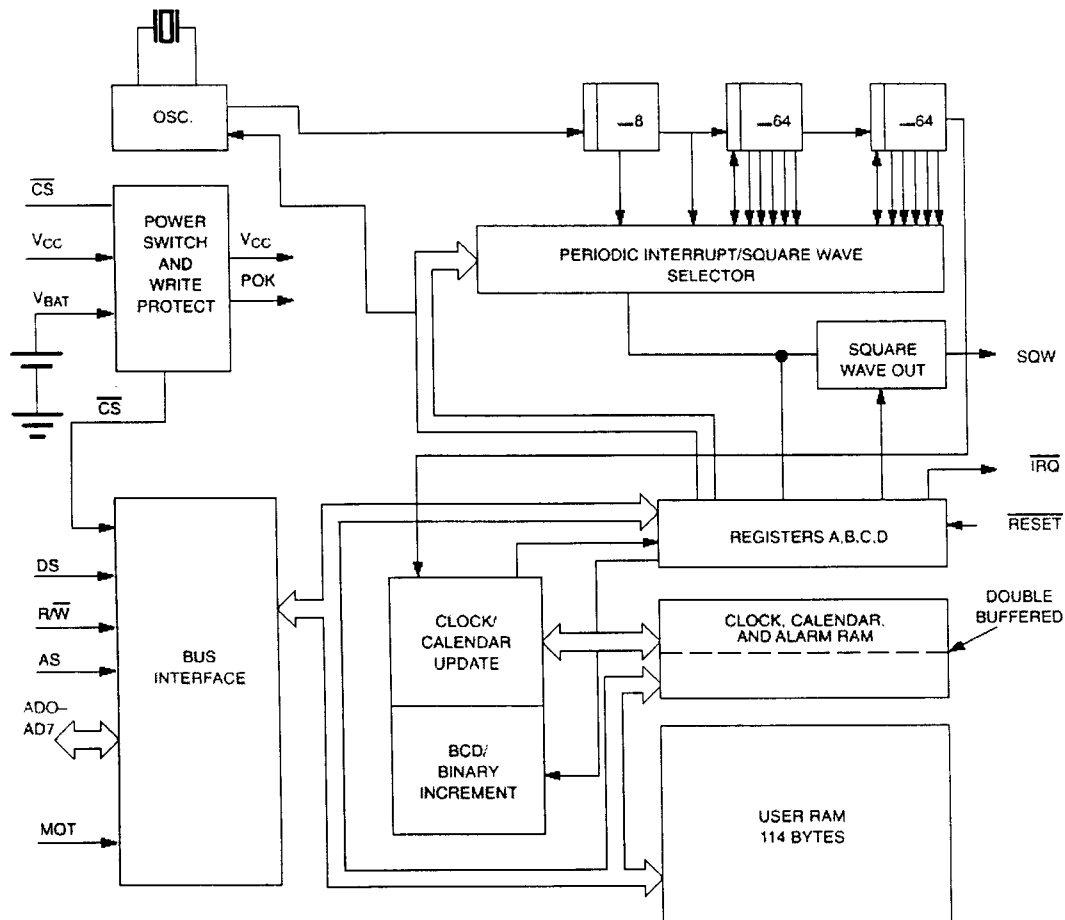


Figura 3.2 – Esquema em diagrama de blocos da estrutura interna do circuito integrado DS 1287 desenvolvido pela Dallas Semiconductors[®].

Este periférico conecta-se com a UCP através de um barramento paralelo idêntico àqueles utilizados em dispositivos de memória convencionais.

3.2.2 *Mostrador LCD e Teclado*

É um mostrador de cristal líquido de duas linhas e quarenta colunas desenvolvido pela Hitachi[®]. Este possibilita ao usuário da **UMAM** visualizar as medidas físico-químicas durante o procedimento de coleta de dados.

O teclado foi desenvolvido no laboratório e apresenta 24 teclas, sendo que cada tecla apresenta um código numérico associado. Através da leitura destes códigos, que são gerados pela ação do usuário sobre este periférico, a UCP determina qual função operacional deve ser executada.

3.2.3 *Portos de Comunicação Serial*

No total de dois, estes possibilitam a conectividade da **UMAM** com dispositivos externos, no caso, a sonda de medidas e a **UA**.

É através do porto de comunicação 1 que o equipamento recebe os dados da sonda. Este porto consiste em uma UART que encontra-se integrada ao microcontrolador utilizado, sendo esta totalmente configurável através de software (STEWART, 1993).

Já o porto de comunicação 2 utiliza-se de dois pinos de entrada e saída do microcontrolador, possibilitando a transferência das medidas físico-químicas para a **UA**.

Ambos os portos utilizam o padrão de comunicação de dados serial assíncrono RS232-C.

3.2.4 *Memória RAM*

A memória RAM é utilizada para o armazenamento dos dados e das variáveis necessárias para a operação lógica do equipamento.

3.2.5 *Memória de Programa*

Toda a organização lógica que define a operação da **UMAM** fica armazenada neste dispositivo de memória. Esta organização lógica consiste em códigos de programa que o microcontrolador interpreta quando acessa este dispositivo.

3.3 **Estrutura lógica da UMAM**

Na seção anterior, tratamos dos elementos físicos de circuito constituintes da **UMAM**. Também comentou-se a respeito da existência de uma estrutura lógica de programa a qual permite a **UMAM** operar sobre as suas estruturas físicas de circuito para realizar as tarefas para as quais esta foi especificada.

Assim como a estrutura física, esta estrutura lógica foi concebida em módulos, os quais foram programados em linguagem C para microcontroladores.

Esta estrutura de programação modular, permite a divisão do código em grupos de métodos e de estruturas de dados por critérios de funcionalidade, facilitando a depuração, a organização, a manutenção e o entendimento da estrutura global do programa desenvolvido.

Uma vez programados, os diversos módulos de código C são compilados através de um compilador adequado para plataforma de microcontrolador utilizado (**BEACH**, 1996).

Após a etapa de compilação, obtém-se códigos em linguagem de máquina, os quais são entendidos diretamente pelo componente de circuito microcontrolador.

Desta forma, os códigos de máquina correspondentes aos módulos e ao programa principal são agrupados através de um 'linker', resultando em um único arquivo de código, o qual é gravado na memória de programa (EPROM) da **UMAM**.

Pode-se subdividir os módulos de programa em dois grandes grupos:

- Módulos básicos para acesso de periféricos : Engloba os módulos que implementam as rotinas que permitem o controle e utilização dos elementos periféricos que constituem o equipamento (display LCD, teclado, relógio, portas de comunicação, etc);
- Módulos de processamento : Utilizando-se dos módulos básicos para acesso de periféricos, permitem manipular e processar as informações geradas ou obtidas destes periféricos (Temporização dos eventos; Controle das Aquisições de dados; Processamento matemático dos dados para obtenção das medidas; Implementação do ambiente operacional do equipamento; Armazenamento de resultados; etc).

3.3.1 A Estrutura Lógica do Programa Principal

Como ponto de partida para o entendimento da estrutura lógica do equipamento, apresentamos na figura 3.3 um diagrama representativo do programa principal.

Cada parte do programa corresponde a um ou mais módulos de código que são responsáveis pela execução de algumas tarefas mais específicas.

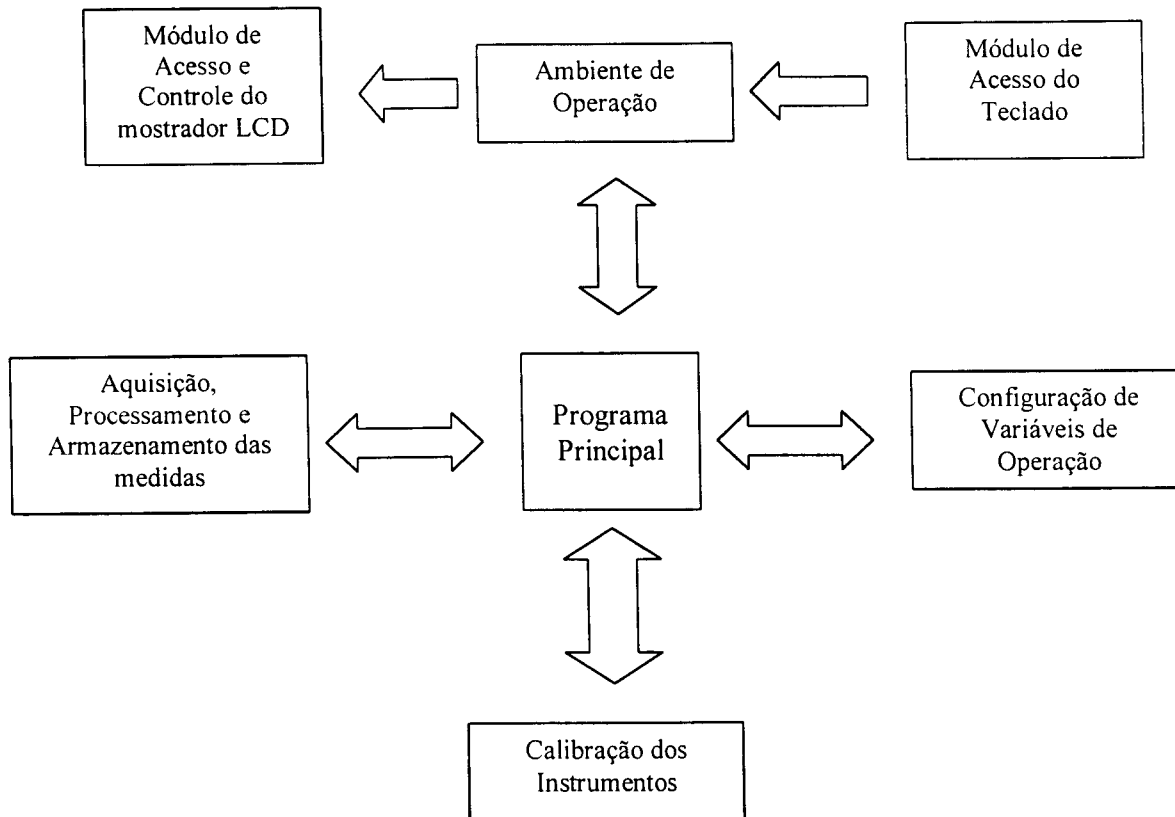


Figura 3.3 – Representação na forma de diagrama do programa principal que permite a operação global do equipamento.

As quatro partes constituintes deste programa são :

- O Ambiente de operação: Permite uma interação amigável do usuário com o equipamento. Através deste ambiente, as tarefas realizáveis pelo equipamento são gerenciadas de acordo com as necessidades do usuário. Implementou-se este ambiente a partir de dois módulos: um responsável pelo controle e utilização do mostrador de cristal líquido e outro pela utilização do teclado;
- Aquisição, Processamento e Armazenamento das medidas : Implementação da função principal do equipamento. Sua estrutura será apresentada e analisada em detalhes mais adiante;

- **Calibração dos instrumentos:** Ajusta as equações que implementam o cálculo das medidas físico-químicas a partir dos dados que a **UMAM** obtém dos instrumentos medidores da sonda. Estes dados são obtidos da sonda para medidas realizadas em padrões físico-químicos confiáveis;
- **Configuração das variáveis de operação :** Permite ao usuário alterar algumas variáveis do programa que determinam o comportamento do equipamento.

3.3.2 *Aquisição, Processamento e Armazenamento das medidas*

A figura 3.4 apresenta um diagrama com a representação dos módulos e das estruturas de dados envolvidos nas tarefas de aquisição e processamento das leituras da sonda e de armazenamento das medidas físico-químicas.

O *Módulo de Acesso e Controle da Porta de Comunicação 1* é o responsável pelo controle direto e a operação da porta de comunicação serial 1 do equipamento.

Conforme já foi exposto na sub-seção 3.2.3 deste capítulo, é através desta porta que a sonda de medidas estabelece comunicação com o equipamento e transmite a ele suas informações.

O controle do processo de aquisição e a organização dos dados provenientes da sonda são realizados pelo *Módulo de Controle de Aquisições*, o qual lida diretamente com o *Módulo de Acesso e Controle da Porta de Comunicação 1*.

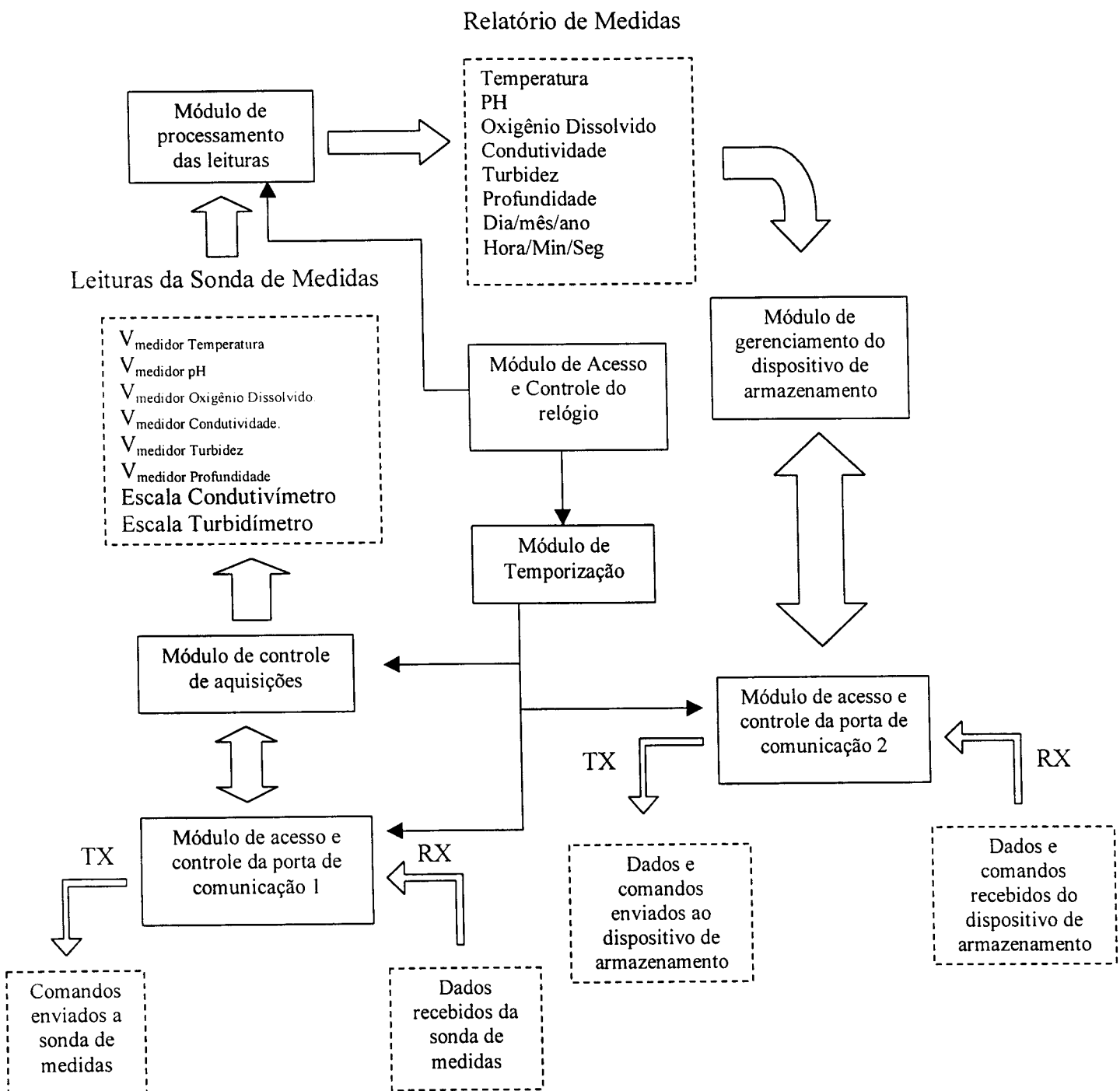


Figura 3.4 - Módulos de código e estruturas de dados envolvidas na execução das tarefas de aquisição de dados da sonda, processamento destes dados para obtenção das medidas físico-químicas e armazenamento destas medidas obtidas.

Desta forma, em cada procedimento de aquisição executado, ocorre a recepção de um pacote de dados cujo tamanho é de vinte bytes (vide figura 3.5). Agrupam-se estes vinte bytes recebidos em seis grupos de três bytes, os quais correspondem as leituras obtidas de cada um dos instrumentos da sonda, sendo que os dois últimos bytes correspondem às escalas dos instrumentos medidores de condutividade e de turbidez respectivamente (BRUNO, 1997).

Denominou-se, para fins explicativos, este conjunto de dados descrito acima de *Leituras da Sonda de Medidas*.

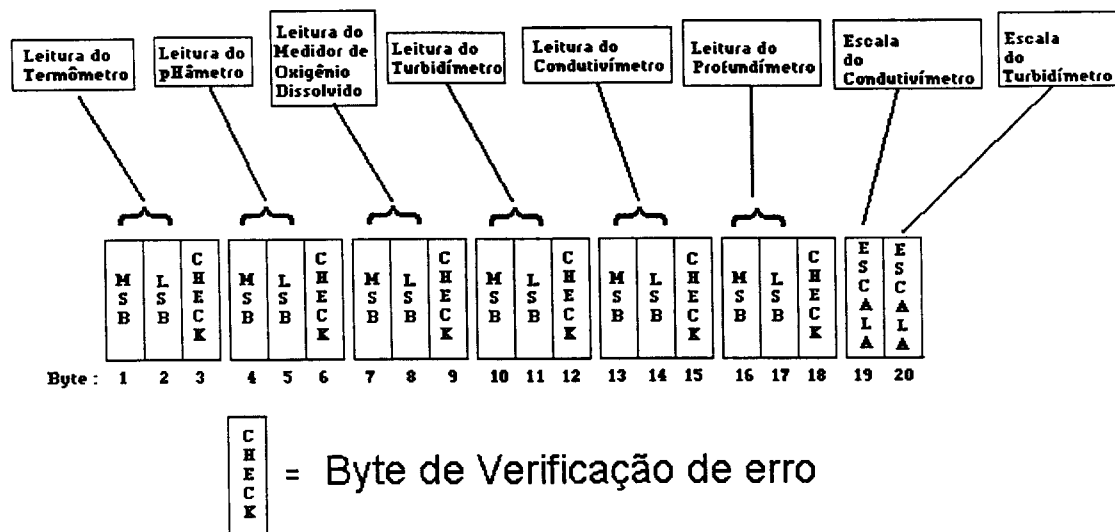


Figura 3.5 – Formato do pacote de dados recebido da sonda de medidas (leituras da sonda de medidas) durante o procedimento de aquisição. O tratamento matemático destes dados é o que garante a obtenção das variáveis físico-químicas desejadas.

As *Leituras da Sonda de Medidas* são tratadas pelo *Módulo de Processamento das Leituras*, o qual produzirá o *Relatório de Medidas*. Neste relatório, encontram-se as medidas Físico-Químicas desejadas e as informações de data e hora na qual a aquisição realizou-se. Este módulo implementa um conjunto de equações matemáticas obtidas da investigação dos instrumentos constituintes da sonda e da teoria eletroquímica envolvida em cada medida, aspectos estes que foram apresentados no capítulo 2.

Uma vez obtido, o Relatório de Medidas pode ser armazenado na Interface de Armazenamento de dados em cartão de memória. Esta interface, que será apresentada no próximo capítulo, encontra-se conectada à porta de comunicação serial 2 do equipamento que é controlada pelo *Módulo de Acesso e Controle da Porta de Comunicação 2* que por sua vez é utilizada pelo *Módulo de Gerenciamento do Dispositivo de Armazenamento*.

3.3.3 Calibração dos instrumentos

A fim de corrigir as equações envolvidas no processamento para obtenção das medidas de pH , quantidade de oxigênio dissolvido, condutividade e profundidade, implementou-se uma metodologia de calibração. Esta metodologia envolve a obtenção de leituras do instrumento sob calibração com o sensor do mesmo inserido em uma solução cuja característica físico-química a ser medida seja previamente conhecida (solução-padrão).

Aspectos a respeito de como se efetua as correções das equações de processamento, bem como das soluções-padrão utilizadas para calibração de cada instrumento em questão, foram tratadas no capítulo 2.

Nesta seção, trataremos da metodologia de calibração em si, ou seja, a maneira na qual o equipamento toma a leitura utilizada como parâmetro de calibração.

O método, que foi programado em um módulo denominado módulo de calibração, é apresentado no formato de fluxograma na figura 3.6.

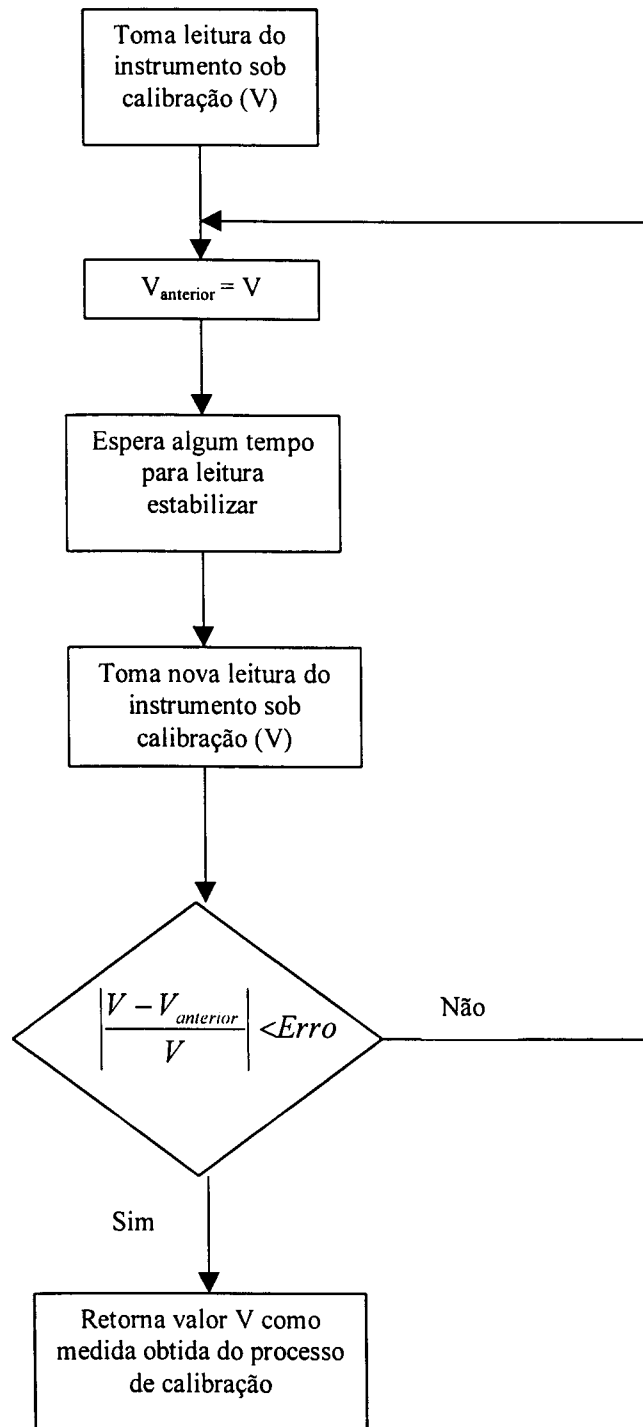


Figura 3.6 – Fluxograma que representa o método utilizado na aquisição de leituras da sonda para a calibração dos instrumentos medidores.

Independente do instrumento sob calibração, leituras são tomadas até que o erro relativo entre duas leituras consecutivas atinja uma precisão desejada. Entre cada leitura ocorre a espera de um tempo para que a leitura do instrumento estabilize.

Ambos parâmetros de erro relativo e de tempo de espera, são ajustados de uma maneira personalizada para cada instrumento em particular. Isto porque cada instrumento apresenta uma resposta dinâmica diferenciada devida a diferente natureza de cada sensor envolvido.

3.4 Aspectos operacionais do equipamento

A interação do usuário com o equipamento ocorre através do teclado e do mostrador de cristal líquido, cujo aspecto é apresentado na figura 3.7.

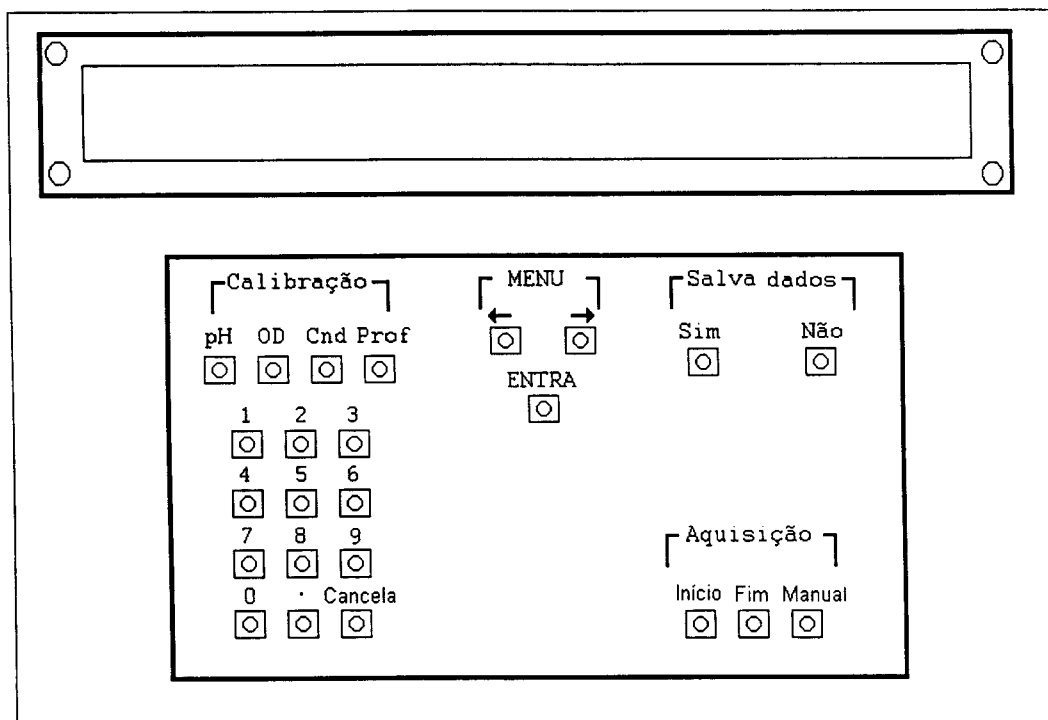


Figura 3.7 - Aspecto do painel frontal da **UMAM**, onde observa-se o teclado e o mostrador de cristal líquido. Através destes, o usuário interage com o equipamento e visualiza as medidas físico-químicas.

A aquisição dos dados é habilitada ou desabilitada através das teclas *Início* e *Fim*, que são vistas no canto inferior direito do teclado. Já a tecla *Manual*, só apresenta funcionalidade quando a unidade não está realizando as aquisições automaticamente.

O armazenamento das medidas é habilitado ou desabilitado pelas teclas *Sim* e *Não*, as quais localizam-se no canto superior direito do painel do teclado. Quando habilitado, o armazenamento das medidas só ocorrerá ao final de cada aquisição de dados, desde que esta tarefa esteja também habilitada.

Através das teclas que encontram-se no centro superior do painel, o usuário acessa um menu que permite a configuração da unidade. É permitido ao usuário atuar sobre três parâmetros do equipamento: escolha do modo de aquisição utilizado, ajuste do relógio interno do sistema e ajuste do dispositivo de armazenamento.

Quando configura o modo de aquisição, o usuário escolhe entre dois modos: o manual ou o automático.

No modo manual, a aquisição só ocorre quando o usuário atua na tecla *Manual*, enquanto que no modo automático, esta ocorrerá numa frequência de aquisição configurável de 1 a 3600 aquisições/hora.

Para o ajuste do relógio, são fornecidas ao equipamento as informações de hora, minuto, segundo, dia do mês, mês e ano via teclado numérico.

O dispositivo de armazenamento é configurado fornecendo-se ao equipamento um número para identificação das coletas. Este número é anexado ao relatório de medidas para possibilitar a identificação da procedência dos dados armazenados, caso haja necessidade de se mapear o local de análise.

A calibração dos instrumentos, é solicitada através do conjunto de teclas de calibração.

Cada tecla aciona uma rotina de calibração da seguinte forma:

- *pH* : Aciona calibração do instrumento medidor de *pH*;
- *OD* : Aciona calibração do instrumento medidor de oxigênio dissolvido;
- *Cond* : Aciona calibração do instrumento medidor de condutividade;
- *Prof* : Aciona calibração do instrumento medidor de profundidade;

Durante o procedimento de calibração de qualquer um destes instrumentos, é solicitado ao usuário o valor da solução-padrão utilizada. Esta solução-padrão deve ser uma que apresente o valor da característica físico-química de interesse bem definida.

Inicia-se a calibração logo após ser pressionada a tecla *Entra* estando o elemento sensor do instrumento sob calibração, inserido dentro da solução-padrão.

3.5 Conclusão

A **UMAM** apresenta-se como um equipamento bastante robusto e versátil para utilização em aplicações que envolvam coletas de medidas em campo. Esta possibilita a obtenção e a visualização das variáveis físico-químicas desejadas, mas não possibilita a automatização do processo de armazenagem destas medidas para análises de coletas em laboratório.

A fim de automatizar a armazenagem destas coletas, construiu-se um equipamento que, quando conectado à **UMAM**, permite a transferência das coletas produzidas pelo conjunto sonda de medidas/**UMAM** a um microcomputador pessoal por intermédio de um dispositivo de memória. Este equipamento é a unidade de armazenamento de medidas (**UA**), e será a abordagem do próximo capítulo deste trabalho.

Capítulo 4

Unidade de armazenamento (UA)

A fim de permitir o armazenamento e a transferência das coletas de medidas físico-químicas desenvolveu-se um equipamento denominado de Unidade de Armazenamento (UA). O meio de armazenamento que é utilizado pela UA consiste num tipo de cartão de memória removível muito utilizado em microcomputadores “Notebook” para expansão de memória denominado de *PC CARD*.

Esta abordagem permite que as medidas coletadas em campo sejam transferidas com facilidade para os locais de análise visto que, além de suas dimensões físicas reduzidas, o *PC CARD* apresenta conectividade com qualquer microcomputador pessoal.

4.1 O meio de armazenamento - *PC CARD* (“*Personal Computer Card*”)

Dispositivos de memória de cartão, comumente denominados de *PC CARDS*, surgiram na década de 80 inicialmente com a finalidade de permitir a expansão de memória em microcomputadores portáteis. Com a difusão desta tecnologia, surgiu a necessidade de se padronizar as características deste tipo de dispositivo para fins de compatibilidade entre diferentes fabricantes. Esta padronização ocorreu com o surgimento da PCMCIA⁴.

⁴ PCMCIA é uma associação que reúne os fabricantes de produtos que utilizam a tecnologia de cartão (Personal Computer Memory Card International Association).

A figura 4.1 mostra dois dispositivos *PC CARD* de memória, sendo um do tipo *SRAM* e outro *FLASH*. Estes apresentam as dimensões de um cartão de crédito e conectam-se ao microcomputador a partir de um conector similar a um "acionador de disquete".



Figura 4.1 - Cartões de memória do tipo *SRAM* e *FLASH*.

A primeira padronização da PCMCIA definiu as características de conexão física (barramento) e a organização do espaço de memória para cartões de memória do tipo *SRAM* e *FLASH*.

Já a segunda padronização adicionou à primeira capacidades que permitem a utilização desta tecnologia no acesso a dispositivos de entrada e saída, possibilitando o surgimento de cartões para conexão de periféricos (modems, placas de rede, discos rígidos, etc) a microcomputadores pessoais.

4.2 Aspectos construtivos da unidade

A figura 4.2 mostra uma representação da Unidade de Armazenamento em diagrama de blocos.

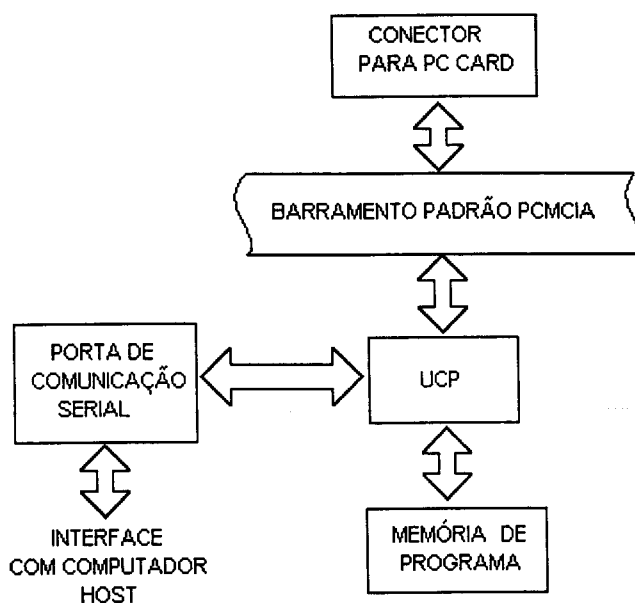


Figura 4.2 - Diagrama em blocos da UA, que serve como ponte entre um Computador Hospedeiro e um *PC CARD*.

Nesta utilizou-se uma UCP da família MCS-51 que faz uma espécie de “ponte” entre um porto de comunicação serial RS-232 C e o barramento padrão PCMCIA no qual encontra-se interligado um conector para *PC CARD*. Este conector possibilita a inserção e a remoção de dispositivos de memória do tipo *PC CARD* no qual os dados serão escritos ou lidos.

Um hospedeiro estabelece comunicação com a UA através do porto de comunicação serial. Desta forma, este hospedeiro envia ou recebe dados da UA ou

então envia comandos a esta. A ação da **UA** sobre o *PC CARD* conectado, depende da interpretação destes comandos provenientes do hospedeiro.

Esta unidade foi projetada para operar com cartões de memória de no máximo 128 KB. Adotou-se esta limitação porque, além de simplificar o circuito, o volume de dados manipulados dificilmente excederá deste valor.

A estrutura lógica da interface, que corresponde a implementação dos comandos que possibilitam as operações realizáveis, fica armazenada na memória de programa que é acessada pela UCP. Esta estrutura lógica bem como a organização do espaço de memória utilizado pela **UA** serão tratadas nas seções a seguir.

4.3 Organização do espaço de memória do *PC CARD*

Para que se possa ler ou escrever dados em um dispositivo qualquer de memória, deve-se estabelecer uma forma de organização do espaço de memória disponível no dispositivo em questão de modo a facilitar o gerenciamento e o acesso aos dados.

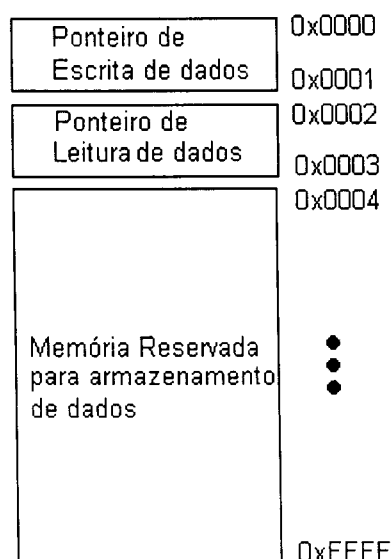


Figura 4.3 – Organização do espaço de memória do *PC CARD* que a **UA** utiliza para o acesso e o gerenciamento de informações.

Para as operações que a UA realiza no espaço de memória do *PC CARD* que encontra-se conectado à sua interface, supõe-se que esta encontra-se organizada conforme a representação mostrada na figura 4.3. Observa-se, nesta figura, que os quatro bytes iniciais de memória são utilizados para armazenagem de um *Ponteiro de Escrita de dados* e um *Ponteiro de Leitura de dados*. Estes ponteiros (dois bytes cada um) armazenam posições de memória aonde as informações relativas às medidas podem ser lidas ou escritas por intermédio da UA.

Estas posições que estes ponteiros armazenam são endereços de memória pertencentes a região denominada de *Memória Reservada para armazenamento de dados*.

Desta forma, no caso de um cartão “virgem” (cartão que nunca tenha sido utilizado pela UA), deve-se preparar o espaço de memória deste antes de executar qualquer operação de escrita ou leitura de dados. Isto é feito a partir de um comando de formatação que será tratado em mais detalhes adiante.

4.4 Aspectos da lógica de operação da unidade

A lógica de operação desta interface é representada pelo diagrama de fluxo da figura 4.4. Na maior parte do tempo, esta aguarda um comando proveniente do computador hospedeiro. Cada comando consiste em um código binário que permite à interface determinar qual tarefa será realizada sobre o dispositivo de memória.

O primeiro comando que o hospedeiro deve enviar é o que estabelece a conexão com a interface. Ao recebê-lo, a interface verifica pela presença de um *PC CARD* em seu conector e envia um código avisando o hospedeiro se está ou não pronta para executar operações futuras como, por exemplo, leitura ou escrita de dados.

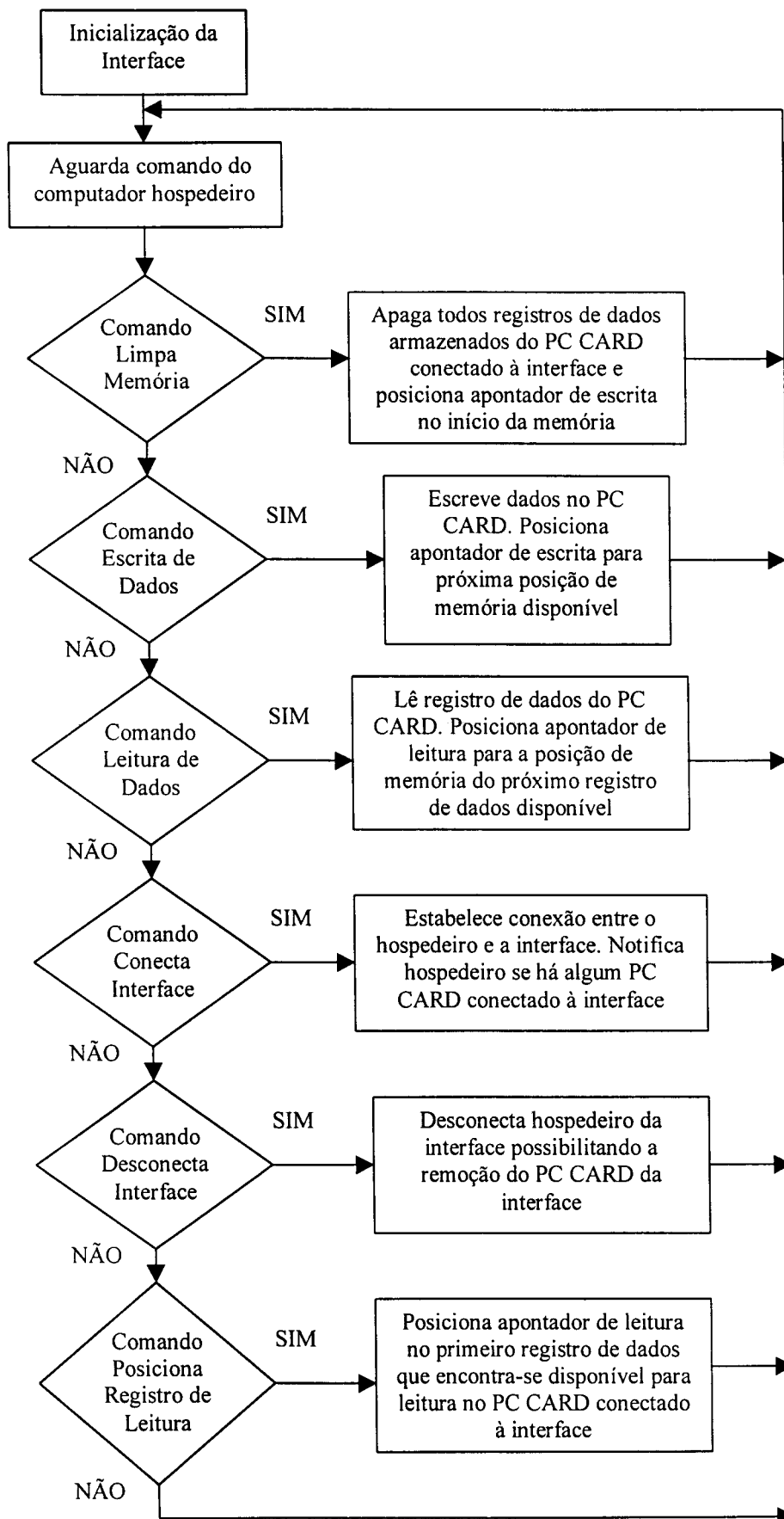


Figura 4.4 – Diagrama de fluxo que apresenta a lógica de operação da unidade de armazenamento de dados desenvolvida.

O comando limpa memória apaga qualquer registro de dados preexistente no cartão de memória que encontra-se conectado. Isto é feito pela UA preenchendo a *Memória Reservada para armazenamento de dados* do cartão com um caracter especial denominado de EOT (código ASCII 01). Este caracter indica que o espaço de memória em questão encontra-se disponível.

Este comando funciona como uma formatação do espaço de memória deste cartão preparando-o para escritas futuras de dados. O comando também faz com que a UA carregue o *Ponteiro de Escrita de dados* e o *Ponteiro de Leitura de dados* com o endereço da primeira posição de memória disponível na *Memória Reservada para armazenamento de dados* do cartão conectado (valor hexadecimal 0x0004).

Dependendo da natureza do sistema hospedeiro conectado, a UA se comportará como um sistema de escrita ou leitura de dados.

Se o hospedeiro for a UMAM, por exemplo, esta enviará comandos à UA solicitando por escrita de dados. Estes dados escritos serão as medidas produzidas pelo conjunto Sonda/UMAM no formato de código ASCII.

No caso do hospedeiro ser um microcomputador pessoal IBM-PC, este enviará comandos solicitando a UA por leitura de dados. Um programa foi desenvolvido em ambiente IBM-PC para a realização desta tarefa e será apresentado na seção subsequente.

A fim de possibilitar a realização da leitura de dados a partir do primeiro registro de dados existente no *PC CARD*, foi definido um comando que apenas acerta o *Ponteiro de Leitura de dados*. Este comando deve ser enviado pelo hospedeiro a UA antes deste executar qualquer operação de leitura de informações.

Ao final das operações, um comando para desconectar a interface é enviado possibilitando a remoção do cartão de memória sem risco de destruição de dados.

4.4.1 O processo de escrita de dados em mais detalhes

Conforme foi explicado na seção anterior, a escrita de dados inicia-se a partir do envio de um comando de escrita de dados do sistema hospedeiro para a UA. A partir deste comando, os dados que a UA recebe do sistema hospedeiro são escritos na *Memória Reservada para armazenamento de dados* do cartão conectado a partir do endereço de memória que encontra-se armazenado no *Ponteiro de Escrita de dados*.

Estes dados de medidas que o hospedeiro envia para a UA, correspondem a uma sequência de caracteres ASCII, sendo o marcador de final desta sequência um caracter especial denominado EOT (“end of transmission”).

Ao receber este caracter especial, a UA termina o processo de escrita carregando o *Ponteiro de Escrita de dados* com o valor da posição de memória subsequente àquela aonde os dados recebidos foram armazenados.

4.4.2 O processo de leituras de dados em mais detalhes

As informações existentes na *Memória Reservada para armazenamento de dados* do cartão conectado a UA são transferidas ao hospedeiro a partir de um comando de leitura de dados.

Estas informações são aquelas gravadas no cartão através da operação descrita na subseção anterior por um hospedeiro **UMAM**.

O endereço inicial da *Memória Reservada para armazenamento de dados* para a leitura das informações é aquele que encontra-se armazenado no *Ponteiro de Leitura de dados*.

A transferência das informações ao hospedeiro ocorrerá até o instante em que a UA encontrar na memória um código marcador de fim de dados (EOT). Assim, o processo de leitura de dados é encerrado e o *Ponteiro de Leitura de dados* é atualizado com um novo endereço que corresponde a posição subsequente àquela do marcador encontrado.

4.5 O programa para organização e manipulação dos dados (GETIT)

Com a finalidade de recuperar os dados armazenados no cartão de memória pela UA, organizá-los em relatórios e armazená-los em arquivo num microcomputador IBM-PC, desenvolveu-se um programa em C++ ao qual denominou-se de **GETIT**.

A vantagem da implementação em C++, é que esta é uma linguagem orientada a objeto, o que possibilita o aumento da produtividade na implementação do programa, pois, através do conceito de TAD (tipo abstrato de dados), as linguagens orientadas a objeto possibilitam a reutilização e a melhor organização do código.

A partir da implementação de objetos (os quais são definidos como classe em C++), encapsulam-se métodos (subrotinas) que realizam tarefas específicas e comuns.

A estrutura global do programa **GETIT** em termos dos objetos que o constituem é apresentada na figura 4.5. Conforme observa-se nesta figura, foram implementados dois objetos fundamentais dos quais o programa principal **GETIT** faz uso :

- Classe TSerial : Consiste em um TAD que gerencia a porta serial do microcomputador. Este objeto apresenta métodos para a configuração da porta serial e recepção/transmissão de dados através da UART de um microcomputador IBM-PC;
- Classe TCard : Este objeto implementa os comandos e protocolos necessários para a comunicação com a interface UA. É através deste objeto, que faz uso do objeto

TSerial apresentado no item anterior, que o programa **GETIT** conecta-se com a UA, recebe os dados do cartão conectado a esta e os armazena em um arquivo de dados.

A parte de gerenciamento de arquivos do programa, foi implementada a partir da biblioteca padrão de manipulação de arquivos do C++ denominada fstream;

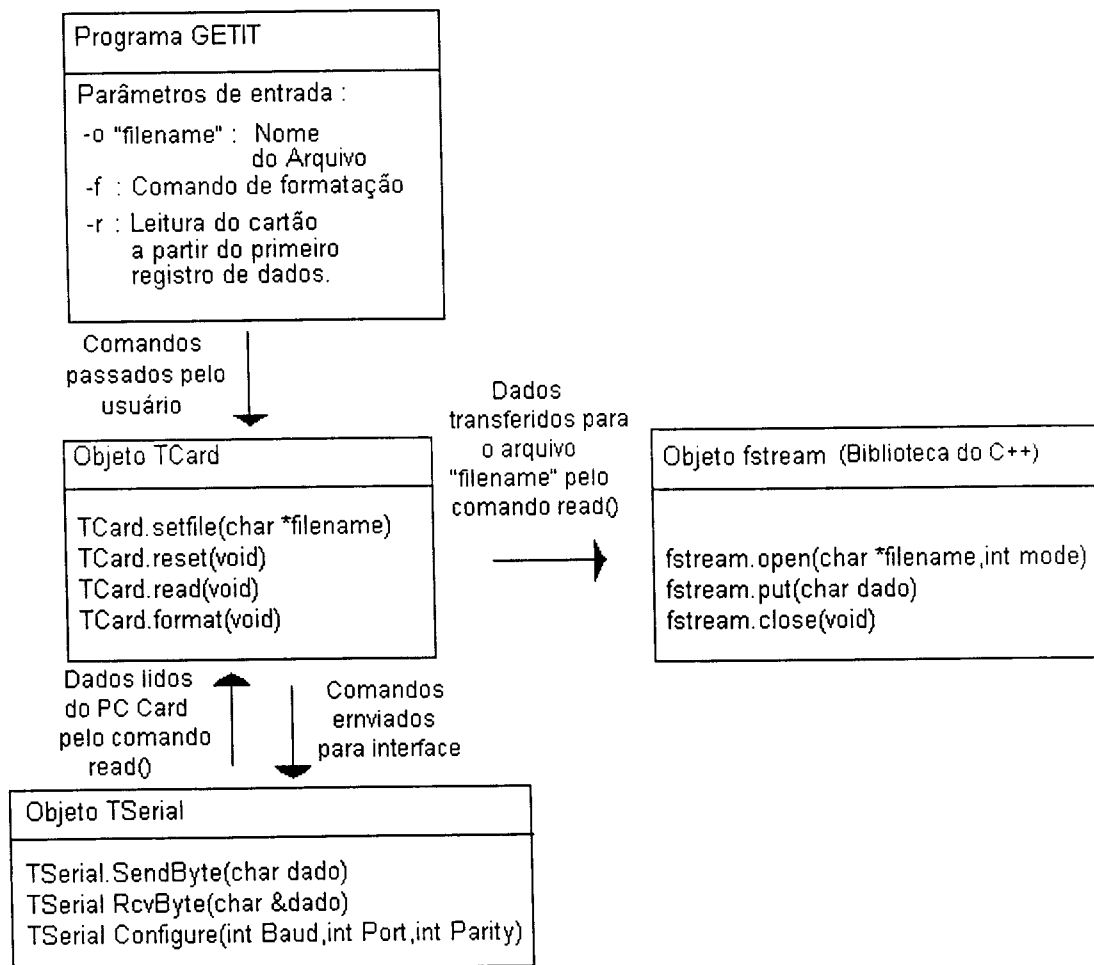


Figura 4.5 - Representação do programa **GETIT** em diagrama de blocos. Nesta figura, cada bloco representa um objeto com seus métodos. As setas representam a intercomunicação entre os módulos.

4.6 Conclusão

Até este capítulo, ênfase foi dada na caracterização e na descrição dos três equipamentos que compõem o sistema monitor para medidas físico-químicas, o qual é a proposta deste trabalho de mestrado.

Esta caracterização não se deteve apenas nos aspectos descritivos destes equipamentos, visto que também procurou-se mostrar a inter-relação existente entre estes no aspecto de conectividade. Garante-se, com isto, que tenhamos uma visão global do sistema proposto.

No próximo capítulo procuraremos, a partir da interconexão destes equipamentos, realizarmos alguns ensaios com o sistema para coletarmos alguns resultados que o valide.

Espera-se, com isso, caracterizar o mesmo nos aspectos de operabilidade, desempenho e precisão.

Capítulo 5

Procedimentos de ensaios e de Validação do sistema

5.1 Introdução

Nos dois capítulos anteriores, foram apresentados os dois equipamentos que, conjuntamente com a sonda de medidas, formam um sistema que permite a coleta, o tratamento, a apresentação e o armazenamento de medidas físico-químicas.

A fim de validar este sistema medidor, foram realizados ensaios de laboratório aonde efetuaram-se calibrações e medidas em diferentes tipos de amostras de água. Com isto, é possível caracterizar o sistema em termos de precisão e de reprodutibilidade de medidas.

Neste capítulo apresentaremos a metodologia utilizada e os resultados obtidos nestes ensaios. A partir dos resultados, será feita uma discussão a respeito do desempenho do sistema; discussão essa que encontra-se no último capítulo do trabalho.

5.2 Metodologia dos ensaios

Os ensaios foram realizados em ambiente de laboratório sobre algumas amostras de água com os equipamentos que compõem o sistema medidor conectados conforme apresentado no esquema da figura 5.1.

Uma calibração inicial foi realizada nos instrumentos medidores de *pH*, oxigênio dissolvido e condutância.

Os padrões utilizados na calibração do medidor de *pH* foram duas soluções-padrão (soluções de *pH* 10 e 4). Os valores de *pH* destas soluções apresentam variações

muito pequenas com a temperatura (ORION, 1988) o que garante uma boa precisão para este instrumento.

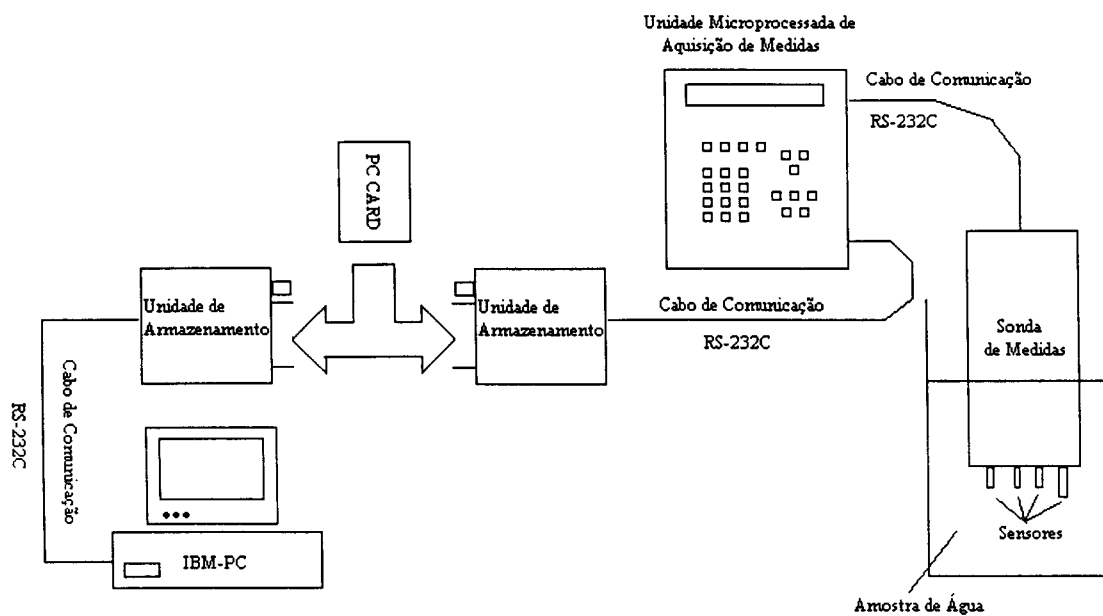


Figura 5.1 – Esquema mostrando a interligação entre os módulos de equipamento que compõem o sistema medidor para a realização dos ensaios de laboratório.

A calibração do medidor de oxigênio dissolvido envolveu a utilização de soluções com 75 % e 0 % de oxigênio, conforme sugerido na seção 2.6 deste trabalho. Pelo fato de o instrumento medidor de oxigênio dissolvido não apresentar boa reprodutibilidade, repetiram-se diversas calibrações com um intervalo de trinta minutos entre cada calibração realizada.

No caso do medidor de condutância, utilizou-se como padrão de calibração uma solução salina de *KCl* preparada em laboratório cuja condutância vale $1453 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a temperatura de 23°C .

Após estas calibrações, realizaram-se medidas em diferentes tipos de amostras de água.

Através da UA que encontra-se conectada ao equipamento responsável pela obtenção das medidas da sonda (UMAM), foram armazenados todos os resultados obtidos em um cartão de memória. Estes resultados foram então transferidos do cartão para um microcomputador IBM-PC. Desta forma, produziu-se um relatório de medida para cada experimento realizado.

5.3 Resultados

A figura 5.2 apresenta um relatório obtido do sistema para ensaios efetuados na água proveniente da rede de abastecimento da cidade de São Carlos, a qual foi captada em uma torneira existente no laboratório. Esta tabela é uma cópia do arquivo de saída produzido pelo programa **GETIT**.

Este relatório é organizado pelo programa de forma que nas duas primeiras linhas observam-se a data na qual as medidas foram realizadas e um número denominado de *ID*. Este número *ID* é inserido a fim de permitir uma forma de identificação do relatório. As linhas seguintes do relatório formam uma tabela de medidas, sendo a última coluna da tabela o registro do instante no qual ocorreu cada aquisição de medidas.

Já a figura 5.3 é um relatório obtido a partir de medidas efetuadas com o sistema na amostra anterior com a adição de uma certa quantidade de bissulfito de sódio a esta.

A comparação de ambos os relatórios permite constatar que a introdução de bissulfito provocou uma queda significativa no valor da quantidade de oxigênio dissolvido e um aumento significativo da condutância da amostra sob análise.

Data das Coletas: 15/05/00
ID : 1

T(°C)	pH	OD(mg/L)	Cd(mg/l)	Turb(NTU)	Prof(m)	Hora
21.70	7.74	31.91	53.19	4.37	-0.03	13:57:38
21.79	7.74	31.20	55.10	4.37	-0.07	14:02:39
21.79	7.74	31.93	55.30	4.37	-0.03	14:07:40
21.89	7.74	31.98	55.42	4.37	-0.07	14:12:41
21.89	7.75	32.23	55.42	4.37	-0.07	14:17:42
21.89	7.76	32.52	55.62	4.37	-0.07	14:22:43
21.89	7.76	32.50	55.42	3.94	-0.07	14:27:44
22.00	7.76	32.28	55.75	3.94	-0.07	14:32:45
22.10	7.76	32.20	56.07	3.94	-0.07	14:37:46
22.10	7.76	31.64	55.87	3.94	-0.07	14:42:47

Figura 5.2 – Relatório de medidas obtido nos ensaios realizados com o sistema medidor em uma amostra de água captada na torneira do laboratório.

Data das Coletas: 15/05/00
ID : 2

T(°C)	pH	OD(mg/L)	Cd(mg/l)	Turb(NTU)	Prof(m)	Hora
22.60	7.78	11.54	1112.80	4.37	-0.03	16:10:26
22.60	7.79	4.19	1124.79	4.37	-0.03	16:15:27
22.60	7.79	2.19	1130.79	4.37	-0.07	16:20:28
22.60	7.79	1.92	1132.79	4.37	-0.07	16:25:29
22.60	7.79	1.80	1138.79	4.37	-0.07	16:30:01
22.70	7.80	1.53	1143.31	3.94	-0.07	16:35:02
22.70	7.80	1.85	1145.32	3.94	-0.11	16:40:03
22.70	7.81	1.48	1147.32	3.94	-0.11	16:45:04
22.79	7.81	1.34	1155.87	3.94	-0.07	16:50:05

Figura 5.3 – Relatório obtido do sistema medidor para a mesma amostra analisada anteriormente com a adição de bissulfito de sódio.

Este resultado era esperado pois, além de ser um reagente que consome o oxigênio da água, o bissulfito de sódio é um sal que provoca alterações no meio iônico da amostra sob análise. Esta alteração se reflete no aumento de condutância observado.

A fim de observar a dinâmica destes dois instrumentos do sistema medidor no decorrer do processo de obtenção destas medidas contruiu-se, a partir dos resultados obtidos, os dois gráficos apresentados nas figuras 5.4 e 5.5.

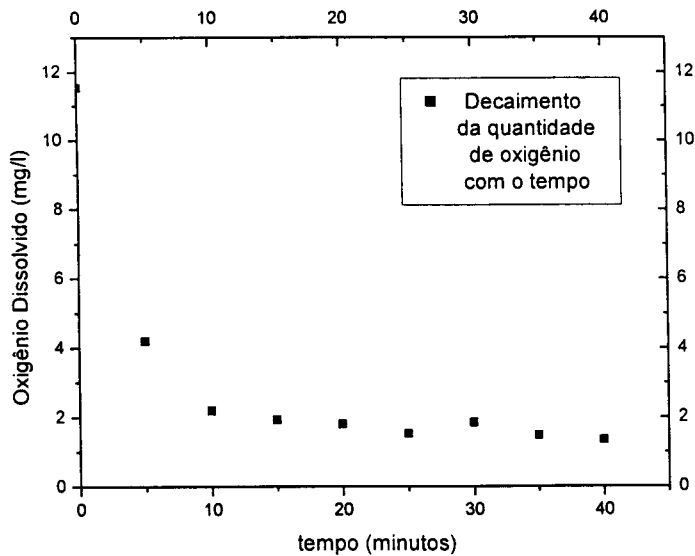


Figura 5.4 –Gráfico que apresenta a dinâmica da medida da quantidade de oxigênio dissolvido da solução sob análise versus o tempo, com a adição de bissulfito de sódio a amostra.

Observa-se destes gráficos que existe um tempo de acomodação da leitura para cada uma destas medidas. Este tempo de acomodação varia de acordo com o instrumento observado e o ensaio realizado devido a dois fatores principais:

- A resposta dinâmica dos sensores utilizados na sonda;
- A dinâmica da reação envolvida;

Destes fatores, o primeiro é o que mais contribui para resposta observada visto que este é muito mais lento do que o segundo.

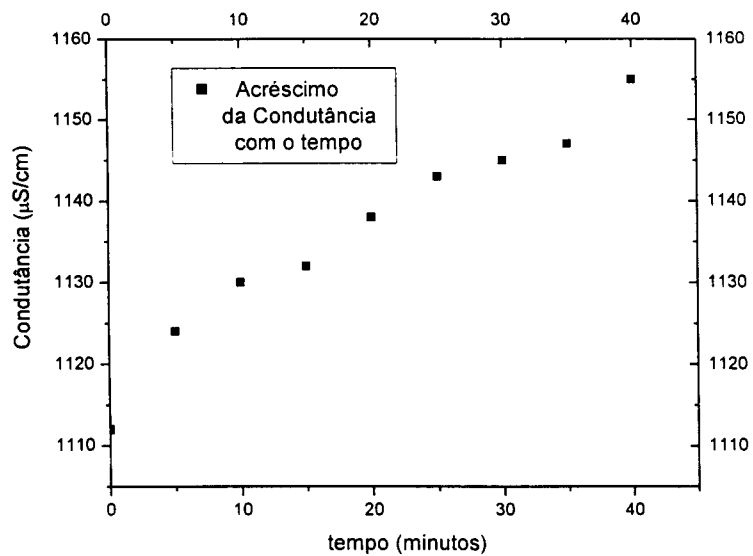


Figura 5.5 - Gráfico que apresenta a dinâmica da medida da condutância da solução sob análise versus o tempo com a adição de bissulfito de sódio a amostra.

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Introdução

O desenvolvimento de um sistema de instrumentação microprocessada para a obtenção de medidas de variáveis físico-químicas para análises hídricas, que foi o objetivo deste trabalho, envolveu diversas áreas de conhecimento como instrumentação eletrônica, eletroquímica, eletrônica digital e microprocessadores.

Muitas das dificuldades encontradas neste trabalho deveu-se a este caráter multidisciplinar. A realização de experimentos para a aferição do sistema medidor requer o preparo de soluções eletroquímicas relativamente precisas em um laboratório devidamente estruturado para esta finalidade. Como o projeto foi desenvolvido num laboratório com ferramentas para o desenvolvimento de equipamentos de instrumentação eletrônica, o resultado destes experimentos deixou a desejar.

Desta forma, maior ênfase foi dada no desenvolvimento dos equipamentos de coleta e armazenamento de medidas sendo que os ensaios de aferição e calibração foram efetuados muito mais qualitativamente do que quantitativamente.

6.2 Limitações encontradas na sonda de medidas

O comportamento do sistema medidor foi considerado satisfatório apesar das incoerências encontradas em algumas das medidas obtidas, como no caso da turbidez e da profundidade. Estas incoerências são resultado das deficiências encontradas no protótipo da sonda de medidas utilizada nos ensaios, pois os resultados obtidos do

sistema medidor como um todo dependem muito diretamente das informações que esta produz.

O funcionamento inadequado do medidor de turbidez resultou na obtenção de leituras constantes para qualquer amostra medida impossibilitando a aferição adequada deste instrumento.

Constatou-se para o medidor de profundidade que variações provocadas na salinidade das amostras de água sob medição produziram variações na leitura deste instrumento em uma mesma profundidade; isto porque as leituras produzidas pelo sensor de profundidade variam não só com a pressão da coluna de água na qual este está inserido, como também com a densidade da água, que é uma função da salinidade.

Para contornar este problema, deve-se investigar quantitativamente qual a influência da salinidade nesta medida e corrigir a equação que implementa o cálculo desta medida, a qual encontra-se implementada na programação do equipamento de aquisição (UMAM).

6.3 Questões relativas ao desenvolvimento da UMAM

O microcontrolador utilizado no equipamento de aquisição de medidas (UMAM) (MCS 8051) mostrou-se bastante limitado em termos de capacidade de cálculo aritmético por apresentar um conjunto muito restrito de instruções aritméticas e apenas oito dígitos binários para a representação das informações que este manipula. Em contrapartida, as vantagens que levaram ao seu uso no projeto são a sua versatilidade e seu baixo custo.

Sentiu-se a força desta limitação quando necessitou-se de implementar as funções de processamento matemático utilizadas na obtenção das medidas físico-químicas. O tempo dispendido na programação destas funções em linguagem de máquina, que

operam sobre números reais representados em ponto flutuante, seria muito grande e muito susceptível a erros.

A utilização de um compilador C direcionado para esta plataforma de microcontrolador, que já apresenta uma biblioteca para cálculo matemático, possibilitou a geração destes códigos de programação com maior produtividade de programação e confiabilidade.

Em detrimento, o código de máquina produzido por esta técnica apresentou-se muito extenso e redundante tornando o processamento lento e exigindo a utilização de memórias externas ao microcontrolador.

A lentidão no processamento não afetou o desempenho do sistema porque o tempo dispendido nesta tarefa é sempre inferior aos requisitos de tempo do sistema, mas o aumento de código tornou complexo e pouco compacto a placa do circuito do equipamento.

6.4 Melhorias propostas para trabalhos futuros

A melhoria do projeto da **UMAM** requer a utilização de componentes microcontroladores mais modernos, os quais encontram-se atualmente disponíveis no mercado de semicondutores (**ATMEL**, 1995).

Estes componentes microcontroladores pertencem a mesma família da utilizada no projeto e apresentam memória interna suficiente para comportar todo o código de programa desenvolvido no projeto.

Com pequenas adaptações, a utilização de um destes microcontroladores permitirá tanto a diminuição da complexidade do equipamento como a compactação de suas dimensões físicas com menor consumo de energia elétrica.

Bibliografia

- ATKINS, P. W. . **General Chemistry – The Properties of Solutions**. New York, Scientific American Book, 1989.
- ATMEL. CORPORATION. **Microcontroller data book**. USA, 1995.
- BEACH, MIKE; DUFFNER, STEFFEN. **C51 Primer**. Documento formato HTML. In: <http://www.hitex.com/automation/docs/c51primer/>. U.K. .Hitex Ltd., 1996.
- BRUNO. RONALDO. **Pesquisa em Instrumentação Eletrônica Microprocessada para a Medida de Parâmetros Físicos e Químicos da Água**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1997.
- COVINGTON, A. K. . **Introduction : Basic Electrode Types, Classification, and Selectivity Considerations**. In: COVINGTON, A. K., **Ion Selective Electrode Methodology**. Florida, CRC Press, 1979.
- DALLAS. **Real Time Clock DS12887 / DS1287**. Documento data sheet em formato pdf. In : <http://www.dalsemi.com/DocControl/PDFs/pdfindex.html>. USA, DALLAS Semiconductor, 1998.
- EHRHARDT; WILLIAM, C.. **IR Drop in Electrochemical Corrosion Studies – Part I : Basic Concepts and Estimates of Possible Measurements Errors**. In: TAYLOR, S. R. and SCRIBNER, L. L.. **The Measurements and Correction of Electrolyte Resistance in Electrochemicals Tests**. Philadelphia, ASTM, 1990.
- FOZDAR, F.M.; PARKER, G.J. and IMBERGER, J.. **Matching temperature and conductivity sensor response characteristics**. Journal of Physical Oceanography, v. 15, 1557-1569, 1989.
- HUTCHINSON. **A Treatise on Limnology – Oxygen in Lake Waters**. New York, John Wiley & Sons, 1957.
- KORYTA, JIRÍ. **Ions, electrodes and membranes – Membranes**. New York, John Wiley & Sons, 1982.
- LADD, M. F. C.; LEE, W. H.. **Modern Physical Chemistry: an Introduction**. U.K., Penguin Books Ltd., 1969.
- LION, K. L.. **Instrumentation in Scientific Research**. New York, Mc Graw-Hill Book Company Inc., 1959.

- MICHAUD, J.P.. **A citizen's guide to understanding and monitoring lakes and streams**. Publ. #94-149. Washington State Dept. of Ecology, Publications Office, Olympia, WA, USA (360) 407-7472, 1991.
- MOORE, M.L.. **NALMS management guide for lakes and reservoirs**. North American Lake Management Society, P.O. Box 5443, Madison, WI, 53705-5443, USA, 1989 (<http://www.nalms.org>).
- OEHME, F. **Liquid Electrolyte Sensors: Potentiometry, Amperometry and Conductometry**. In: GÖPEL, W.; HESSE, J.; ZEMEL, J. N. . **Sensors: A comprehensive survey**. New York, 1991.
- ORION. **Ross pH electrode instruction manual**. Manual técnico. USA, Orion Research Incorporated Laboratory Products Group, 1988.
- STEWART, James W.. **The 8051 microcontroller : hardware, software and interfacing**. New Jersey, Regents/Prentice Hall Inc., 1993.
- VARTANIAN, V.; SIFFERLEN, T.P.. **Digital Electronics with Engineering Applications**. USA, Prentice-Hall Inc., 1970.
- WANG, Joseph. **Analytical Electrochemistry**. New York, VCH Publishers Inc., 1948.
- WESTCOTT, C. C. . **The pH Meter**. In: WETSCOTT, C. C. . **pH Measurements**, New York, Academic Press, 1978.

Apêndices

Apêndice A - Fotos

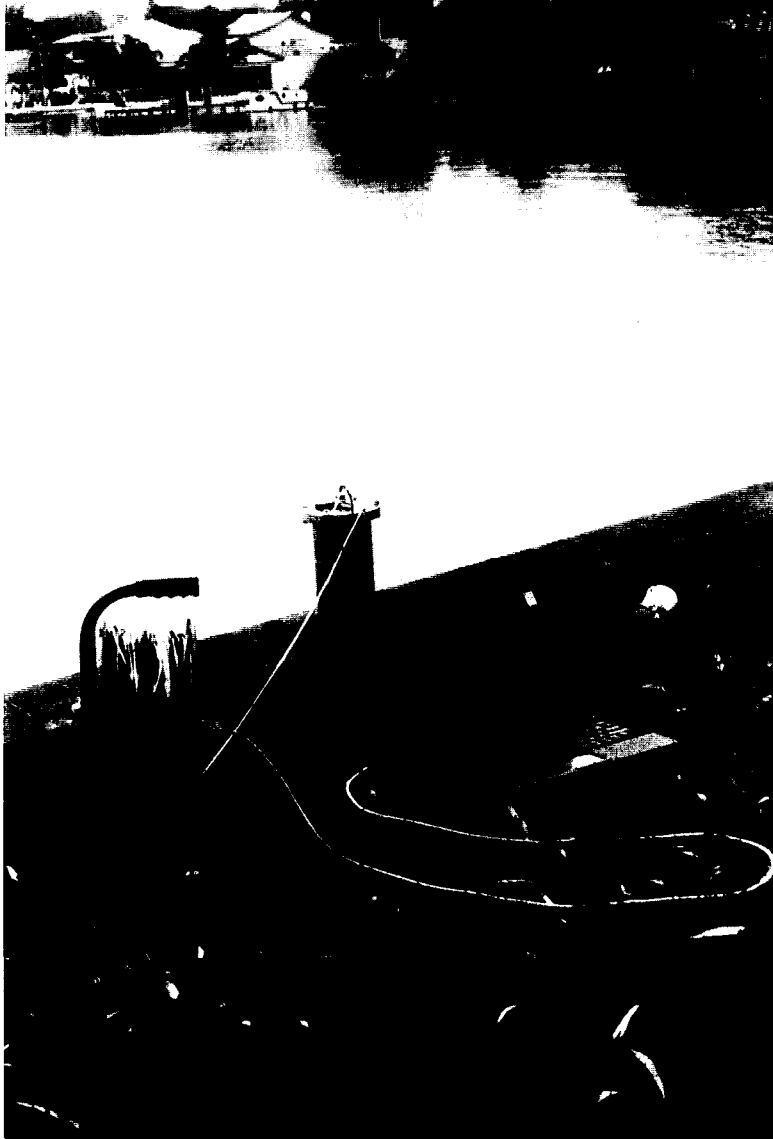
Este apêndice apresenta um conjunto de quatro fotos que ilustram os ensaios realizados com o sistema monitor na represa do Lobo, a qual encontra-se situada no município de Itirapina - SP.

Fotografia 1 : O processo de coleta de medidas.

Inserindo-se a sonda na represa, consegue-se visualizar as medidas físico-químicas através do computador “Notebook” que encontra-se no barco.

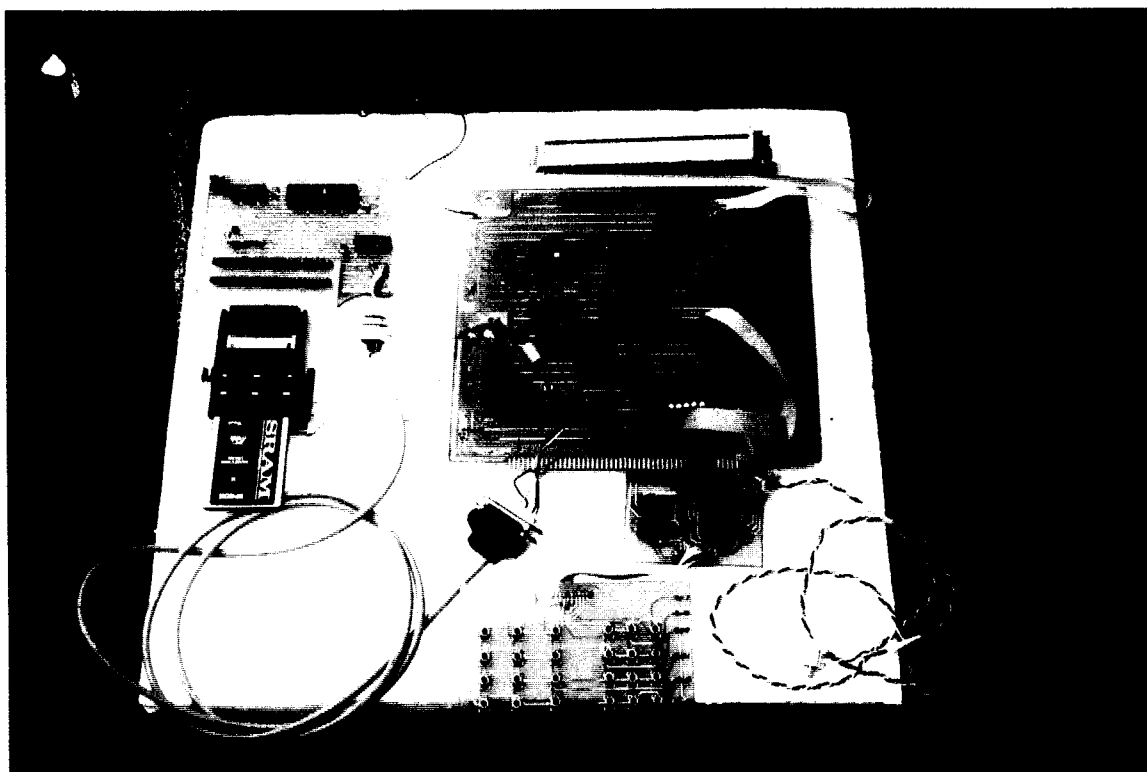


Fotografia 2 : Detalhamento da sonda de medidas e do computador "Notebook"



Fotografia 3 : O primeiro protótipo do Monitor Microprocessado

Com a finalidade de substituir o microcomputador “Notebook” para a realização de medidas de campo, este primeiro protótipo foi construído e utilizado em testes de laboratório. A direita da foto observa-se a placa da **UMAM**. Já a esquerda, observa-se a placa da **UA** juntamente com o cartão PCMCIA utilizado para armazenagem de dados.

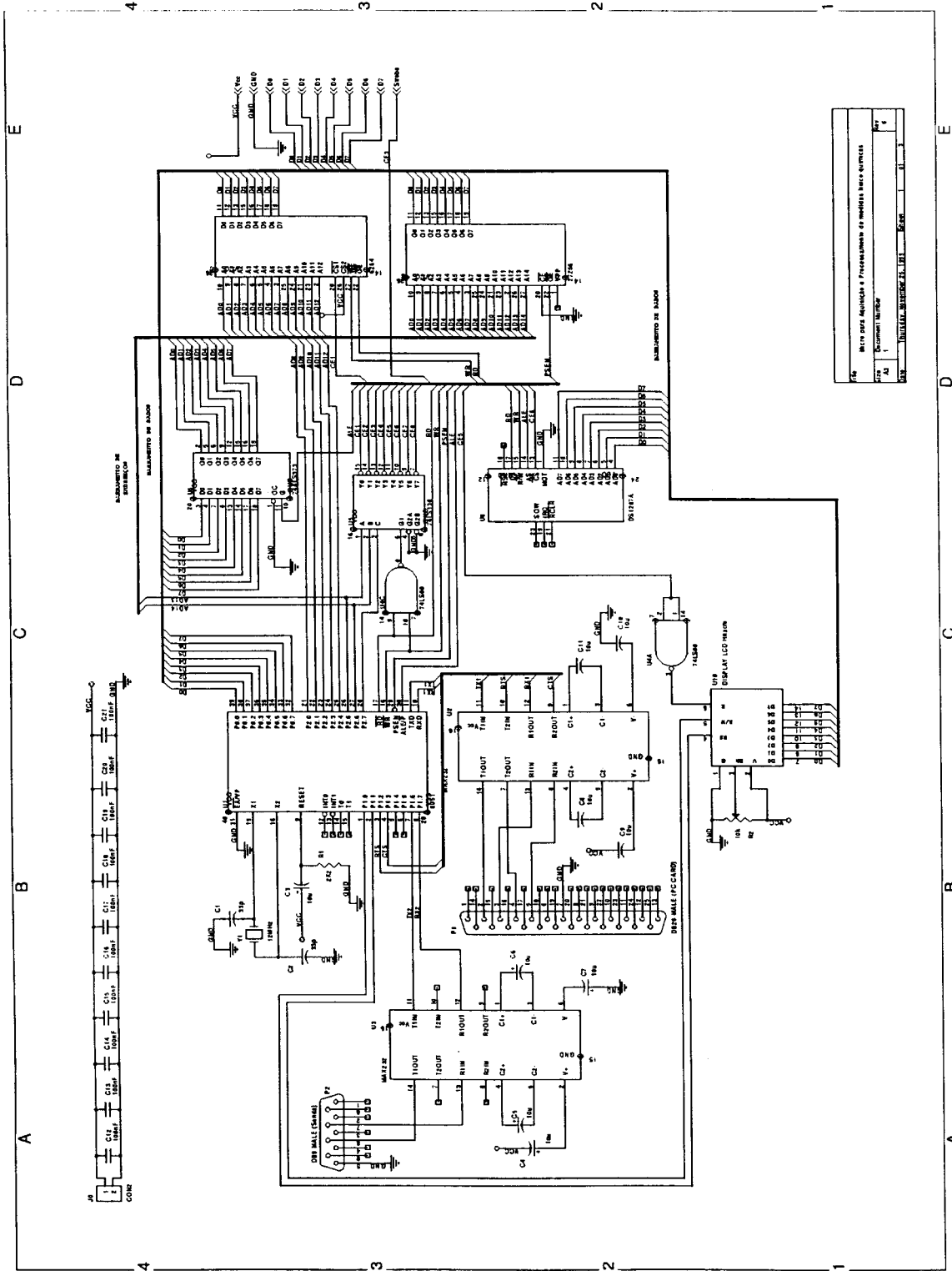


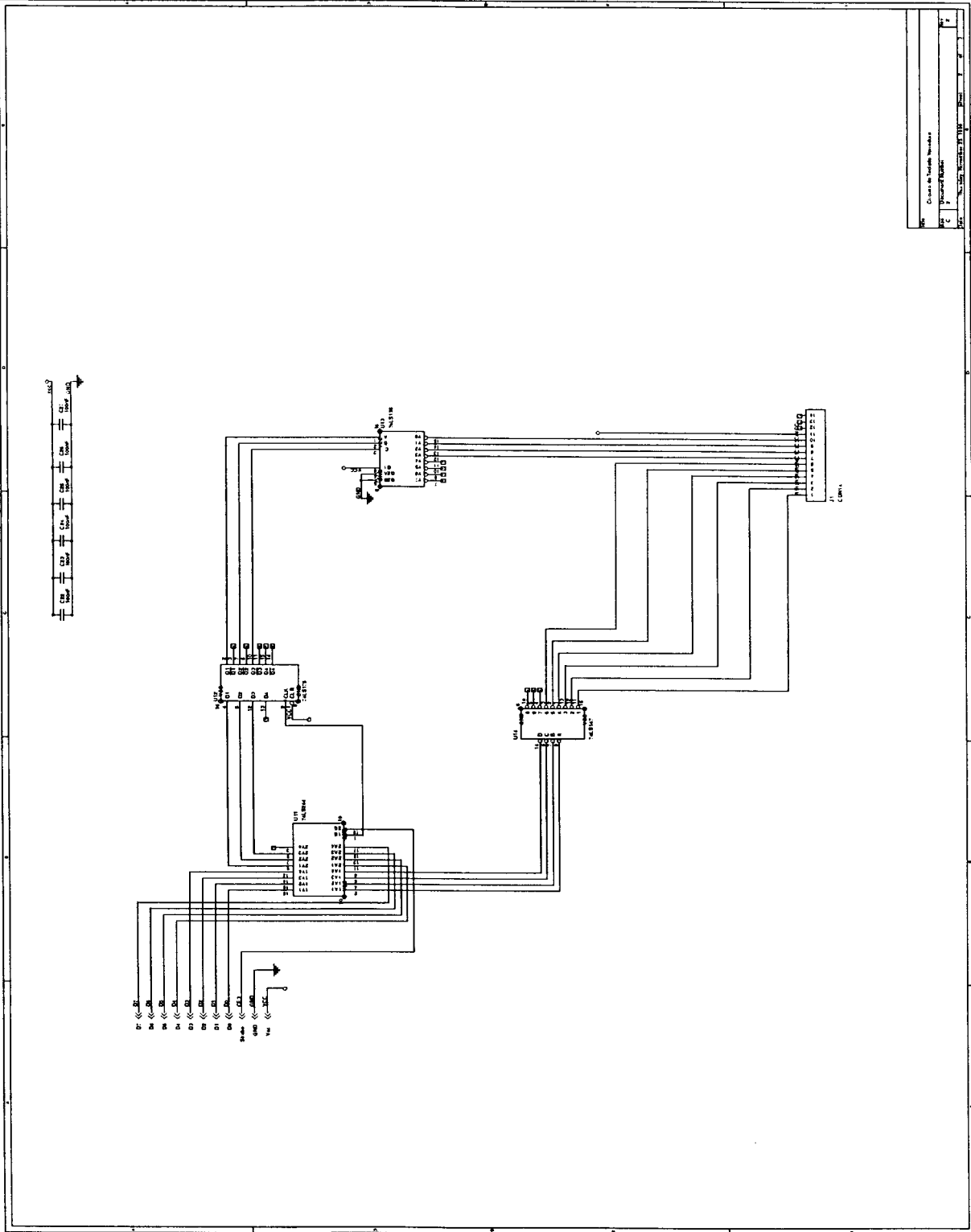
Apêndice B - Esquemáticos dos circuitos dos equipamentos

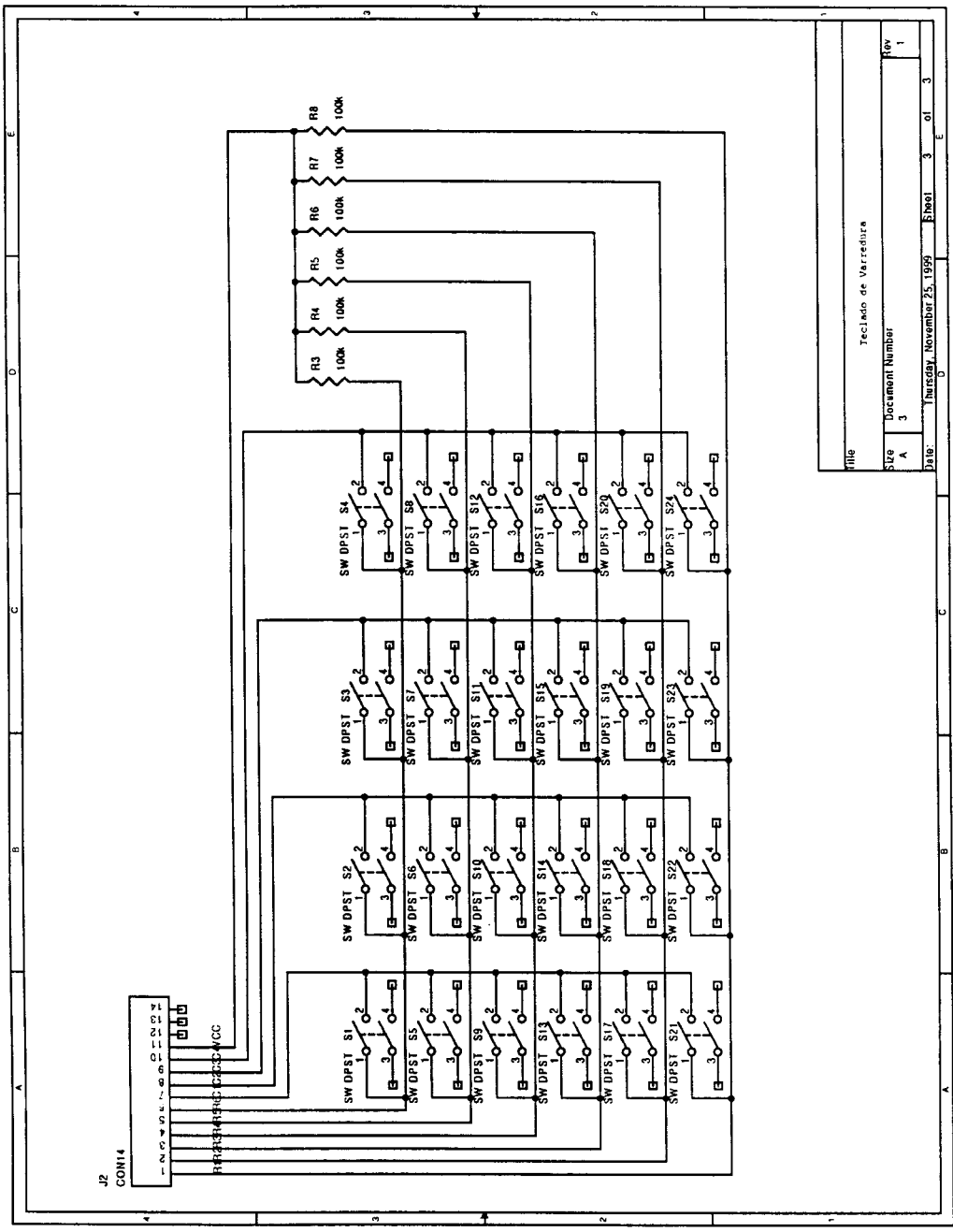
Neste apêndice encontram-se disponíveis os esquemáticos dos circuitos dos equipamentos construídos neste trabalho. Estes esquemáticos foram elaborados a partir do programa **ORCAD** for Windows versão 7.0.

Estão esquemáticos apresentados são os seguintes:

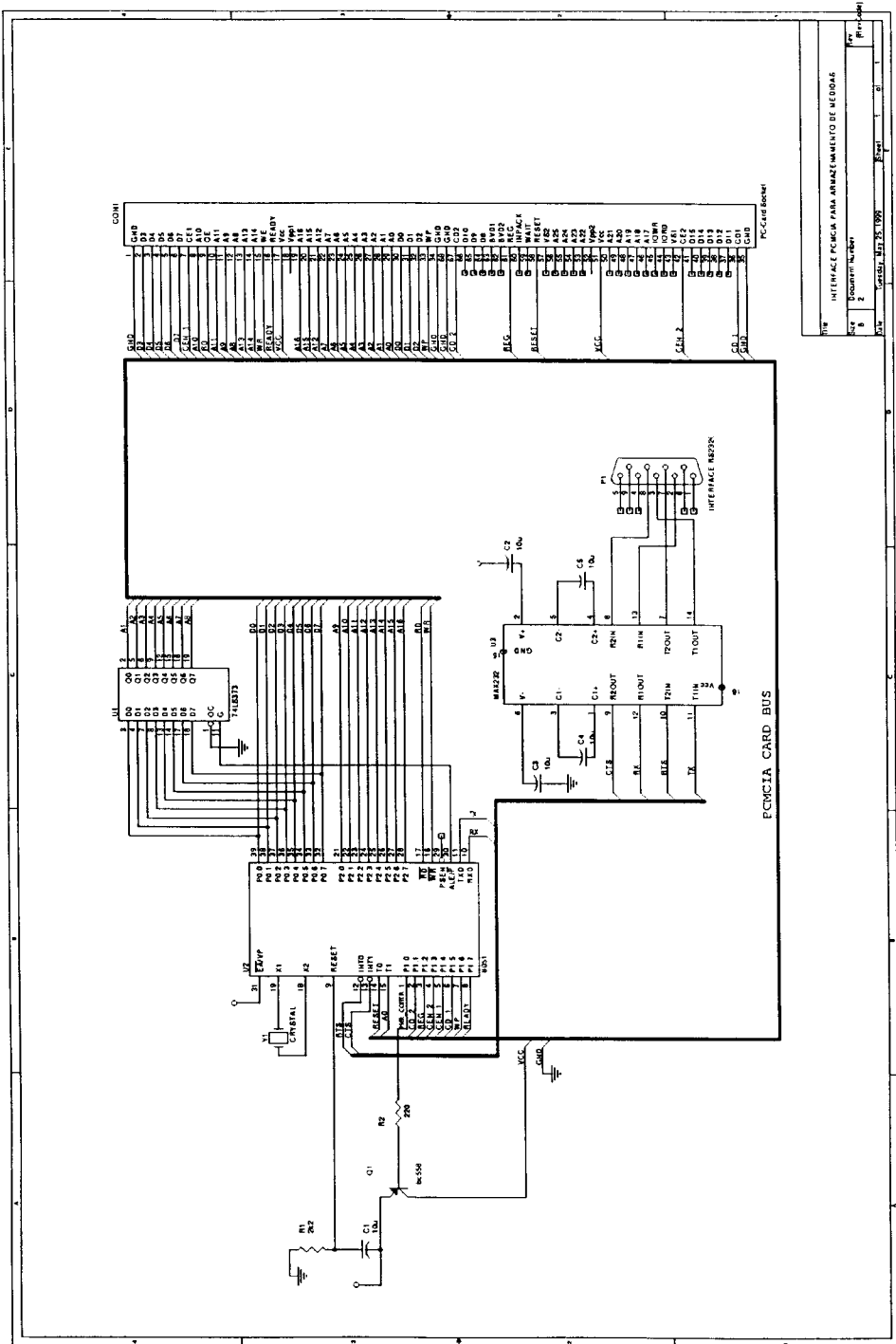
- Esquema do circuito principal da UMAM com o microcontrolador 8051, as portas de comunicação serial, os periféricos e circuitos de controle;
- Esquema do circuito que controla o periférico teclado de varredura, que é um dos periféricos da UMAM;
- Esquema do circuito do teclado de varredura, que é composto de 24 teclas;
- Esquema do circuito da UA com o barramento PCMCIA, o microcontrolador e a porta de comunicação serial;







Title		Teclado de Vereditea	
Size	Document Number	Rev	1
A	3		
Date	Thursday, November 25, 1999	Sheet	3 of 3



PC Card Bus

INTERFACE FPCMCIA PARA ALMACENAMIENTO DE MEDIDAS

Rev. 1

1990

Apêndice C – Código fonte das rotinas de processamento

A título de ilustração, foram inseridas neste apêndice as rotinas que implementam os cálculos para o processamento matemático das informações que a sonda fornece a fim de se obter as medidas físico e químicas.

Estas rotinas são parte de uma biblioteca implementada no projeto denominada *Calibra*, a qual foi desenvolvida em C e compilada para a plataforma de microcontrolador MCS-51.

A biblioteca apresentada aqui, é parte constituinte do programa responsável pela operação do equipamento **UMAM**, que é composto de outros módulos que não foram incluídos aqui.

```

/*****
/* Projeto : Monitor Microprocessado para medição de variáveis hidro- */
/* lógicas. */
/* Autor : Marcelo Marques Simoes de Souza <msouza@if.sc.usp.br> */
/* Arquivo : Calibra.h Data de Criação : 19/11/1998 */
/* Linguagem : Ansi C para microcontroladores mcs-51 */
/* Compilador Recomendado: KEIL C51 for DOS versão 2.30 */
/*****
/* Histórico de modificações */
/* ----- */
/* Data : 19/11/1998 */
/* Descrição : */
/* - Criação da estrutura de dados pacote utilizada para aquisição */
/* dos dados da sonda. */
/* - Implementação da rotina rcv_packet que realiza a aquisição */
/* via porta serial e o pré processamento para separar as leituras. */
/* ----- */
/* ----- */
/* Data : 22/11/1998 */
/* Descrição : */
/* - Criação da rotina DO_Temp que realiza o processamento para */
/* obtenção de temperatura. */
/* ----- */
/* Data : 10/12/1998 */
/* - Implementação da rotina DO_pH que realiza o processamento para */
/* obtenção da medida de pH. Esta implementação utiliza um equaciona- */
/* mento teórico que não considera a resposta do sensor na prática. */
/* ----- */
/* ----- */
/* Data : 15/12/1998 */
/* Descrição: */
/* - Implementação da estrutura de dados pH_cal_buffer utilizada */
/* para calibração do software em função da resposta do sensor de pH. */
/* ----- */
/* ----- */
/* Data : 07/01/1999 */
/* Descrição : */
/* - Implementação da rotina Cal_pH_Buffer para a calibração */
/* da resposta do sensor de pH por 1 ponto de calibração (1 buffer). */
/* - Implementação da rotina Set_pH_Cal_Mod para seleção do modo */
/* calibração desejado (1 ponto , 2 pontos ou sem calibração). */
/* - Modificação da rotina DO_pH com a inclusão de equações */
/* para a medida de pH através de 1 ou 2 pontos de calibração. */
/* ----- */
/* ----- */
/* Data : 19/01/1999 */
/* Descrição : */
/* - Implementação da rotina DO_Oxig_Dissol que realiza o processa- */
/* mento matemático para obtenção da medida de oxigênio dissolvido. */
/* Nesta implementação, utiliza-se uma equação obtida através da */

```

```

/* interpolação linear de pontos da calibração. */
/* Baseado no software "virtual water analyser" desenvolvido por */
/* Ronaldo Bruno (1997) em seu trabalho de mestrado. */
/* ----- */
/* Data : 05/02/1999 */
/* Descrição : */
/* - Implementação da rotina DO_Turb que realiza o processamento */
/* mento matemático para obtenção da medida de Turbidez. */
/* Nesta implementação, utiliza-se uma equação obtida através da */
/* interpolação polinomial de pontos obtidos em ensaios práticos */
/* com a sonda. */
/* Baseado no software "virtual water analyser" desenvolvido por */
/* Ronaldo Bruno (1997) em seu trabalho de mestrado. */
/* ----- */
/* Data : 22/02/1999 */
/* Descrição : */
/* - Implementação da rotina DO_Cond que realiza o processamento */
/* mento matemático para obtenção da medida de Condutividade. */
/* Esta implementação apresenta melhorias em relação ao trabalho de */
/* Ronaldo Bruno como implementação de uma calibração para esta medida */
/* e a correção da mesma com a temperatura. */
/* ----- */
/* Data : 05/03/1999 */
/* Descrição : */
/* - Implementação da rotina DO_Prof que realiza o processamento */
/* mento matemático para obtenção da medida de Profundidade. */
/* Esta é implementação diferente a que Ronaldo Bruno realizou, */
/* visto que o instrumento medidor de profundidade da sonda sofreu */
/* modificações e agora utiliza um sensor sensível à pressão. */
/* Foi implementada uma calibração com o zeramento da leitura a */
/* profundidade de 0 m. */
/* Ainda existe alguns problemas, como variação da medida com a */
/* salinidade da água. É provável que o sensor de pressão seja sensível */
/* a variações de densidade da água. Futuras investigações deverão */
/* ocorrer a respeito desta questão. Essa eu deixo pro próximo */
/* cara que pegar o rojão ;-) */
/* ----- */

// Estrutura de dados para armazenar leituras digitalizadas
// de cada um dos sensores sonda.

struct rcv_data {
    unsigned int V_Temp, // Leitura de Temperatura.
                V_pH, // Leitura de pH.
                V_OD, // Leitura de Oxigenio Dissolvido.
                V_Turb, // Leitura de Turbidez.
                V_Cond, // Leitura de Condutividade.
                V_Prof; // Leitura de Profundidade.
    unsigned char Cond_Scal, // Escala do Condutivimetro.
                Turb_Scal; // Escala do Turbidimetro.
};

#define pH_METER 1
#define OD_METER 2
#define COND_METER 4

// Estrutura de dados para calibracao do medidor de PH.
// Atraves solucoes de condutividade conhecida pH1 e pH2 determinam-se
// as medidas da sonda V_pH1 e V_pH2 respectivamente.
// Desta forma interpola-se uma reta que relaciona pH com V_pH.

struct pH_cal_buffer {
    float pH1,pH2; // Valores das solucoes padroes de pH.
    float Temp1,Temp2; // Leitura de temperatura das solucoes padroes .
    unsigned int V_pH1,V_pH2; // Leituras para Calibracao.
    unsigned char Cal_Mod; // Modo de calibracao
};

// Definicoes dos modos de calibracao do medidor de pH.

#define pH_UNCAL 0
#define pH_CAL_1PT 1
#define pH_CAL_2PT 2

```

```

// Estrutura de dados para calibracao do medidor de Oxigenio Dissolvido.
// Utiliza-se para calibracao duas solucoes padroes : 100 % e 0% de
// Oxigenio dissolvido. Com isso obtem-se duas leituras da sonda :
// V_100 e V_0. Interpola-se desta forma uma reta que relaciona
// porcentagem de Oxigenio Dissolvido versus V_OD medido da sonda.

struct OD_cal_buffer {
  unsigned int V_100,V_0,Pressure;
      float T_100,T_0;
  unsigned char Is_100_Cal,Is_0_Cal;
};

#ifdef _CALIBRA_

// *****
// *Definicoes globais *
// *****

// Numero total de bytes recebidos da sonda para rotina rcv_packet().

#define N_RCV_BYTES 20

// Tempo de espera entre aquisicoes em segundos
// para rotina de calibracao Cal_pH_Buffer().

#define pH_CAL_WAIT 30

// Tempo de espera entre aquisicoes em segundos
// para rotina de calibracao Cal_OD_Buffer().

#define OD_CAL_WAIT 30

// Tempo de espera entre aquisicoes em segundos
// para rotina de calibracao Cal_Cond_Buffer();

#define COND_CAL_WAIT 05

// *****
// *Header das funcoes membros deste modulo*
// *****

float polinom (float *,unsigned char,float); // Metodo numerico para resolver
      // funcoes polinomiais.

// Rotinas auxiliares utilizadas pelas rotinas
// de processamento e calibracao dos instrumentos.

float m_pH (float); // Calcula em funcao da temperatura o coeficiente angular
      // da reta da funcao de transferencia do sensor de pH.
float SOLUB_OD(float); // Calcula Solubilidade do Oxigenio Dissolvido como funcao
      // da temperatura.
float G_COND(struct rcv_data *); // Calcula condutancia da solucao como
      // funcao da leitura do medidor de
condutividade.
float Condutiv(float,float); // Calcula Constante de celula do sensor medidor de
      // Condutancia em funcao da condutancia da solucao e da
      // condutividade da solucao.

void rcv_packet(struct rcv_data *); // Faz aquisicao de dados da sonda de medidas.

void Leitura (struct rcv_data *,float,unsigned char,unsigned char); // auxilia
calbiracao dos instrumentos

// Rotinas de calibracao de instrumentos

void Cal_pH_Buffer(float,unsigned char); // Calibra medidor de pH.
void Cal_OD_Buffer(unsigned char); // Calibra medidor de Oxigenio Dissolvido.
void Cal_Cond_Buffer(float); // Calibra medidor de condutividade.
void Zera_Prof(void); // Calibra medidor de profundidade.

// Rotinas de processamento matematico pars calculo
// da medida de cada instrumento.

float DO_Temp(struct rcv_data *); // Calcula temperatura em graus celcius.
float DO_pH(struct rcv_data *); // Calcula pH.
float DO_OD(struct rcv_data *); // Calcula Oxigenio dissolvido em mg O2 / l.

```

```
float DO_Turb(struct rcv_data *); // Calcula turbidez em NTU.
float DO_Cond(struct rcv_data *); // Calcula condutividade em microsiemens/cm.
float DO_Prof(struct rcv_data *); // Calcula profundidade em metros.

#else

// Rotinas disponiveis para o modulo responsavel por gerar o relatorio das medidas
// apos o calculo das medidas.

#ifdef _REPORT_

extern void rcv_packet(struct rcv_data *);
extern float DO_Temp(struct rcv_data *);
extern float DO_pH(struct rcv_data *);
extern float DO_OD(struct rcv_data *);
extern float DO_Turb(struct rcv_data *);
extern float DO_Cond(struct rcv_data *);
extern float DO_Prof(struct rcv_data *);

#endif

// Rotinas disponiveis ao modulo que e acionado pelo usuario

#ifdef _ENV_

extern void Cal_pH_Buffer(float,unsigned char);
extern void Cal_OD_Buffer(unsigned char);
extern void Cal_Cond_Buffer(float);
extern void Zera_Prof(void);

#endif

#endif

/* FIM DO ARQUIVO CALIBRA.H */
```

```

#define _CALIBRA_

/*****
/* Projeto : Monitor microprocessado para medição de variáveis hidroló- */
/* gicas. */
/* Autor : Marcelo Marques Simoes de Souza <msouza@if.sc.usp.br> */
/* Arquivo : calibra.C Data de Criacao : 20/11/1998 */
/* Linguagem : Ansi C para microcontroladores msc-51 */
/* Compilador : KEIL C51 for DOS versao 2.30 */
/* *****/
/* Proposito : Este modulo é a implementação das funcoes para aquisicao e */
/* processamento das medidas de Temperatura, pH, Condutividade, Turbidez */
/* , Oxigenio Dissolvido e Profundidade provenientes dos instrumentos */
/* da sonda. Tambem estao inseridos neste modulo funcoes para calibracao */
/* das medidas de pH e Oxigenio Dissolvido. A definição destas funções */
/* e as estruturas de dados utilizadas encontram-se no arquivo calibra.h */
/*****/

#include "calibra.h"
#include "rtc_mem.h" // variaveis na memoria do RTC.
#include "dsp.h" // modulo de controle do display lcd.
#include "serial2.h" // modulo de comunicacao serial.
#include "timer.h" // modulo de Rotinas de temporizacao.
#include <math.h> // Funcoes matematicas de ponto flutuante.

float polinom (float *coef,unsigned char n,float x)
{
    data float b; // Para o armazenar os coeficientes bn e cn.
    data signed char i; // Contador de interacoes.

    b = coef[n];

    for (i=n-1;i>=0;i--)
        b = coef[i] + b * x; // Interacao para calculo do fator b.

    return(b); // b = valor do polinomio no ponto x.
}

float m_pH (float Temp)
{
    return (138.75+0.507*Temp);
}

float SOLUB_OD (float Temp)
{
    data float SOLUB;
    code float p[] = {14.158,-0.3875,0.0063}; // Polinomio de grau 2.

    if (Temp < 17.5)
        SOLUB = polinom(p,2,Temp);
    else
        SOLUB = -3.2192*log(Temp) + 14.158;

    SOLUB = SOLUB * (float) (OD_Cal.Pressure)/760; // Corrige valor com pressao
atmosferica

    return(SOLUB);
}

float Condutiv (float Condutiv_25,float T)
{
    return( Condutiv_25*(1 + 0.021*(T-25)) );
}

float G_COND (struct rcv_data *temp)
{
    switch (temp->Cond_Scal)
    {
        case 0:
            return ( 0.0179 * (float) temp->V_Cond - 0.8 );
            break;
        case 1:
            return ( 0.216 * (float) temp->V_Cond + 0.0162 );
            break;
        case 2:
            return ( 2.133 * (float) temp->V_Cond - 2.975);
    }
}

```



```

    break;
}
}

void rcv_packet (struct rcv_data *buffer)
{
    xdata unsigned char temp[19]; // Array temporario para armazenar
                                // os 20 bytes recebidos da sonda.
    data unsigned char i;
    data unsigned int *ptr,*store;

    serial2_snd_byte(0x0A); // Envia comando solicitando medidas para sonda.

    for (i=0;i<N_RCV_BYTES;i++) // Armazena bytes vindos da sonda
        temp[i]=serial2_rcv_byte(); // em array temporario.

    store = (unsigned int *) buffer; // Utiliza ponteiro para inteiro
                                        // para armazenar dados da sonda.
    for (i=0;i<18;i=i+3)
        if (temp[i+1] ^ temp[i+2] == temp[i] ) // Testa erro atraves do byte
            { // que a sonda envia.
                ptr =(unsigned int *) &temp[i]; // Endereca posicao do vetor
                                                // com ponteiro para inteiro.
                *store= ((*ptr) >> 3) & 0x0fff ; // Ajusta medida recebida.
                store++; // Armazena esta utilizando ponteiro store.
            }

    buffer->Cond_Scal=temp[18]; // Armazena diretamente escalas do
    buffer->Turb_Scal=temp[19]; // Turbidimetro e do Condutivimetro.
}

void Leitura (struct rcv_data *tmp,float precisao,
              unsigned char instrumento,unsigned char wait)
{
    data unsigned int *leitura,leitura_ant; // leituras consecutivas.
    data unsigned char i;
    data float erro;

    rcv_packet(tmp); // recebe medida da sonda.
    leitura =(unsigned int *) tmp;

    do {
        dsp_clr_linha(2);
        leitura_ant = leitura[instrumento]; // Armazena leitura do instrumento.
        dsp_wr_char('.'); // Inicacao de processo de calibracao
        for(i=0;i<wait;i++) // Espera T_WAIT segundos
            wait_lseg(); // para estabilizar a medida.
        rcv_packet(tmp); // Faz nova leitura de V_pH medida sonda.
        erro = fabs((float) ((signed int) leitura[instrumento] - (signed int) leitura_ant));
        erro = erro/leitura[i]; // Calcula erro relative entre medidas sucessivas.
    } while (erro > 0.005); // Repete processo ate atingir precisao desejada.
}

void Cal_pH_Buffer (float pH_buf_val,unsigned char N_Buf)
{
    data struct rcv_data temp;

    Leitura(&temp,0.05,pH_METER,pH_CAL_WAIT);

    switch (N_Buf)
    {
        case 1: // Armazena valores para o buffer 1.
            pH_Cal.pH1 = pH_buf_val; // Valor padronizado do buffer.
            pH_Cal.V_pH1 = temp.V_pH;
            pH_Cal.Temp1 = DO_Temp(&temp); // Valor da temperatura do buffer.
            break;
        case 2: // Armazena valores para o buffer 2
            pH_Cal.pH2 = pH_buf_val;
            pH_Cal.V_pH2 = temp.V_pH;
            pH_Cal.Temp2 = DO_Temp(&temp);
            break;
    }
}

void Cal_OD_Buffer (unsigned char buffer)
{
    data struct rcv_data temp;

```

```

Leitura(&temp,0.01,OD_METER,OD_CAL_WAIT);
if (buffer == 0)
{ OD_Cal.V_0 = temp.V_OD;
  OD_Cal.T_0 = DO_Temp(&temp);
  OD_Cal.Is_0_Cal = 1;
}
else
{ OD_Cal.V_100 = temp.V_OD;
  OD_Cal.T_100 = DO_Temp(&temp);
  OD_Cal.Is_100_Cal = 1;
};

void Cal_Cond_Buffer (float C25_Sol_Padrao)
{
data struct rcv_data temp;

Leitura(&temp,0.01,COND_METER,COND_CAL_WAIT);

COND_Const_Cel = Conduktiv(C25_Sol_Padrao,DO_Temp(&temp))/G_COND(&temp);

}

void Zera_Prof(void)
{
data struct rcv_data tmp;

rcv_packet(&tmp);
Prof_Offset = - 0.037 * (float) tmp.V_Prof;
}

float DO_Temp (struct rcv_data *buffer)
{
return((float) (buffer->V_Temp)/10);
}

float DO_pH (struct rcv_data *buffer)
{
data float pH,Temp,M;
data unsigned int V_pH7;

Temp = DO_Temp(buffer); // Calcula temperatura.
switch (pH_Cal.Cal_Mod) // Testa qual calibracao sera utilizada.
{
case pH_UNCAL: // Sem calibracao -> Equacao puramente teorica eletroquimica.
V_pH7 = 2080;
pH = (float) ( (signed int) buffer->V_pH - (signed int) V_pH7 );
pH = pH / m_pH(Temp) + 7.0;
break;
case pH_CAL_1PT: // Com calibracao atraves de 1 buffer.
V_pH7= pH_Cal.V_pH1 + (signed int) ( m_pH(pH_Cal.Temp1) * (7.0 - pH_Cal.pH1) );
pH= (float) ( (signed int) buffer->V_pH - (signed int) V_pH7 );
pH = pH / m_pH(Temp) + 7.0;
break;
case pH_CAL_2PT: // Calibracao por 2 pontos atraves de buffer.
M = (float) ( (signed int) pH_Cal.V_pH1 - (signed int) pH_Cal.V_pH2 );
M = M / ( pH_Cal.pH1 - pH_Cal.pH2 );
M = M + 0.507 * (Temp - ( pH_Cal.Temp1 + pH_Cal.Temp2 ) / 2);
V_pH7 = (unsigned int) ( (signed int) ( M * ( 7.0 - pH_Cal.pH1 ) ) + (signed int)
pH_Cal.V_pH1 );
pH = (float) ( (signed int) buffer->V_pH - (signed int) V_pH7 );
pH = pH / M + 7.0;
break;
};
return(pH);
}

float DO_OD(struct rcv_data *buffer)
{
data float MR,OX,T_media;

if (OD_Cal.Is_100_Cal == 1 && OD_Cal.Is_0_Cal == 1)
{ MR = 1 / (float) ((signed int) OD_Cal.V_100 - (signed int) OD_Cal.V_0);
OX = MR * (float) ((signed int) buffer->V_OD - (signed int) OD_Cal.V_0);
T_media = (OD_Cal.T_100 + OD_Cal.T_0)/2;
OX = OX * SOLUB_OD(T_media) ;
}
}

```

```
    }
    else
        OX = 0.0244 * (float) buffer->V_OD;

    return (OX);
}

float DO_Cond (struct rcv_data *buffer)
{
    return( Conduktiv(COND_Const_Cel * G_COND(buffer),DO_Temp(buffer)) );
}

float DO_Prof(struct rcv_data *buffer)
{
    return( (0.037 * ((float) buffer->V_Prof) + Prof_Offset));
}

float DO_Turb(struct rcv_data *buffer)
{
    code float p0[] = { 0.0636 , 8.8719, -0.2841, 0.0084, -2e-5 };
    code float p1[] = { 0.65, 0.2292, 0.0108, -8e-5 };

    switch (buffer->Turb_Scal)
    { case 0:
        return ( polinom(p0,4,(float) buffer->V_Turb) );
        break;
      case 1:
        return ( polinom(p1,3,(float) buffer->V_Turb) );
        break;
    };
}
/* FIM DO ARQUIVO CALIBRA.C51 */
```

Apêndice D – Programa de operação da UA

Os códigos aqui apresentados formam o programa responsável pela operação da UA. Este programa foi desenvolvido em linguagem montadora para o microcontrolador 8051 com o montador AVMAC51.

Neste apêndice são apresentados 3 módulos de código que compõem o programa :

- Módulo serial.asm : Configura e opera a porta serial do microcontrolador.
- Modulo Cardio.asm : Implementa sinais de controle que possibilitam acesso de I/O ao PC Card.
- Modulo fs2.asm : Utilizando-se dos módulos descritos acima, recebe comandos pela serial e opera sobre o PC Card de acordo com o comando interpretado.

```

;*****
; fs2.asm
; Biblioteca que interpreta e executa comandos recebidos pela RS232-C
; para gerenciamento do espaço de memória de cartão PCMCIA.
; Desenvolvido em 1999 por Marcelo Marques Simões de Souza
; <msouza@if.sc.usp.br>
;*****

        org 0

;*****
; main : Ponto de entrada. Rotina que interpreta comandos.
; Recebe um comando numerico pela serial e realiza a execucao
; do mesmo a partir de uma tabela de desvio.
;*****

main          PROC

        mov sp,#30h
        acall serial_ini ; Inicializa canal serial

next_cmd:
        acall serial_rcv ; Recebe comando pela serial em Acc.
        mov R0,A          ; ... para calculo do endereco ...
        mov DPTR,#cmd_tbl; ... donde se encontra instrucao ...
        rl A              ; ... que deve ser executada.
        add A,R0
        jmp @A+DPTR      ; Vai para o comando a executar.

cmd_tbl:
        ljmp cmd_init    ; Comando 00h -> Abre cartao conectado
                           ; para operacoes de escrita e leitura.
        ljmp cmd_write   ; Comando 01h -> Escrita de um bloco de dados.
        ljmp cmd_read    ; Comando 02h -> Leitura de dados.
        ljmp cmd_format  ; Comando 03h -> Comando para formatar memoria.
        ljmp cmd_reset   ; Comando 04h -> Comando para reposicionar
                           ; ponteiro de leitura de dados
                           ; no primeiro registro.
        ljmp cmd_connect ; Comando 05h -> Sinaliza presenca de cartao
                           ; na interface.
        ljmp cmd_wr_eot   ; Comando 06h -> Escreve EOT no ultimo campo
                           ; de escrita de dados.
        ljmp cmd_fim     ; Comando 07h -> Fecha cartao conectado.

        ENDPROC

EOT      EQU 04h
LFCR     EQU 0Ah

```

```

;***** Modulos externos para comunicacao serial *****
        EXTERN  Serial_ini
        EXTERN  Serial_rcv
        EXTERN  Serial_snd

;*****
; Uso dos registradores e memorias:
;
; - R3R2 do banco 1 -> Ponteiro para leitura de frames.
;
; - R5R4 do banco 1 -> Ponteiro para escrita de frames.
;
; - Posicao de memoria 0000h e 0001h do PC CARD -> Espaco de memoria para
; armazenamento do ponteiro para escrita de frames.
;
; - Posicao de memoria 0002h e 0003h do PC CARD -> Espaco de memoria para
; armazenamento do ponteiro para leitura de frames.
; - Posicoes de memoria de 0004h - FFFFh -> Disponivel para armazenamento
; das informacoes
;*****

; cmd_init : Inicializacao. Primeiro comando a ser executado.
; Carrega os ponteiros de escrita e leitura de dados
; da memoria do cartao para os registradores R3R2 e R5R4 do banco 1.
; Em caso de sucesso, retorna pela serial o codigo 0FFh.
; Deve ser usado este comando em cartoes previamente formatados atraves
; do comando cmd_format

cmd_init PROC

        mov  DPTR,#0000h
        lcall card_rd
        mov  B,A
        inc  DPTR
        lcall card_rd
        setb RS0          ; Selecciona banco 1.
        mov  R5,B          ; Le da memoria do cartao ponteiro p/ escrita
        mov  R4,A          ; de frames.
        clr  RS0          ; Selecciona banco 0.
        inc  DPTR
        lcall card_rd
        mov  B,A
        inc  DPTR
        lcall card_rd
        setb RS0
        mov  R2,A          ; Le da memoria do cartao ponteiro p/ leitura
        mov  R3,B          ; de frames.
        clr  RS0          ; seleciona banco 0.

        mov  A,#0FFh      ; Sinalizador de operacao bem sucedida.
        acall serial_snd
        jmp  next_cmd     ; Vai esperar o proximo comando.

        ENDPROC

; cmd_connect : Sinaliza se ha cartao conectado a interface.

cmd_connect PROC

        lcall card_ini    ; Tenta inicializar cartao.
        jnb  F0,l?n_atck  ; Se nao estiver conectado, retorna erro.
        mov  A,#0FFh      ; Sinalizador de sucesso.
        sjmp l?atck

l?n_atck:

        clr  A            ; Sinalizador de erro.
l?atck:
        acall serial_snd
        jmp  next_cmd

        ENDPROC

; cmd_write : Escrita de dados na memoria do cartao.

```

```
; Recebe dados de aquisicao provenientes da serial e armazena
; no espaco de memoria do cartao. Deve ser finalizado com cmd_fim
```

```
cmd_write PROC
```

```
    setb RS0
    mov DPH,R5
    mov DPL,R4          ; Carrega ponteiro de escrita em DPTR.
    clr RS0
    mov A,#0FFh        ; Faz de conta que sempre ta tudo legal.
    acall serial_snd
```

```
l?prox_byte:
```

```
    acall serial_rcv    ; recebe byte pela serial em A
    acall card_wr      ; Escreve byte no cartao.
    inc DPTR           ; Aponta para proxima posicao.
    cjne A,#LFCR,l?prox_byte ; Testa por LFCR.

    setb RS0
    mov R5,DPH
    mov R4,DPL        ; Armazena novo valor de ponteiro de escrita.
    clr RS0

    jmp next_cmd

ENDPROC
```

```
; cmd_wr_eot: Escreve marcador de fim (EOT) na posicao atual de escrita.
; Incrementa ponteiro de escrita para proxima posicao.
; Deve ser usado este comando para indicar finalizador de dados escritos.
```

```
cmd_wr_eot PROC
```

```
    setb RS0
    mov DPH,R5
    mov DPL,R4          ; Carrega valor atual do ponteiro de escrita
    clr RS0
    mov A,#EOT         ;Codigo do finalizador.
    acall card_wr      ; Escreve no cartao.
    inc DPTR
    setb RS0
    mov R5,DPH
    mov R4,DPL
    clr RS0
    mov A,#0FFh
    acall serial_snd
    ljmp next_cmd

ENDPROC
```

```
; cmd_read : Leitura de dados do PC CARD.
; Leitura de dados ocorre ate que se encontre o codigo EOT.
; Ponteiro de leitura, ao final do processo, eh posicionado na posicao
; de memoria subsequente a aquela na qual o codigo EOT foi encontrado.
```

```
cmd_read PROC
```

```
    setb RS0          ; Banco de registros 1.
    mov DPH,R3        ; Carrega DPTR c/ ponteiro de leitura.
    mov DPL,R2
    clr RS0
    mov A,#0ffh
    acall serial_snd  ; Faz de conta que ta tudo ok sempre.
```

```
l?proxbyte:
```

```
    lcall card_rd     ; Le byte do cartao.
    acall serial_snd  ; Envia pela serial.
    inc DPTR
    cjne A,#EOT,l?proxbyte ; Testa por EOT.

    setb RS0          ; Salva ponteiro de frame.
    mov R3,DPH
    mov R2,DPL
    clr RS0
```

```
jmp next_cmd
```

```
ENDPROC
```

```
; cmd_format : Formata cartao de memoria.
; Apaga qualquer dado que esteja armazenado no cartao.
; Posiciona os ponteiros de escrita e leitura no inicio da area
; de armazenamento de dados. Preenche toda area de armazenamento com EOT.
```

```
cmd_format PROC
```

```
mov DPTR,#0000h ; Endereco inicial do ponteiro de escrita.
```

```
clr A
```

```
acall card_wr
```

```
inc DPTR
```

```
setb RS0
```

```
mov R3,A
```

```
mov R5,A
```

```
mov A,#04h ; Carrega com 0x0004
```

```
push Acc
```

```
mov R2,A
```

```
mov R4,A
```

```
clr RS0
```

```
acall card_wr
```

```
inc DPTR ; Endereco inicial do ponteiro de leitura.
```

```
clr A
```

```
acall card_wr
```

```
inc DPTR
```

```
pop Acc
```

```
acall card_wr ; Carrega com 0x0004
```

```
inc DPTR ; Endereco inicial da area de dados.
```

```
l?loop:
```

```
mov A,#EOT
```

```
acall card_wr ; Preenche com EOT
```

```
inc DPTR
```

```
mov A,DPL
```

```
cjne A,#0FFh,l?loop
```

```
mov A,DPH
```

```
cjne A,#0FFh,l?loop
```

```
mov A,#0FFh
```

```
acall serial_snd
```

```
jmp next_cmd
```

```
ENDPROC
```

```
; cmd_reset: Reposiciona ponteiro de leitura de dados
; no primeiro registro de dados do cartao de memoria.
```

```
cmd_reset PROC
```

```
mov DPTR,#0002h ; Endereco do inicio do ponteiro de leitura.
```

```
clr A
```

```
acall card_wr
```

```
setb RS0
```

```
mov R3,A
```

```
mov A,#04h
```

```
mov R2,A
```

```
clr RS0
```

```
inc DPTR
```

```
acall card_wr ; Escreve 0004h neste endereco.
```

```
mov A,#0FFh
```

```
acall serial_snd
```

```
jmp next_cmd
```

```
ENDPROC
```

```

; cmd_fim : Marca final de bloco de dados que foram escritos atraves
; do comando cmd_write.
; Salva status dos ponteiros de leitura e escrita de dados.
; Desconecta cartao de memoria da alimentacao.
; Utiliza-se este comando para sinalizar o final de uma secao de gravacao
; ou leitura de dados.

```

```
cmd_fim PROC
```

```

    setb RS0
    mov DPTR,#0000h    ; Salva ponteiro de escrita
    mov A,R4
    push Acc
    mov A,R5
    clr RS0
    acall card_wr
    pop Acc
    inc DPTR
    acall card_wr

    inc DPTR          ; Salva ponteiro de leitura
    setb RS0
    mov A,R2
    push Acc
    mov A,R3
    clr RS0
    acall card_wr
    pop Acc
    inc DPTR
    acall card_wr

    acall card_dsp    ; Desconecta alimentacao do cartao.

    mov A,#0ffh      ;Codigo de sucesso
    acall serial_snd
    jmp next_cmd

ENDPROC

```

```
;***** Modulos externos para acesso ao PC CARD *****
```

```

    EXTERN card_ini
    EXTERN card_wr
    EXTERN card_rd
    EXTERN card_dsp

```

```
END
```

```
;*****
; Cardio.asm
; Biblioteca de rotinas para operacoes de IO
; em cartoes de memoria SRAM PCMCIA
; Last Revision: 27 jul, 1998
; Marcelo M. S. Souza <msouza@if.sc.usp.br>
;*****
```

```
; Sinais de controle do barramento PCMCIA
```

```

READY  BIT    P1.7    ; Ready Card State.
WPRO   BIT    P1.6    ; Write Protect State.
CD1    BIT    P1.5    ; Card Detect 1.
CEN1   BIT    P1.4    ; Card Enable 1.
CEN2   BIT    P1.3    ; Card Enable 2.
REG    BIT    P1.2    ; This Bit Selects whether the attribute
                        ; or common memory is going to be accessed.

CD2    BIT    P1.1    ; Card Detect 2.
PUP    BIT    P1.0    ; Power UP control.
RES    BIT    P3.4    ; Card Reset Signal.
A0     BIT    P3.5    ; Odd/Even Byte selection.

```



```

PUBLIC Card_Ini
PUBLIC Card_Rst
PUBLIC Card_Wr
PUBLIC Card_Rd
PUBLIC Card_dsp

```

```

; InitCard : Verifica se existe cartao conectado.
; Se houver, conecta pino de alimentacao ao mesmo e seta F0.
; Do contrario, reseta a flag F0 indicando que o cartao
; Nao se encontra conectado.

```

```
Card_Ini PROC
```

```

    clr F0          ; F0 = 0 -> Nao ha cartao no soquete.

    mov P1,#0FFh   ; Deixa linhas de controle em alto.
    jb CD1,l?pl    ; Termina sem inicializar.
    jb CD2,l?pl    ; Idem.
    setb F0        ; F0 = 1 -> Cartao esta conectado.
    setb A0
    clr PUP        ; Alimenta Cartao.
    clr RES        ; Reset Signal must be tied LOW.
    jnb READY,$    ; Aguarda Cartao ficar ativo.
l?pl:
    ret            ; Sai da rotina

```

```
ENDPROC
```

```
; CardReset : Reseta Cartao
```

```
Card_Rst PROC
```

```

    setb RES
    nop
    nop
    nop
    nop
    clr RES
    jnb READY,$

```

```
ret
```

```
ENDPROC
```

```

; Card_wr : Escreve word em posicao de memoria do Cartao
; DPTR : Endereco de memoria dentro de um bloco de 64K
; BA : Word a ser escrito na memoria
; F0 indica se o cartao encontra-se protegido contra gravacao.

```

```
Card_Wr PROC
```

```

    setb F0        ; F0 = 1 -> Cartao protegido.
    jb WPRO,l?pl  ; Desvia se cartao estiver protegido.

    clr F0        ; F0 = 0 -> Cartao desprotegido.

    setb REG      ; Area de memoria comum
    clr CEN1
    clr CEN2
    movx @DPTR,A
    nop
    nop
    setb CEN2
    setb CEN1
l?pl:
    ret            ; Saida da Rotina.

```

```
ENDPROC
```

```

; Card_rd : Le Byte em posicao de memoria do Cartao
; DPTR : Posicao de memoria dentro do bloco de 64k
; BA : Word Lido do cartao.

```

```
Card_RD PROC
```

```

    setb REG
    clr CEN1           ; Card Enable em 0.
    clr CEN2
    movx A,@DPTR     ; Leitura de byte MSB na memoria.
    nop
    nop
    setb CEN2
    setb CEN1
    ret              ; Saida da rotina.

```

```
ENDPROC
```

```

; Card_dsp : Desconecta cartao da alimentacao a fim de possibilitar
; a remocao do mesmo da interface.

```

```
Card_Dsp PROC
```

```

    setb PUP         ; Desativa alimentacao
    ret

```

```
ENDPROC
```

```
END
```

```

; *****
; Serial.asm
; Rotinas para configuração e utilização da porta serial do
; microcontrolador 8051.
; Autor: Marcelo Marques Simões de Souza <msouza@if.sc.usp.br>
; Data : 19/03/1999
; *****

```

```

PUBLIC serial_ini
PUBLIC serial_snd
PUBLIC serial_rcv

```

```
; Baud Rates utilizaveis
```

```

B1200 EQU 238
B2400 EQU 243
B4800 EQU 251
B9600 EQU 254

```

```

RTS    BIT    P3.2
CTS    BIT    P3.3

```

```

; Rotina serial_ini : Inicializa operacao do canal serial
; para 8 bits e baud rate de 2400 bps.

```

```
serial_ini PROC
```

```

    mov IE,#00           ; Desabilita Interrupcoes.
    mov PCON,#00h       ; SMOD = 0
    clr TR0              ; Desliga timer 0.
    clr TR1              ; Desliga timer 1.
    mov TMOD,#20H       ; Timer 1 no modo 2 (Gerador de Baud Rate).
    mov TH1,#B2400      ; Ajusta Timer 1 para baud rate desejada.
    mov TL1,#B2400
    setb TR1            ; Ativa Timer 1.
    mov SCON,#60H       ; Comunicacao Serial no modo 1 com
    setb RTS
    setb CTS
    ret

```

ENDPROC

```
; Rotina Serial_snd : Envia byte atraves da porta serial
; Entrada : Acc = Caracter a ser enviado.
; Saída : Nenhuma
; Registros afetados : Acc
```

Serial_Snd PROC

```
clr RTS
jb CTS,$
mov SBUF,A ; Envia dado para UART.
jnb TI,$ ; Monitora flag de terminar envio.
clr TI
setb RTS
```

ret

ENDPROC

```
; Rotina Serial_Rcv : Recebe byte atraves da porta serial
; Entrada : Nenhuma
; Saída : Acc = Caracter recebido
; Registradores Afetados : Acc
```

Serial_Rcv PROC

```
setb REN
jb CTS,$
clr RTS
jnb RI,$ ; Espera recepcao de caracter terminar.
mov A,SBUF ; Pega caracter da UART.
clr REN ; Desabilita modo de recepcao.
clr RI
setb RTS
ret
```

ENDPROC

END

Apêndice E – Manual de operação do programa GETIT

O programa GETIT é orientado a linha de comandos e deve ser executado a partir do msdos ou do prompt de dos em sistemas windows.

Antes de executar o programa, algumas recomendações são necessárias :

- Certificar-se de que a UA encontra-se conectada a porta de comunicação serial do IBM-PC no qual o programa será executado;
- Certificar-se se há um cartão PCMCIA conectado à UA;
- O cartão conectado deve estar convenientemente organizado para operações de leitura ou escrita. Isso é garantido a partir do momento que a UMAM tenha escrito dados neste cartão através da UA;

Ao ser invocado a partir do prompt sem nenhuma linha de comando, o programa GETIT apresentará a seguinte tela de help :

```
C:> GETIT
```

```
GETIT Versao: 1.0 Beta 18 Mar 2000
```

```
Utilitario para transferencia de registros de
medidas fisico-quimicas de um PC CARD para um arquivo texto
atraves da interface de armazenamento conectada a porta serial.
```

```
USO:
```

```
GETIT [-v] [-f] [ [-r] -o<FILENAME> ]
```

```
OPCOES:
```

```
-v : VERBOSE MODE.
```

```
-f : FORMATA PC CARD CONECTADO A INTERFACE.
```

```
-r : APONTA PARA PRIMEIRO REGISTROS DE DADOS DO PC CARD CONECTADO.
```

```
-o <FILENAME> : TRANSFERE REGISTRO DO PC CARD PARA <FILENAME>.
```

```
Executando o programa apenas com a opcao -o <FILENAME>, ocorre
a transferencia do registro armazenado no PC CARD que eh subsequente
ao que foi transferido na ultima execucao deste mesmo comando.
Caso nao haja mais registros, o arquivo <FILENAME> sera gerado com
tamanho 0 KB.
```

```
Reportar Bugs a <msouza@if.sc.usp.br>
```

Comentários:

- Verbose Mode (-v): Com esta opção, todas as operações executadas serão reportadas na tela, bem como os possíveis erros que venham a ocorrer;
- Formatação (-f): Invocando o programa com apenas esta opção, perde-se todas informações existentes no cartão conectado. Este comando organiza o cartão

para futuras escritas de dados. Este comando encontra-se disponível também na UMAM;

- -r : Esta opção, conjuntamente com a opção -o <filename>, força que as leituras do cartão sejam transferidas para o arquivo <filename> a partir do primeiro registro de dados disponível;