

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA

TENSIÔMETROS MONITORADOS POR MICROCOMPUTADOR
PARA ESTUDO DA FÍSICA DE SOLOS E
CONTROLE DE IRRIGAÇÃO

117185

1985
Campinas, SP, Brasil

TENSIÔMETROS MONITORADOS POR MICROCOMPUTADOR
PARA ESTUDO DA FÍSICA DE SOLOS E CONTROLE DE IRRIGAÇÃO

Por
PAULO HENRIQUE VALIM

Tese apresentada à
Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas
para obtenção do título de Mestre

*Este exemplar corresponde à redação final da tese
defendida por Paulo Henrique Valim e aprovada pela
Comissão Julgadora em 24/10/85.*

Sergio Mascarenhas Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Sergio Mascarenhas Oliveira

1985
Campinas, SP, Brasil
UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Dedico

Aos meus pais

*Paulo Diogo Valim, em memória,
Esaura de Oliveira Valim,
pelo carinho e dedicação,*

e irmãos

*José Luiz e Carlos Alberto,
grandes incentivadores.*

AS PESQUISAS DESTA TESE FORAM PATROCINADAS POR:

"PROGRAMA DE CENTROS EMERGENTES"

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

UEPAE - Unidade de Execução de Pesquisa de
Âmbito Estadual - São Carlos

UAPDIA - Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária

AGRADECIMENTOS

Não é tarefa fácil expressar em palavras, o profundo sentimento de gratidão que tenho pelas pessoas e instituições que colaboraram com este trabalho. No entanto, mesmo que alguém do que realmente desejaria fazê-lo, deixo aqui a estas pessoas e instituições, algumas palavras como testemunho de minha gratidão.

Ao professor Dr. Sérgio Mascarenhas Oliveira, a quem muito devo, não somente pela orientação deste trabalho, mas também pelo constante incentivo, entusiasmo e carinho dedicados.

Aos professores, colegas e funcionários da Pós-Graduação da FEC-UNICAMP, onde tenho aprendido muito através dos exemplos de trabalho, competência e seriedade profissionais. Em particular agradeço ao professor Dr. Wang Binseng, pela valiosa colaboração e orientação no programa de Mestrado.

Ao professor Edward E. Miller, pelas discussões, críticas e sugestões no início deste trabalho.

Ao professor Klaus Reichardt, pela colaboração e entusiasmo com os objetivos desta tese.

Ao Euclides Robert Filho, Carlos A. Costa e William Cordebelo, ex-professores da UFSCar e atualmente donos da CAD (Controle e Automação Digital Ltda.), pela grande colaboração no desenvolvimento do microcomputador.

Aos técnicos Sanches e Izabel do IFQSC-USP, e Noriberto, Eveltom e Demerval do DCEs-UFSCar, pela colaboração, amizade e incentivos recebidos.

Ao Edson A. Ebisui, pela colaboração no desenvolvimento do software.

Ao Sílvio Crestana e Paulo E. Cruvinel pelos anos de trabalho conjunto, apoio e amizade que tenho desfrutado.

Aos colegas do Grupo de Instrumentação do Projeto ASPAB, Érico, Mathias e Marcílio, e Rosemary, Sueli e Silvério do Laboratório de Biofísica-USP, pela grande amizade.

Ao Dr. Segundo Urquiaga pelas sugestões e discussões dos aspectos agronômicos desta tese.

A todos os colegas e funcionários da EMBRAPA (UEPAE e UAPDIA) pelo excelente ambiente de trabalho.

À Ana Maria, Socorro, Valentim, Regina e Vera, os meus agradecimentos especiais pelos laboriosos serviços de datilografia, de desenho, de revisão bibliográfica e de montagem.

Ao Programa de Centros Emergentes do CNPq e da FINEP, à EMBRAPA e ao ICTP pelo apoio financeiro e institucional.

À Fundação Educacional de Barretos, ao INTEC e a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Apresentamos nesta tese, um Sistema de Aquisição de Dados por Microcomputador, desenvolvido para medir a umidade do solo através de Tensiômetros.

Para alcançar este objetivo, o Microcomputador e o Transdutor Capacitivo para o Tensiômetro, foram construídos e interfaceados para medidas em tempo real.

O Microcomputador tem como UCP o microprocessador de 8 bits MC 6800 da Motorola; possui 64 Kbytes de memória RAM; 1 Interface Serial RS 232C e 1 Interface Paralela, ambas com 4 Entradas ou Saídas; 2 Acionadores de Discos Flexíveis de 8 polegadas e um Terminal de Vídeo Alfanumérico de 16 linhas por 64 caracteres. Sob o aspecto de software, além do programa monitor básico, ele é capaz de executar os sistemas operacionais UCSD PASCAL SYSTEM e o MDOS (MOTOROLA DISK OPERATING SYSTEM).

O Transdutor tem como princípio um capacitor cilíndrico de placas concêntricas, cujo o comprimento pode variar desde zero até 65 centímetros, obtendo-se uma correspondente variação linear da capacitância desde 25,49pF até 172,0pF. Este capacitor foi usado como temporizador num circuito integrado 555 na configuração astável, que gera uma onda quadrada cuja a frequência pode variar desde 14,85 KHz até 2,82 KHz.

Estas frequências são proporcionais às medidas do Tensiômetro e são lidas em tempo real pelo Microcomputador. As informações obtidas são armazenadas em disquetes para um posterior processamento.

Medidas realizadas com este sistema mostraram sua viaabilidade em pesquisas de Física de Solos e controle de irrigação.

ABSTRACT

In this thesis we present a Microcomputer Acquisition Data System developed to measure soil moisture by Tensiometers.

In order to make it possible, we had to build the Microcomputer unit and the special purpose Capacitive Transducer for the Tensiometer, this equipment being interfaced for real-time measurements.

The Microcomputer has as CPU the 8 bit microprocessor MC 6800 from Motorola; it has 64Kbytes of RAM memory; one Serial Interface RS 232C and one Parallel Interface, both of which with 4 Inputs/Outputs; two 8 inches Floppy Disk Drives and an Alpha numeric Video Display with 16 lines of 64 characters. As software, besides the monitor basic program, it is capable to run the operating systems UCSD PASCAL SYSTEM and the MDOS (MOTOROLA DISK OPERATING SYSTEM).

The Transducer is in principle a cylindric concentric plate capacitor, whose length may change from zero to 65 centimeters, leading to a linear change of the capacitance from 25,49pF to 172,0pF. This sensor was used in a timer-circuit with a 555 IC in the astable mode of operation to generate a square-wave whose frequency may change from 14,85 KHz to 2,82 KHz.

The resulting frequencies proportional to the Tensiometer measurements are read in real-time mode by the Microcomputer. The data is then stored in floppy disks for further processing.

Measurements made with this system showed it to be viable for application in Soil Physics research and irrigation control.

ÍNDICE

pág.

CAPÍTULO I

1.1	- Introdução	1
-----	--------------------	---

CAPÍTULO II

2.1	- Fundamentos da Física de Solos	6
2.2	- O Solo como um Sistema de Três Fases Dispersas	7
2.3	- Relações de Volume e Massa dos Constituintes do Solo	9
2.3.1	- Massa Específica Média da Fração Sólida do Solo ou Densidade das Partículas - ρ_s	10
2.3.2	- Massa Específica Global ou Densidade Global - ρ_g ..	11
2.3.3	- Porosidade - f	11
2.3.4	- Relação de Vazio - e	11
2.4	- Umidade do Solo	12
2.4.1	- Umidade Relativa à Massa de Sólidos - w	12
2.4.2	- Umidade Relativa ao Volume Total - θ	13
2.4.3	- Grau de Saturação - s	13
2.4.4	- Relação entre Umidade Volumétrica e Densidade Global	14
2.4.5	- Conteúdo de Água no Solo - Umidade	14
2.5	- Métodos de Medida da Umidade do Solo	14
2.5.1	- Amostragem e Secagem	15
2.5.2	- Resistência Elétrica	16
2.5.3	- Espalhamento de Neutrons	18
2.5.4	- Outros Métodos	23
2.6	- Estado de Energia da Água no Solo	23
2.6.1	- Potencial Total da Água no Solo	25

	pág.
2.6.2 - Unidades de Potencial.....	26
2.7 - Componentes do Potencial Total da Água no Solo	28
2.7.1 - Componente de Pressão - ψ_p	28
2.7.2 - Componente Gravitacional - ψ_g	30
2.7.3 - Componente Osmótica - ψ_{os}	31
2.7.4 - Componente Matricial - ψ_m	32
2.8 - Medidas do Potencial da Água no Solo	34
2.8.1 - O Tensiômetro	35
2.9 - Aplicações	38
2.9.1 - Irrigação Programada por Tensiômetros	38
2.10 - Curvas Características da Umidade do Solo	41

CAPÍTULO III

3.1 - O Transdutor Capacitivo para Tensiômetro.....	46
3.2 - Descrição	46
3.3 - Reta C_T (pF) Versus Z_{Hg} (cm)	48
3.4 - Conversão de Capacitância em Freqüência	51
3.5 - Reta Z_{Hg} (cm) Versus $T(\psi_s)$	52

CAPÍTULO IV

4.1 - O Microcomputador PROEN	56
4.2 - Características	56
4.3 - Descrição	58
4.3.1 - Placa da Unidade Central de Processamento	59
4.3.2 - Placa de Memória Dinâmica	61
4.3.3 - Placa Interface Série	62
4.3.4 - Placa Interface Paralela	65
4.3.5 - Placa do Controlador de Discos Flexíveis	67
4.3.6 - Placa Lógica do Terminal de Vídeo Alfanumérico	69
4.3.7 - Placa Interface Contadora de Pulsos	71

CAPÍTULO V

5.1	- Programas de Leitura e Listagem dos Dados do Tensiômetro Obtidos pelo Microcomputador	74
5.1.1	- Programa para Leitura dos Sensores de Umidade do Solo - UMIDAD	74
5.1.2	- Programa para Listagem dos Dados Obtidos pelo Programa "UMIDAD" - LUMID	75
5.2	- Medidas Realizadas com o Transdutor Capacitivo para Tensiômetro com o uso do Microcomputador	77

CAPÍTULO VI

6.1	- Conclusões Finais	81
-----	---------------------------	----

APÊNDICE

- PROGRAMA PARA LEITURA DOS SENSORES DE UMIDADE DO SOLO - "UMIDAD"	83
- PROGRAMA PARA LISTAGEM DOS DADOS OBTIDOS PELO PROGRAMA "UMIDAD"	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

CAPÍTULO I

1.1 - INTRODUÇÃO

A presente tese apresenta o uso de um Sistema Microcomputador, desenvolvido para leitura da umidade do solo em tempo real, através de transdutores acoplados a Tensiômetros.

Os fatos que motivaram este trabalho remontam à Barretos, onde éramos membros do grupo de instrumentação do projeto ASPAB (Estudo do Sistema Água-Solo-Planta-Atmosfera na Região de Barretos-SP.), que tinha como meta o estudo do contínuo solo-planta-atmosfera (Projeto de Centros Emergentes, 1982). Este projeto surgiu e se realizou através do apoio do Programa de Centros Emergentes do CNPq, coordenado pelo Professor Sérgio Mascarenhas, em convênio com a FINEP e a Fundação Educacional de Barretos.

Devido à característica multidisciplinar deste projeto, se fez necessário a interação entre diversas instituições de pesquisas por excelência, no Brasil e no exterior.

Aqui podemos citar a UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas), onde cumprimos o programa de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Mestre em Automação. E ainda contamos com a colaboração de vários pesquisadores de seu corpo de orientadores, em particular a do Professor Wang Binseng.

O Laboratório de biofísica do IFQSC-USP (Instituto de Física e Química de São Carlos - USP), de onde provém meu orientador, local em que desenvolvemos parte dos trabalhos desta tese.

O Departamento de Computação e Estatística da Universidade Federal de São Carlos, que através dos Professores Euclides Robert Filho, Carlos A. Costa e William Cordebelo, prestaram fundamental assistência no desenvolvimento do microcomputador.

O CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura), por meio dos Pesquisadores Klaus Reichardt e Paulo L. Libardi, nos assessoraram nos problemas de Física de Solos e Agronomia. A seguir reproduzimos um trecho do relatório do CENA, elaborado pelo Professor Reichardt, a nosso pedido (Projeto de Centros Emergentes, 1982).

"... A Física de Solos estuda os processos físicos e físico-químicos que ocorrem na crosta terrestre, principalmente na camada arável de culturas agrícolas, envolvendo o solo, a planta e a atmosfera. Estes processos são fundamentais para a produção agrícola e na manutenção do meio ambiente. Seu caráter é estritamente multidisciplinar, sendo que as informações obtidas são de importância fundamental para a fertilidade do solo, microbiologia do solo, fisiologia vegetal, conservação do solo, irrigação e drenagem, agrometeorologia, etc..

Atualmente, aqui no Brasil e mesmo em muitos países do exterior, a Física de Solos é desenvolvida de forma bastante isolada e o pessoal envolvido é via de regra de formação puramente agrônômica. Com isto as pesquisas desenvolvidas têm apenas descrito empiricamente situações sem a possibilidade de explicá-las profundamente, e assim indicar novos caminhos mais eficientes, econômicos, produtivos e seguros. Existe portanto, a necessidade de uma maior integração entre pesquisadores da área de Física de Solos e pesquisadores das áreas básicas de apoio como é o caso da Física, Química, Biologia, Bioquímica, Matemática, Eletrônica e Instrumentação.

Os processos estudados pela Física de Solos, como por exemplo, o movimento de água no solo, aeração, fluxo de calor no solo, são processos complexos que exigem conhecimentos profundos de Física, Modelos Matemáticos e Instrumentação adequada. A integração de pesquisadores nestas diversas áreas possui um enorme po

tencial para a formação de um grupo de pesquisa que poderá fornecer contribuições à agricultura tanto em nível nacional como internacional. Existe a possibilidade da emergência de um grupo em condições de fornecer subsídios na área de Física de Solos, que poderá prestar uma grande contribuição para a agricultura nacional..."

Do exterior tivemos a colaboração do Professor Edward E. Miller, da Universidade de Winsconsin (EUA), que por duas vezes esteve no Brasil para contribuir na elaboração do projeto ASPAB e ministrar cursos de treinamento.

Com o objetivo de complementar nossa formação básica (Engenharia Eletrônica), com conhecimentos de Física de Solos e discutirmos a proposta de trabalho que deu origem a esta tese, participamos de cursos e seminários específicos da área, bem como de viagens a centros de pesquisas da EMBRAPA^(*) (CENARGEN, CPAC e CNPH).

No início de 1982, participamos do curso "Introdução à Física de Solos" ministrado pelo Professor Miller, nas instalações do CENA e da Fundação Educacional de Barretos.

Em 1983 freqüentamos o Curso de Física de Solos realizado em Trieste, na Itália, sob o patrocínio do ICTP^(**).

Durante a realização deste curso, foi possível conviver e discutir com especialistas, as possibilidades e a relevância da utilização de um microcomputador para leitura da umidade do solo.

(*) Em 1984, aceitamos o convite para colaborar diretamente com a EMBRAPA, através da UEPAE (Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de São Carlos) e posteriormente contribuir para instalar a UAPDIA (Unidade de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária), onde hoje nos encontramos.

(**) Participamos do "College on Soil Physics", patrocinado pelo ICTP (International Centre for Theoretical Physics), pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), e pela UNESCO.

O Professor Skidmore, desenvolveu um Sistema a Micro computador para Medir a Energia de Quebra de Agregado de Solo, (Boyd, D.W., Skidmore, E.L., e Thompson, J.G., 1983). Nossas discussões foram bastantes importantes, já que seu trabalho é semelhante ao desenvolvido por nós, pois ambos utilizam um microcomputador para leitura de uma grandeza física do solo.

O Dr. Georges Vachaud, desenvolveu um Manômetro Capacitivo para Tensiômetro e um Sistema Automático não computadorizado para a Medida da Pressão da Água no Solo, (Thony, J.L. e Vachaud, G., 1980). Suas considerações a respeito de seu trabalho, nos foram de grande importância, pois aqui também tivemos que desenvolver um transdutor semelhante.

Com estes subsídios pudemos realizar e concluir os objetivos desta tese.

A seguir, fornecemos uma explicação resumida do conteúdo de cada capítulo.

No Capítulo II, fazemos um estudo básico da Física de Solos. Nele, comentamos a importância de se conhecer a fração de água no solo e o estado de energia desta água. Estudamos as principais relações de volume e massa dos constituintes do solo. Fazemos uma análise dos principais métodos de medida da umidade do solo, suas vantagens e desvantagens. Destes métodos destacamos o Tensiômetro, onde é feito um estudo detalhado de sua construção e aplicações, bem como os motivos que nos levaram a este trabalho de tese.

No Capítulo III, apresentamos o Transdutor Capacitivo desenvolvido para o Tensiômetro e as medidas experimentais efetuadas com o mesmo. Estas medidas nos conduziram às equações: Capacitância C_T (pF) versus Altura da Coluna de Mercúrio Z_{Hg} (cm), e Altura da Coluna de Mercúrio Z_{Hg} (cm) versus Período da Frequência Gerada pelo Transdutor T (μ s), que foram utilizadas como algoritmos

de conversão no microcomputador. Ainda neste capítulo, mostramos o circuito que converte as variações de capacitância em uma onda quadrada de frequência variável, própria para ser "lida" pelo microcomputador.

No Capítulo IV, descrevemos o microcomputador desenvolvido, sem no entanto entrarmos em detalhes construtivos. De suas características, podemos observar que ele é um sistema poderoso e que portanto não servirá apenas para monitorar a umidade do solo, mas também ser usado como um Sistema de Desenvolvimento para Laboratório de Pesquisas. No final deste Capítulo, descrevemos ainda a Interface Contadora de Pulsos, que teve de ser desenvolvida para que pudéssemos acoplar o Transdutor Capacitivo ao microcomputador.

No Capítulo V, fazemos comentários sobre os programas desenvolvidos para leitura e listagem dos dados obtidos do Tensiômetro, e apresentamos algumas medidas realizadas com o microcomputador.

No Capítulo VI, apresentamos nossas conclusões finais e algumas sugestões de trabalhos futuros.

No Apêndice, mostramos os programas UMIDAD e LUMID, desenvolvidos para leitura e listagem dos dados do Tensiômetro, obtidos via uso do microcomputador.

CAPÍTULO II

2.1 - FUNDAMENTOS DA FÍSICA DE SOLOS

A quantidade variável de água, contida em uma unidade de massa ou volume de solo, e o estado de energia desta água, são fatores importantes que afetam o crescimento das plantas. O volume de água também governa o conteúdo de ar e a troca de gases do solo, afetando desta maneira a respiração das raízes, a atividade de microorganismos, e o estado químico do solo. Ainda, em Física, Hidrologia e Engenharia Civil, o conhecimento da distribuição da pressão da água em um perfil de solo, é de importância fundamental para se determinar a direção do fluxo de água, ou na caracterização das propriedades mecânicas do solo.

A fração de água no solo, por massa ou por volume, pode ser definida em termos de umidade do solo. A condição físico-química ou estado da água no solo, é caracterizada em termos de sua energia livre por unidade de massa, denominada potencial. Dos vários componentes deste potencial, é a pressão ou potencial matricial, que expressa a tenacidade com que a água é retida pela matriz^(*) do solo.

Umidade e potencial matricial são funcionalmente inter-relacionados, e a representação gráfica desta relação é denominada curva característica da umidade do solo, ou simplesmente curva de retenção.

(*) Este termo refere-se às partículas sólidas do solo, isto é, matriz do solo.

2.2 - O SOLO COMO UM SISTEMA DE TRÊS FASES DISPERSAS

Sistemas naturais podem constituir-se de uma ou mais substâncias, e uma ou mais fases. Um sistema composto por uma única substância, é também monofásico, se suas propriedades físicas forem uniformes por todo o sistema. Um exemplo de tal sistema, é um corpo de água, constituindo-se de um bloco de gelo, totalmente uniforme. Tal sistema é chamado homogêneo. Um sistema constituído por um único composto químico, também pode ser heterogêneo, se aquela substância exibir propriedades diferentes em diferentes regiões do sistema. Uma região no interior de um sistema que é internamente uniforme, fisicamente é chamada fase. Uma mistura de gelo e água, por exemplo, é quimicamente uniforme, mas fisicamente heterogênea, já que ela inclui duas fases. As três fases comuns da natureza são: sólida, líquida e gasosa.

Um sistema contendo várias substâncias também pode ser monofásico. Por exemplo, uma solução de sal e água é um líquido homogêneo. Um sistema de várias substâncias pode obviamente ser heterogênea. Num sistema heterogêneo as propriedades diferem não apenas entre uma fase e outra, mas também entre as partes internas de cada fase e o limite entre uma fase e sua fase adjacente ou fases. Interfaces entre fases exibem fenômenos específicos resultante da interação das fases. A importância destes fenômenos, que inclui adsorção, tensão superficial, e fricção, depende do valor da área interfacial por unidade de volume do sistema. Sistemas no qual pelo menos uma das fases é subdividida em numerosas partículas diminutas, que juntas exibem uma área interfacial por unidade de volume, muito grande, são denominados sistemas dispersos.

O solo é um sistema heterogêneo, polifásico, particulado, disperso e poroso, no qual a área interfacial por unidade de volume pode ser muito grande. A natureza dispersa do solo, e

sua conseqüente atividade interfacial, causam fenômenos tais como adsorção de água e substâncias químicas, troca iônica, adesão, capilaridade, dispersão e floculação. As três fases comuns na natureza estão representadas no solo da seguinte maneira: a fase sólida constitui a matriz do solo; a fase líquida constitui-se na água do solo, que sempre contém substâncias dissolvidas, de modo que ela deveria adequadamente ser denominada solução do solo, e a fase gasosa, na atmosfera do solo. A matriz sólida do solo, inclui partículas que variam na composição química e mineralógica, bem como em tamanho, em forma e orientação. Ela também contém substâncias amorfas, particularmente matéria orgânica anexada aos grãos minerais, que freqüentemente junta-os para formar agregados. A organização dos componentes sólidos do solo, determinam as características geométricas dos poros, nos quais água e ar, são retidos e transmitidos. Finalmente, ar e água no solo variam em composição, ambos, no espaço e no tempo.

As proporções relativas das três fases no solo, variam continuamente e dependem de tais variáveis como: condições meteorológicas, vegetação e manejo. Para dar ao leitor alguma idéia geral destas proporções, mostramos na Figura 2.1, um esquema que representa a composição em volume, de um solo de textura média, na condição considerada ótima para o crescimento de plantas.

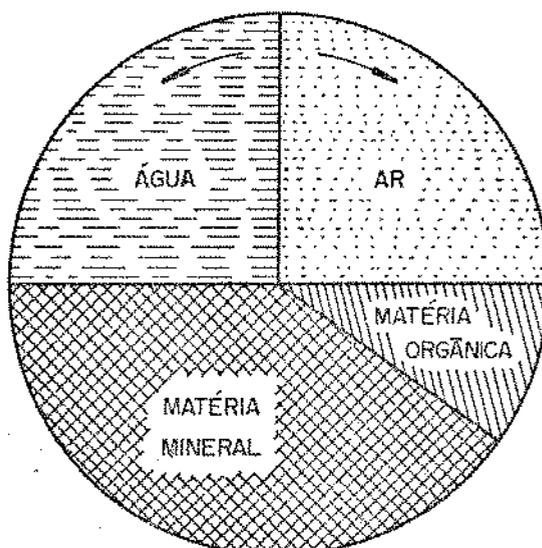


Figura (2.1) - Composição esquemática (por volume) de um solo de textura média numa condição considerada ótima para o crescimento de plantas. Observe que a matéria sólida constitui 50% do volume do solo, e o volume de poros os outros 50%, com este último dividido igualmente entre ar e água. As setas indicam que estes componentes podem variar amplamente, e em particular que, ar e água estão inversamente relacionados, de modo que um acréscimo a um deles, está relacionado um decréscimo no outro.

2.3 - RELAÇÕES DE VOLUME E MASSA DOS CONSTITUINTES DO SOLO

Vamos considerar as relações de volume e massa entre as três fases, e definir alguns parâmetros básicos que tem se mostrado útil na caracterização das condições físicas do solo.

A Figura 2.2, é uma representação esquemática de um solo hipotético, mostrando os volumes e massas das três fases, numa amostra representativa. As massas das fases estão indicadas do lado direito: a massa do ar M_a , que é desprezível comparada às massas dos sólidos e da água; a massa da água M_w ; a massa dos sólidos M_s ; e a massa total M_t . Estas massas também podem ser representadas por seus pesos (o produto da massa pela aceleração da gravidade). Os volumes dos mesmos componentes estão indicados no lado esquerdo do diagrama: volume do ar V_a ; volume da água

V_w : volume dos poros $V_f = V_a + V_w$, volume dos sólidos V_s , e o volume total da amostra V_t .

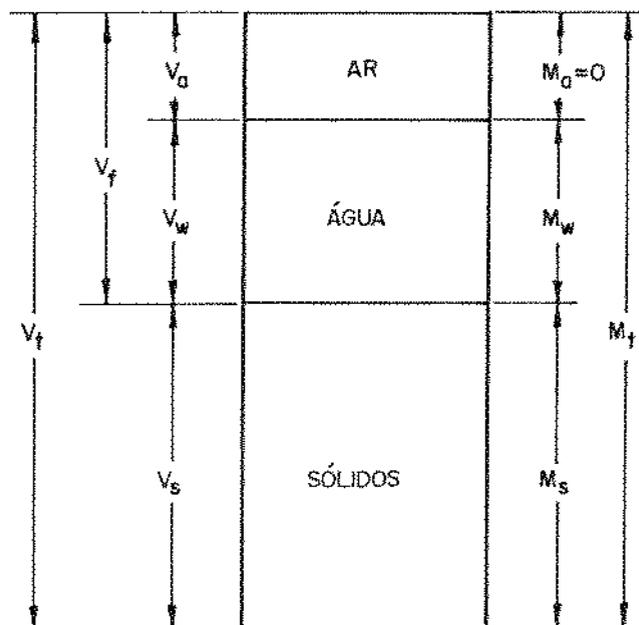


Figura (2.2) - Diagrama esquemático do solo como um sistema de três fases

Com base neste diagrama, podemos agora definir termos, que geralmente são usados para expressar as inter-relações quantitativas dos três constituintes básicos do solo.

2.3.1 - MASSA ESPECÍFICA MÉDIA DA FRAÇÃO SÓLIDA DO SOLO OU DENSIDADE DAS PARTÍCULAS - ρ_s

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (\text{II-1})$$

Na maioria dos solos minerais, a densidade média das partículas está ao redor de 2,6 a 2,7gm/cm³, e é assim próximo da densidade do quartzo, que freqüentemente prevalece em solos arenosos. A argila Aluminossilicato tem densidade similar. A presença de óxidos de ferro, e de vários minerais pesados, aumenta

o valor médio de ρ_s , enquanto que a presença de matéria orgânica diminuiu-lhe o valor.

2.3.2 - MASSA ESPECÍFICA GLOBAL OU DENSIDADE GLOBAL - ρ_g

$$\rho_g = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{V_s + V_a + V_w} \quad (\text{II-2})$$

A densidade global expressa a relação da massa do solo seco para seu volume total (volume de sólidos e poros). Nesta definição não são incluídas as massas M_w e M_a , porque estas são variáveis e não caracterizam um solo. Obviamente, ρ_g é sempre menor do que ρ_s , e se os poros constituem metade do volume, ρ_g é metade de ρ_s , isto é 1,3 a 1,35g/cm³.

2.3.3 - POROSIDADE - f

$$f = \frac{V_f}{V_t} = \frac{V_a + V_w}{V_s + V_a + V_w} \quad (\text{II-3})$$

A porosidade é um índice do volume relativo de poros no solo. Seu valor geralmente encontra-se na faixa de 0,3 a 0,6 (30 a 60%).

2.3.4 - RELAÇÃO DE VAZIO - e

$$e = \frac{V_a + V_w}{V_s} = \frac{V_a + V_w}{V_t - V_f} \quad (\text{II-4})$$

A relação de vazio, também é um índice da fração de volume dos poros do solo, mas ele relaciona o volume de poros com o volume de sólidos, no lugar do volume total. A vantagem deste índice sobre o anterior (Porosidade), é que uma alteração

no volume dos poros, faz variar somente o numerador da relação, enquanto que uma mudança no volume de poros em termos da porosidade variará ambos, o numerador e denominador da equação da porosidade. Geralmente e varia entre 0,3 e 2,0.

2.4 - UMIDADE DO SOLO

A umidade, ou conteúdo relativo de água no solo, pode ser expresso de vários modos: relativo à massa de sólidos; relativo à massa total; relativo ao volume de sólidos; relativo ao volume total, e relativo ao volume de poros. Definiremos somente, as mais comumente empregadas.

2.4.1 - UMIDADE RELATIVA À MASSA DE SÓLIDOS = w

$$w = \frac{M_w}{M_s} \quad (\text{II-5})$$

Isto é, a massa de água relativa à massa de sólidos do solo seco, freqüentemente conhecida como conteúdo gravimétrico de água. O termo solo seco, é geralmente definido como um solo secado até o equilíbrio, em um forno a 105°C, por 24 horas.

A umidade por massa, em fração decimal, é freqüentemente expressa em porcentagem. Um solo seco ao ar livre, geralmente conterà uma porcentagem de água, maior do que um solo seco ao forno, isto devido ao fenômeno de adsorção de vapor, conhecido por higroscopicidade do solo. Num solo mineral saturado, w pode variar na faixa entre 25 e 60%, dependendo da densidade global. O conteúdo de água na saturação, é geralmente maior em solos argilosos do que em solos arenosos. No caso de solos orgânicos, o conteúdo de água na saturação em termos de umidade por massa, pode exceder 100%.

2.4.2 - UMIDADE RELATIVA AO VOLUME TOTAL - θ

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_s + V_f} \quad (\text{II-6})$$

A umidade relativa ao volume total (freqüentemente denominada conteúdo volumétrico de água, ou umidade volumétrica), é geralmente computado como uma porcentagem do volume total. Em solos arenosos, o valor de θ na saturação está na ordem de 25 a 40%; em solos de textura média, ela é aproximadamente 50%; e em solos argilosos, ela pode aproximar-se aos 60%. O uso de θ ao invés de w , para expressar o conteúdo de água, é freqüentemente mais conveniente, porque ele é mais diretamente adaptável à computação de fluxos, quantidades de água adicionadas ao solo por irrigação ou chuva, e para quantidades de água extraídas do solo pela evapotranspiração ou drenagem. Também, θ pode representar a relação de altura da água no solo, isto é, a altura da água por unidade de altura de solo, sendo conhecida a área do volume considerado.

2.4.3 - GRAU DE SATURAÇÃO - s

$$s = \frac{V_w}{V_f} = \frac{V_w}{V_a + V_w} \quad (\text{II-7})$$

Este índice expressa o volume de água presente no solo relativo ao volume de poros. O índice s varia de zero para um solo seco até a unidade (ou 100%) para um solo completamente saturado. Embora a saturação completa raramente é alcançada, desde que algum ar está quase sempre presente, e pode ficar retido, mesmo em um solo muito úmido.

2.4.4 - RELAÇÃO ENTRE UMIDADE VOLUMÉTRICA E DENSIDADE GLOBAL

Das definições básicas dadas, podemos tirar várias inter-relações, e uma das mais importantes é a relação entre umidade volumétrica e a densidade global, pois a mesma demonstra que a umidade também depende da densidade do solo.

$$\theta = \rho_g \cdot w \quad (\text{II-8})$$

2.4.5 - CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO - UMIDADE

O termo umidade no lugar de conteúdo de água no solo, é preferível não apenas por razões de economia verbal, mas também porque umidade implica intensidade, enquanto que conteúdo, implica extensidade. Alguém pode falar em conteúdo de água, quando estiver referindo-se à quantidade total de água em um recipiente ou em um volume definido de solo, mas o grau de umidade, obviamente refere-se à concentração relativa de água em um corpo poroso, independentemente do tamanho deste corpo.

2.5 - MÉTODOS DE MEDIDA DA UMIDADE DO SOLO

A necessidade de se determinar a quantidade de água contida no solo, surge freqüentemente em muitas investigações agrônômicas, ecológicas e hidrológicas com o objetivo de entender as relações químicas, mecânicas, hidrológicas e biológicas do solo. Existem métodos diretos e indiretos de se medir a umidade do solo (GARDNER, 1965), e como já tivemos a oportunidade de mostrar, existem vários modos alternativos de expressá-la quantitativamente. Como ainda não temos um método de medida padrão universalmente reconhecido, e um modo não uniforme de computar e a

presentar os resultados de medidas de umidade do solo; passaremos a descrever resumidamente, alguns dos métodos predominantes para esta determinação.

2.5.1 - AMOSTRAGEM E SECAGEM

O método tradicional (gravimétrico), de medir a umidade relativa à massa, consiste em remover uma amostra do solo com o uso de um trado, e então determinar seus pesos úmido e seco. O peso úmido é determinado pesando-se a amostra no ato da amostragem, e o peso seco, é obtido após ter secado a amostra em um forno, até atingir um peso constante. O método de secagem comumente adotado, consiste em colocar a amostra em um forno a 105°C por 24 horas. Um método alternativo de secagem, adequado para uso em campo, é colocar a amostra com álcool em um recipiente resistente ao calor, a qual é então queimada, desta forma vaporizando-se a água (BOUYOUCOS, 1937). A umidade relativa à massa, também denominada umidade gravimétrica, é a relação entre o peso perdido na secagem e o peso da amostra seca. Sendo massa e peso proporcionais, temos:

(II-9)

$$w = \frac{(\text{peso úmido}) - (\text{peso seco})}{\text{peso seco}} = \frac{\text{peso perdido na secagem}}{\text{peso da amostra seca}}$$

O método gravimétrico, dependendo de como é feita a amostragem, o transporte, e pesagens repetidas, ocasiona erros inevitáveis. Ele também é um método trabalhoso, que consome um tempo considerável, desde que geralmente um período de pelo menos 24 horas, é necessário para uma secagem completa. O método padrão de secagem ao forno, é em si mesmo arbitrário. Algumas argilas podem ainda conter apreciáveis quantidades de água adsorvidas, mesmo a 105°C (NUTTING, 1943). Por outro lado, nesta tempe

ratura, alguma matéria orgânica pode oxidar e decompor-se, de modo que a perda de peso, pode não ser inteiramente devido a evaporação da água.

Os erros do método gravimétrico, podem ser reduzidos, aumentando-se o tamanho e número das amostras. Ainda assim, o método da amostragem é destrutivo, e pode perturbar uma observação ou área experimental, o suficiente para alterar os resultados. Por este motivo, muitos pesquisadores preferem os métodos indiretos, pois permitem fazer medidas freqüentes ou contínuas nos mesmos pontos. Uma vez que o equipamento esteja instalado e calibrado, as medidas podem ser obtidas com menos tempo, trabalho, e sem perturbação do solo.

2.5.2 - RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência elétrica de um volume de solo, depende não apenas de seu conteúdo de água, mas também de sua composição, textura e concentração de sais solúveis. Por outro lado, a resistência elétrica de corpos porosos colocados no solo, e deixados equilibrar com a umidade do mesmo, às vezes podem ser calibrados para medida da umidade do solo. Tais unidades (geralmente denominados **blocos de resistência elétrica**) normalmente contém um par de eletrodos incrustados em gesso (BOUYOUCOS and MICK, 1940), náilon, ou fibra de vidro (COLMAN and HENDRIX, 1949). Veja Figura 2.3.

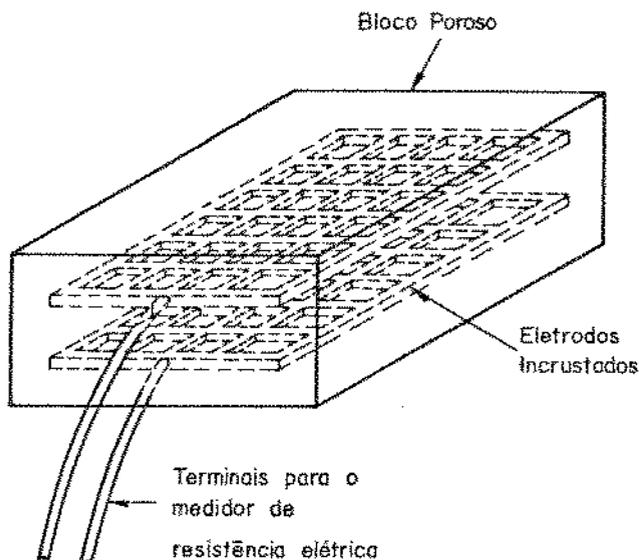


Figura (2.3) - Bloco de resistência elétrica. Os eletrodos incrustados podem ser placas, telas ou fios em um arranjo paralelo ou concêntrico.

A condutividade elétrica de blocos porosos úmidos, é devida basicamente mais ao fluido permeante, do que a matriz do solo. Assim, ela depende dos solutos eletrolíticos presentes no solo, bem como do volume de fluido. Blocos construídos de materiais inertes, tal como fibra de vidro, por exemplo, são altamente sensíveis mesmo a pequenas variações na salinidade da solução do solo. Por outro lado, blocos construídos de gesso, mantêm a concentração do eletrólito praticamente constante, assemelhando-se basicamente à solução saturada de sulfato de cálcio. Isto tende a mascarar ou amortecer o efeito de pequenas ou mesmo moderadas variações na solução do solo (tais como aquelas devidas à fertilização, ou baixos níveis de salinidade). Contudo, uma indesejável consequência da solubilidade do gesso, é que estes blocos eventualmente deterioram-se no solo. Daí, a relação entre a umidade do solo, variar não apenas de bloco para bloco, mas também para cada bloco em função do tempo, desde que a dissolução gradual do gesso, muda a porosidade interna e a distribuição dos poros dos blocos.

Por estas e outras razões, (por exemplo, sensibilidade à temperatura) a avaliação da umidade do solo, através de blo

cos de resistência elétrica, é de limitada precisão. Por outro lado, uma vantagem destes blocos, é que eles podem ser ligados a registradores, para obter a indicação contínua das variações da umidade do solo, in situ.

2.5.3 - ESPALHAMENTO DE NEUTRONS

Desenvolvido nos anos 50, este método tem obtido ampla aceitação, como uma técnica eficiente e segura, para o monitoramento da umidade do solo no campo (HOLMES, 1956; Van BAVEL, 1963). Suas principais vantagens sobre o método gravimétrico, na medida da umidade volumétrica de um volume representativo de solo são: é um método menos trabalhoso, mais rápido, não destrutivo, e que permite medidas repetitivas e periódicas nas mesmas posições e profundidades. O método é praticamente independente da temperatura e pressão. Suas principais desvantagens, no entanto, são: o alto custo inicial do instrumento, o baixo grau de resolução espacial, a dificuldade em medir a umidade na superfície do solo, e o risco de saúde associado à exposição de radiações gama e neutron.

O instrumento, conhecido como sonda de neutrons (Figura 2.4) consiste de dois componentes principais:

- (a) uma sonda, que contém uma fonte de neutrons rápidos e um detetor de neutrons lentos, que é baixada dentro de um tubo de acesso, inserido verticalmente no solo. Os objetivos deste tubo de acesso são: manter protegido o buraco no qual a sonda é introduzida, e padronizar as condições de medida. O material geralmente escolhido para o tubo de acesso, é o alumínio, já que o mesmo, é praticamente transparente ao fluxo de neutrons.

(b) um medidor, (geralmente portátil e operado a bateria), para monitorar o fluxo de neutrons lentos, espalhados pelo solo.

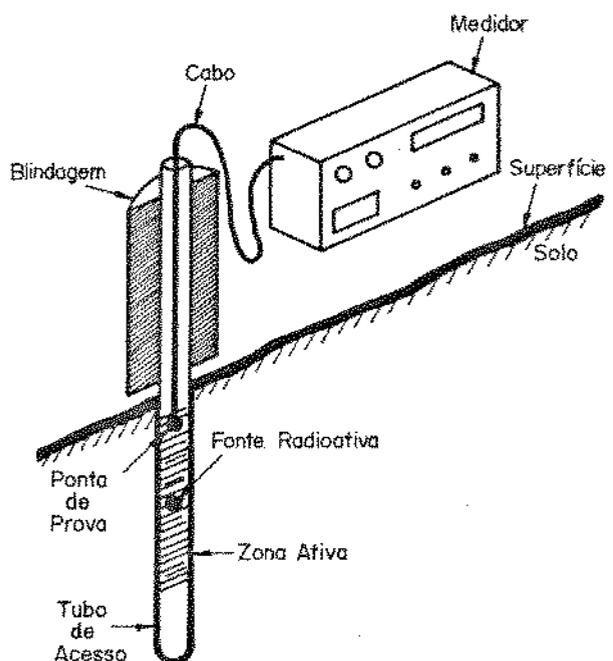


Figura (2.4) - Componentes de uma sonda de neutrons portátil

A fonte de neutrons rápidos, geralmente é obtida pela mistura de um emissor de partículas alfa (núcleo de hélio) com berílio. Também, é freqüentemente utilizado uma mistura peletizada de rádio e berílio, de 2 a 5 milicurie. Uma fonte de Ra-Be, emite aproximadamente 16.000 neutrons por segundo por miligrama (ou milicurie). As energias dos neutrons emitidos por esta fonte, variam de 1 a 15 MeV (milhão de eletron volts), com uma faixa preponderante de energia de 2 a 4 MeV, e uma velocidade média ao redor de 1.600Km/seg. Por isso, eles são denominados neutrons rápidos. Uma fonte alternativa de neutrons rápidos, é uma mistura de amerício e berílio. Ambos, rádio e amerício, incidentalmente também emitem radiação gama, mas a radiação emitida pelo amerício é de menor energia, e portanto menos perigosa do que a emitida pelo rádio. Os materiais para a fonte, são escolhidos por sua longevidade (por exemplo, rádio-berílio tem uma vida-média

de aproximadamente 1620 anos), para que eles possam ser usados por um número de anos, sem uma variação apreciável no fluxo de radiação.

Os neutrons rápidos são emitidos radialmente no interior de solo, onde encontram e colidem elasticamente com vários núcleos atômicos. Através de repetidas colisões, os neutrons são defletidos e espalhados, e gradualmente perdem energia cinética. A medida que a velocidade dos neutrons inicialmente rápidos diminui, suas velocidades aproximam-se a velocidades características de partículas na temperatura ambiente. Para neutrons, esta velocidade está em torno de 2,7Km/seg, correspondendo a uma energia de aproximadamente 0,03 eV. Neutrons que tiveram suas velocidades diminuídas até esta velocidade, são ditos estarem termalizados, e são denominados neutrons lentos. Tais neutrons lentos continuam interagindo com o solo, e eventualmente são absorvidos por núcleos do mesmo. A capacidade dos vários núcleos presentes no solo, em moderar ou termalizar neutrons rápidos, varia amplamente. A perda média de energia é máxima, para colisões entre partículas que possuem aproximadamente a mesma massa. De todos os núcleos encontrados no solo, aqueles que possuem massa quase igual à do núcleo do neutron, são os núcleos do hidrogênio, que por este motivo, são os mais eficazes moderadores de neutrons rápidos de todos os constituintes do solo. Assim, o número médio de colisões, necessárias para diminuir a velocidade de um neutron de 2 MeV, para o nível de energia térmica, é 18 para o hidrogênio, 114 para o carbono, 150 para o oxigênio, e $9N + 6$, para núcleos cujo número de massa N, seja grande. Se o solo contém uma apreciável concentração de hidrogênio, os neutrons rápidos emitidos, são termalizados antes que eles possam alcançar uma distância muito grande a partir da fonte, assim os neutrons lentos produzidos, espalham-se randomicamente no solo, formando rapidamente uma nuvem de densidade constante ao redor da sonda.

A densidade de equilíbrio da nuvem de neutrons lentos, é determinada pela taxa de emissão da fonte, as taxas de termalização e absorção do meio (isto é, o solo), medidas em relação a uma pequena fração de segundo. Certos elementos que ocasionalmente poderiam estar presentes no solo (por exemplo, bóro, cádmio, clóro e etc.), exibem uma alta capacidade de absorção de neutrons lentos, e sua presença em concentrações não desprezíveis, tende a diminuir a densidade de neutrons lentos. No entanto, levando-se tudo em consideração, a densidade de neutrons lentos formada ao redor da sonda, é aproximadamente proporcional à concentração do hidrogênio no solo, e portanto mais ou menos proporcional à fração do volume de água presente no mesmo.

À medida que os neutrons termalizados, repetidamente colidem e saltam aleatoriamente por todos os lados, um certo número deles (proporcional a densidade de neutrons, assim termalizados e espalhados, e portanto aproximadamente linear à concentração da umidade do solo) retornam à sonda, onde são contados pelo detetor de neutrons lentos, que é uma célula geralmente cheia de gás Trifluoreto de Boro, (BF_3). Quando um neutron termalizado encontra um núcleo de Boro 10, (^{10}B), e é absorvido pelo mesmo, uma partícula alfa é emitida, criando um pulso elétrico. O número de pulsos dentro de um intervalo de tempo conhecido, é contado pelo medidor.

O volume efetivo de solo, no qual o conteúdo de água é medido, depende da energia dos neutrons emitidos, bem como da concentração dos núcleos de hidrogênio; isto é, para uma dada fonte e solo, ele depende fundamentalmente da umidade volumétrica. Se o solo está mais seco do que úmido, a nuvem de neutrons lentos ao redor da sonda, será menos densa e se estenderá por uma distância maior da fonte, e vice-versa para um solo úmido. Com as fontes de rádio-berílio ou amerício-berílio, que são comumente utilizadas, a então denominada esfera de influência, ou vo

lume efetivo de medida, varia de um raio de menos de 10cm para um solo úmido a 25cm ou mais para um solo seco. Este pequeno e variável grau de resolução espacial, torna a sonda de neutrons inadequada para detecção de descontinuidade em perfis de umidade (por exemplo, frentes de molhamento, ou entre vizinhanças de camadas distintas no solo). Além disso, medidas próximas à superfície (dentro da faixa de 20cm da superfície; dependendo da umidade do solo), são impossíveis devido à fuga de neutrons rápidos através da mesma. Atualmente já existe sonda de neutrons com detectores especiais para medida de umidade na superfície do solo (College on Soil Physics, Trieste, 1983). Todavia, o volume monitorado relativamente grande, pode ser uma vantagem em estudos de balanço hídrico, por exemplo; como tal, o volume é mais representativo, do que as amostras muito menores, que são geralmente tomadas para medidas de umidade pelo método gravimétrico.

Por motivo de segurança e também a fim de fornecer meios convenientes de fazer leituras padronizadas, a sonda contendo a fonte de neutrons rápidos é normalmente transportada dentro de uma blindagem protetora, que é um recipiente cilíndrico, cheio de chumbo ou algum material hidrogenoso, tal como parafina ou polietileno, projetado para evitar a fuga de neutrons rápidos. A blindagem também deve proteger o usuário da sonda, contra a radiação gama emitida. O uso inadequado ou excessivo do equipamento pode ser perigoso. O perigo de exposição à radiação, depende da energia da fonte, da qualidade da blindagem, da distância entre a fonte e o operador e da duração do contato. No entanto, com a observação rigorosa das regras de segurança, o equipamento pode ser usado sem risco.

2.5.4 - OUTROS MÉTODOS

Outros métodos para medida da umidade do solo tem sido pesquisados. Os mais recentes são: absorção de raios gama; dependência das propriedades térmicas do solo em função do conteúdo de água; ultra-som; radar; tomografia computadorizada (CRESTANA, S., MASCARENHAS, S. and POZZI-MUCELLI, R. 1984); propriedades dielétricas do solo e refratometria (DALTON et al. 1984).

Alguns destes métodos, têm sido experimentados em associação com o sensoramento remoto de áreas de terra, a partir de aviões ou satélites.

2.6 - ESTADO DE ENERGIA DA ÁGUA NO SOLO

A água no solo, na planta, na atmosfera, etc., assim como qualquer corpo na natureza, pode ser caracterizado por um estado de energia. Diferentes formas e quantidades de energia determinam este estado. A física clássica reconhece duas formas principais de energia, a cinética e a potencial. Como o movimento da água no solo é muito lento, sua energia cinética, que é proporcional ao quadrado da velocidade, é na maioria dos casos, desprezível. Por outro lado, a energia potencial, que é uma função da posição e condição interna da água no ponto em consideração, é de primordial importância na caracterização de seu estado de energia. Diferenças de potencial da água entre diferentes pontos dão origem ao seu movimento. A tendência espontânea e universal de toda matéria na natureza, é assumir um estado de energia mínima, procurando equilíbrio com o meio ambiente. A água obedece a esta tendência universal e move-se constantemente no sentido de diminuição de seu potencial. A taxa de decréscimo do potencial ao longo de uma direção é uma medida da força responsável pelo movimento. Assim, o conhecimento de seu estado de energia em cada ponto dentro do solo, pode nos permitir o cálculo das

forças que atuam sobre a água, e determinar o quanto afastada ela se acha do estado de equilíbrio.

Claramente, não é a quantidade absoluta de energia potencial "contida" na água que é importante, e sim os níveis relativos de energia em diferentes regiões no interior do solo. O conceito de potencial da água no solo, é um critério, ou um padrão de medida para esta energia. Ele especifica a energia potencial da água do solo, relativa àquela da água em um estado padrão de referência. O estado padrão geralmente adotado, é o de um reservatório hipotético de água pura, na pressão atmosférica, na mesma temperatura da água no solo (ou em qualquer outra temperatura conhecida), numa elevação fixa e conhecida. Desde que a elevação deste reservatório hipotético, pode ser escolhida à vontade, segue que o potencial determinado em relação a este padrão não é absoluto, mas mesmo aplicando-se este critério arbitrário, nós podemos determinar o valor relativo da energia potencial da água em posições e instantes diferentes, no interior do solo.

O incremento da energia, pode ser visto como sendo o produtor de uma força pelo incremento da distância, portanto, a relação entre o incremento da energia potencial e o incremento da distância, pode ser visto como sendo a força responsável pelo movimento. Conseqüentemente, a força que age sobre a água no solo, direcionada da região de maior potencial para a região de menor potencial, é igual ao negativo do gradiente do potencial ($-d\psi/dx$), que é a variação da energia potencial com a distância x . O sinal negativo indica que a força age no sentido do decréscimo do potencial.

Sob pressões hidrostáticas maiores que a pressão atmosférica, o potencial da água no solo é maior do que a do reservatório referencial, e portanto é considerada positiva. Num solo não saturado, a água está confinada pela capilaridade e for

ças de adsorção, e sua energia potencial é geralmente menor do que a do reservatório referencial, e portanto é considerada negativa.

2.6.1 - POTENCIAL TOTAL DA ÁGUA NO SOLO

Até aqui, descrevemos a energia potencial da água no solo, de modo qualitativo. Passaremos a fazê-lo agora, de modo quantitativo.

O potencial total da água no solo (ψ), representa a diferença da energia livre de GIBBS, entre o estado da água no solo e um estado padrão. A fim de determinar esta diferença, uma unidade de massa (volume ou peso) de água deve ser levada do estado padrão para o estado no solo, e como é função de ponto, dependendo apenas do estado inicial e final, qualquer processo pode ser utilizado. Porém se escolhermos uma transformação isotérmica e isobárica, a energia livre de GIBBS representa todos os trabalhos que não o mecânico contra a pressão externa. Podemos então definir o potencial total da água no solo, da seguinte forma: representa o trabalho realizado quando uma unidade de massa (volume ou peso) de água, em estado padrão, é levada isotérmica, isobárica e reversivelmente para o estado considerado no solo. O potencial da água no solo, define então seu estado de energia no ponto considerado. Observe que esta definição é apenas formal e não leva em conta a histerese do solo em relação a umidade, pois se a mesma for considerada, não poderíamos falar em potencial, já que o mesmo é função de ponto e a umidade depende do percurso (curvas de molhamento e secamento). O fenômeno de histerese da curva de retenção será abordado no final deste capítulo. A água no solo está sujeita a uma quantidade de campos de força, que faz com que seu potencial seja diferente daquele da água padrão. Tais campos de força, resultam da atração da água pe

la matriz do solo, bem como da presença de solutos, gravitação e ação da pressão externa. Desta maneira, o potencial total da água no solo, pode ser considerado como sendo a soma das contribuições individuais destes vários fatores:

$$\psi = \psi_p + \psi_g + \psi_{os} + \psi_m \quad (\text{II-10})$$

onde ψ é o potencial total, ψ_p é a componente de pressão, ψ_g é a componente gravitacional, ψ_{os} é a componente osmótica, e ψ_m é a componente matricial.

2.6.2 - UNIDADES DE POTENCIAL

As unidades de energia livre de GIBBS, são unidades de energia. Como a energia de um sistema é uma grandeza extensiva, isto é, uma grandeza que depende da extensão do sistema, sempre é oportuno expressá-la por unidade de uma outra grandeza proporcional à extensão do sistema. Três formas são as mais utilizadas:

1. energia por unidade de massa;
2. energia por unidade de volume e,
3. energia por unidade de peso.

Estas três grandezas são "energias" mas tem a propriedade de serem intensivas, isto é, não dependem da extensão dos sistema. São potenciais. Como exemplo de grandezas extensivas, podemos citar: entropia, volume e massa de um sistema, e como grandezas intensivas: pressão, temperatura e densidade. Nota-se que a densidade é obtida dividindo-se uma grandeza extensiva que é a massa por outra grandeza que depende da extensão do sistema, o volume.

1. Energia por unidade de massa - esta unidade é frequentemente definida como sendo a expressão fundamental do

potencial, sua dimensão é $L^2.T^{-2}$, e as unidades mais comuns são: erg/g, joule/Kg e cal/g.

2. Energia por unidade de volume - possui dimensões de pressão, pois da mesma forma como energia pode ser expressa como um produto de pressão por volume, o quociente de energia por volume expressa uma pressão. Sua dimensão é $M.L^{-1}.T^{-2}$, e as unidades mais comuns são: dina/cm², Bar e atm.

3. Energia por unidade de peso - (carga hidráulica). Possui dimensões de comprimento L, pois da mesma forma como a energia pode ser expressa como uma pressão, esta pode ser expressa em termos de uma coluna (altura) de líquido. Por exemplo a uma pressão de 1 atm corresponde uma coluna de 1033cm de água ou uma de 76cm de mercúrio.

Este método é seguramente mais simples, e muitas vezes mais conveniente do que os métodos anteriores. Daí ser comum, caracterizar o estado da água no solo, em termos de carga hidráulica total. Conseqüentemente, em vez de:

$$\psi = \psi_p + \psi_g + \psi_{os} + \psi_m \quad (II-11)$$

podemos escrever:

$$H = H_p + H_g + H_{os} + H_m \quad (II-12)$$

ou seja: a carga hidráulica total (H), é a soma da carga hidráulica da componente de pressão, da componente gravitacional, da componente osmótica e da componente matricial. Exemplo: 10g de água acham-se em um pon

to no solo a 10cm do referencial de posição. Qual sua energia potencial?

$$\text{Energia potencial: } E = m.g.h = 98000\text{erg}$$

1. Energia por unidade de massa:

$$\frac{E}{m} = gh = 9800\text{erg/g}$$

2. Energia por unidade de volume:

$$\frac{E}{V} = \rho . g . h = 9800\text{d/cm}^2 \quad . \text{ Onde } \rho \text{ é a densidade da água} \\ \text{gua} = 1\text{g/cm}^3.$$

3. Energia por unidade de peso (carga hidráulica):

$$\frac{E}{mg} = h = 10\text{cm}$$

2.7 - COMPONENTES DO POTENCIAL TOTAL DA ÁGUA NO SOLO

2.7.1 - COMPONENTE DE PRESSÃO - ψ_p

Aparece toda vez que a pressão da água no solo for diferente da pressão da água padrão. Para este componente, só é considerado pressões positivas, isto é, acima da atmosférica. Para pressões negativas (tensões), isto é, sub-atmosféricas, considera-se a componente matricial ψ_m . Por exemplo, a água no fundo de uma barragem está sujeita a uma pressão equivalente à coluna de água acima dela. Também em solo saturado existe uma carga d'água atuando sobre o ponto considerado.

A pressão hidrostática positiva, que ocorre abaixo do nível d'água, tendo-se como referência a pressão atmosférica é:

$$P = \rho . g . h \quad (\text{II-13})$$

onde: ρ é a densidade do líquido, g é a aceleração da gravidade,

e h é a profundidade do ponto considerado, em relação à superfície livre d'água.

A energia potencial desta água no ponto considerado é:

$$dE = P \cdot dV \quad (\text{II-14})$$

onde: P é a pressão no ponto considerado, e dV é o elemento de volume.

Assim, o potencial de pressão ψ_p , no ponto considerado em termos da energia potencial por unidade de volume, é igual a pressão hidrostática P .

$$\psi_p = P = \rho \cdot g \cdot h \quad (\text{II-15})$$

Daí, o potencial de pressão, ψ_p , em termos da energia potencial por unidade de massa é:

$$\psi_p = g \cdot h \quad (\text{II-16})$$

E o potencial de pressão ψ_p , em termos da energia potencial por unidade de peso é:

$$\psi_p = h \quad (\text{carga hidráulica}) \quad (\text{II-17})$$

Exemplo: calcular o potencial de pressão, nas três formas diferentes, para um ponto localizado a 5m abaixo da superfície livre de um lago.

energia/volume:

$$\psi_p = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 980 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2} \cdot 500\text{cm} = 4,9 \times 10^5 \text{ d/cm}^2$$

energia/massa:

$$\psi_p = 980 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2} \cdot 500\text{cm} = 4,9 \times 10^5 \text{ erg/g}$$

energia/peso:

$$\psi_p = 500\text{cm (carga hidráulica em cm de H}_2\text{O)}.$$

2.7.2 - COMPONENTE GRAVITACIONAL - ψ_g

Pelo fato do campo gravitacional estar sempre presente, o potencial gravitacional sempre existe. Sua importância com relação ao potencial total, depende da magnitude de todas as componentes. Em termos gerais, podemos dizer que em solos saturados, e próximos à saturação, a componente gravitacional é de maior importância quantitativamente, daí, ter peso significativo no potencial total. Quando o solo perde água gradualmente, as componentes, matricial e osmótica, passam a ter maior importância que a gravitacional.

Numa altura Z , acima de uma referência, a energia potencial gravitacional E_g de uma massa de água M ocupando um volume V é:

$$E_g = M \cdot g \cdot Z = \rho_w \cdot V \cdot g \cdot Z \quad (\text{II-18})$$

onde: ρ_w é a densidade da água.

Deste modo, o potencial gravitacional em termos de energia potencial por unidade de volume é:

$$\psi_g = \rho_w \cdot g \cdot Z \quad (\text{II-19})$$

Em termos de energia potencial por unidade de massa é:

$$\psi_g = g.Z \quad (\text{II-20})$$

E em termos de energia potencial por unidade de peso é:

$$\psi_p = Z \quad (\text{carga hidráulica}) \quad (\text{II-21})$$

2.7.3 - COMPONENTE OSMÓTICA - ψ_{os}

Pelo fato da água no solo, ser uma solução de sais minerais e substâncias orgânicas, ela possui componente osmótica ψ_{os} , que contribui para seu potencial total ψ .

No solo, como existe variação da concentração de sais de ponto para ponto, existem também diferenças de potencial osmótico, este potencial é de difícil determinação, existindo porém instrumentos especiais para sua medida. No entanto pode-se estimar ψ_{os} , medindo-se a concentração salina da água no solo e utilizando a equação de VAN'T HOFF.

$$\psi_{os} = - R.T.C \quad (\text{II-22})$$

onde: R é a constante dos gases, T é a temperatura em graus Kelvin, e C é a concentração salina.

Porém, na maioria dos solos, o potencial osmótico pode ser desprezado quando a umidade do solo não é muito baixa. Nestas condições C é da ordem de 10^{-3} a 10^{-4} M, o que implica em um ψ_{os} desprezível.

A componente osmótica torna-se importante, quando a concentração iônica é significativa. A concentração iônica é sig nificante quando θ é pequeno, quando existe acúmulo de sais, como é o caso da superfície de um solo salino sujeito à evaporação intensa, etc.. De maneira geral, pelo menos em termos macroscópi cos e médios, a concentração de íons na solução do solo não va

ria significativamente de posição para posição, de tal forma que, apesar da componente osmótica contribuir significativamente para ψ , seu gradiente ao longo de uma direção x , $\partial\psi_{os}/\partial x$, é desprezível. Assim, na maioria dos estudos de movimento de água no solo o gradiente potencial osmótico é desprezado.

2.7.4 - COMPONENTE MATRICIAL - ψ_m

A componente matricial, é a soma de todos os outros trabalhos que envolvem a interação entre a matriz do solo e a água, tais como trabalho capilar, trabalho contra forças de adsorção e elétricas, etc.. Devido à sua complexidade, ela não pode ser calculada facilmente como fizemos para as demais componentes. Ela é medida experimentalmente.

Na prática, ela pode ser medida por meio de Tensiômetros ou instrumentos de pressão ou sucção. No solo ψ_m está relacionado com θ , isto é, quanto maior θ (mais úmido), maior ψ_m .

Este potencial é resultado de forças capilares e de adsorção que surgem devido à interação entre a água e as partículas sólidas, isto é, matriz do solo. Estas forças atraem e fixam a água no solo diminuindo sua energia potencial em relação à água livre. Veja Figura 2.5.

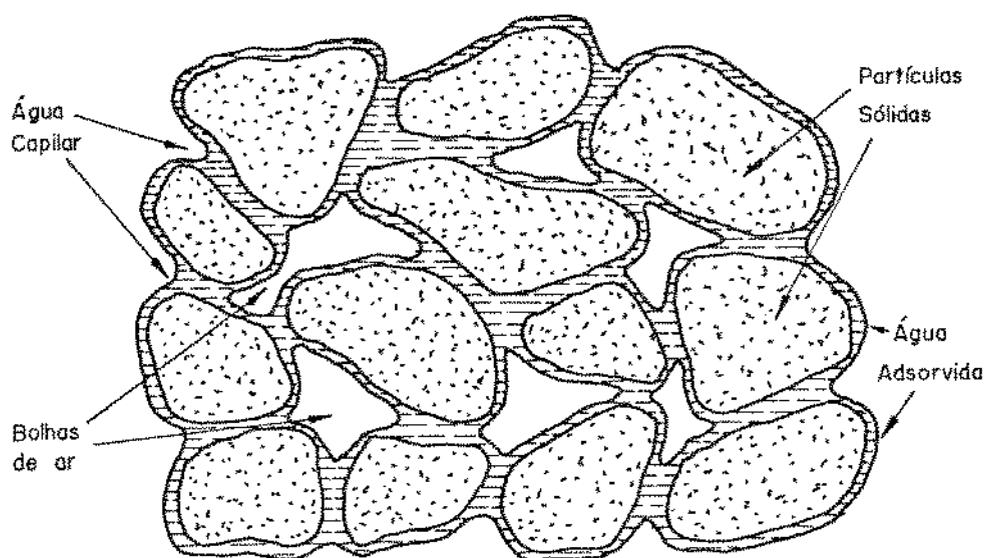


Figura (2.5) - Água num solo de textura grossa não saturado. A combinação das forças de capilaridade, adsorção e outras, dão origem à tensão matricial.

Assim como a água sob uma superfície plana, tem um potencial de pressão positivo, na superfície tem potencial de pressão nulo, e dentro de um capilar tem potencial de pressão negativo, no solo ela também pode estar sob pressões positivas ou negativas, sendo seu potencial respectivamente positivo ou negativo. Para solos não saturados, devido à presença de meniscos (interfaces sólido-gás) e à presença de superfícies de adsorção (interfaces sólido-líquido), a pressão é negativa, conferindo-lhe potencial matricial negativo. Daí sua freqüente designação de tensão da água no solo. Em solos arenosos, com poros e partículas relativamente grandes, a adsorção é pouco importante ao passo que fenômenos capilares predominam na determinação do potencial matricial. Para texturas finas o contrário se dá. Variações no potencial também se dão para um mesmo solo, com diferentes teores de umidade. Quando relativamente úmido, forças capilares são de importância, e a medida que sua umidade decresce as forças adsorptivas vão tomando seu lugar.

De maneira geral podemos dizer que o potencial matricial é o resultado do efeito combinado de dois mecanismos, capilaridade e adsorção, que não podem ser facilmente separados. A água em meniscos capilares está em equilíbrio com a água de filmes de adsorção, e a modificação do estado de um deles implica na modificação do outro.

Como já foi dito, a descrição matemática deste potencial é bastante difícil, e sua determinação é normalmente experimental. Adiante sua determinação experimental será vista com detalhes.

2.8 - MEDIDAS DO POTENCIAL DA ÁGUA NO SOLO

Existe uma série de instrumentos utilizados na determinação do potencial da água no solo. Eles nos fornecem uma ou mais componentes dependendo do tipo de instrumento.

Como já foi visto, o potencial gravitacional é medido diretamente com o auxílio de uma régua, uma vez que ele depende apenas da posição relativa da água no campo gravitacional terrestre.

Os potenciais de pressão, aparecem apenas quando o solo está sujeito a uma carga hidráulica ou a uma tensão, e estas são também proporcionais a altura de uma coluna de fluido.

O potencial osmótico pode ser estimado através da concentração da solução do solo como foi visto. Sérias dificuldades são encontradas na determinação da concentração salina da água no solo. Do ponto de vista macroscópico ela pode ser considerada como constante, mas microscopicamente ela varia enormemente devido a fenômenos de adsorção. Na prática, como a concentração salina da água no solo geralmente varia pouco de ponto para ponto, o potencial osmótico é desprezado. Na verdade, seu valor absoluto não pode ser desprezado, mas sua variação de ponto para ponto po

de perfeitamente ser desprezada. Esta variação é o gradiente do potencial osmótico $\partial\psi_{OS}/\partial x$. Assim, na maioria dos problemas de física de solos, o potencial total é considerado apenas como a soma do potencial gravitacional e o matricial, isto sob condições isotérmicas e isobáricas. Daí, a importância da medida do potencial matricial da água no solo. Este potencial, em condições de campo, é normalmente medido utilizando-se um instrumento denominado Tensiômetro.

2.8.1 - O TENSIÔMETRO

As partes necessárias de um Tensiômetro, são vistas na Figura 2.6. O Tensiômetro consiste de uma cápsula porosa, geralmente de material cerâmico, conectada através de um tubo a um manômetro, com todas as partes completamente cheias de água.

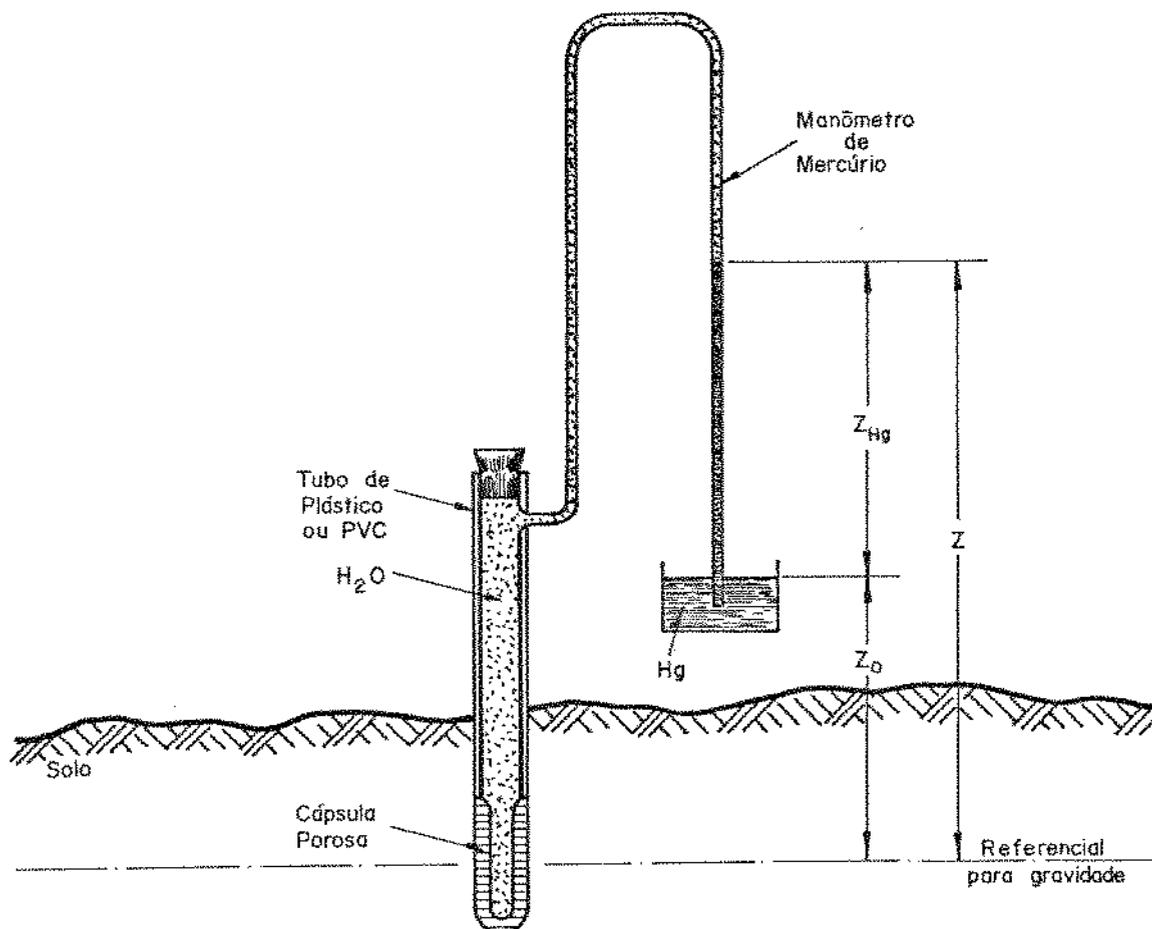


Figura (2.6) - Esquema de um Tensiômetro

Quando a cápsula é colocada no solo, onde a medida de sucção (potencial matricial) deve ser feita, a água do Tensiômetro entra em contato hidráulico com a água no solo através dos poros da cápsula porosa, e o equilíbrio tende a estabelecer-se. Inicialmente, isto é, antes de se colocar o instrumento em contato com o solo, sua água está à pressão atmosférica. A água no solo, que geralmente está sob pressões sub-atmosféricas, exerce uma sucção sobre o instrumento, e dele retira certa quantidade de água, causando uma queda na pressão hidrostática dentro do mesmo.

Estabelecido o equilíbrio, o potencial da água dentro do Tensiômetro, ψ_m , é igual ao potencial da água no solo, ψ_s , e o fluxo de água cessa. A diferença de pressão é indicada por um manômetro, que pode ser um simples tubo em U com água ou mercúrio, indicador mecânico, ou elétrico. O Tensiômetro permanece no solo por longo tempo, e como a cápsula é permeável a água e sais, a água dentro do Tensiômetro fica com a mesma composição e concentração da água do solo. A diferença de pressão, não indica portanto o potencial osmótico.

Ainda de acordo com a Figura 2.6, a distância Z , é definida como a distância do alto da coluna de mercúrio ao centro da cápsula cerâmica. Uma segunda distância, Z_{Hg} , é definida como a distância do alto da coluna de mercúrio à superfície do reservatório de mercúrio. Para esta condição, o potencial matricial, ψ_m , foi definido por TAYLOR e ASHCROFT (1972, p. 286) como:

$$\psi_m = -Z_{Hg} \cdot \frac{\rho_{Hg}}{\rho_w} + Z \quad (II-23)$$

na qual ρ_{Hg} é a densidade do mercúrio ($13,6\text{g/cm}^3$), e ρ_w é a densidade da água ($1,0\text{g/cm}^3$). Assim podemos escrever:

$$\psi_m = - 13,6 Z_{Hg} + Z \quad (II-24)$$

A distância Z , varia com as mudanças da altura da coluna de mercúrio Z_{Hg} . Se contudo considerarmos a distância da superfície do reservatório de mercúrio, ao centro da cápsula cerâmica, Z_0 , temos uma constante para cada Tensiômetro. Substituindo $Z = Z_0 + Z_{Hg}$ na equação (II-23) temos:

$$\psi_m = -Z_{Hg} \cdot \frac{\rho_{Hg}}{\rho_w} + Z_{Hg} + Z_0 \quad (\text{II-25})$$

que pode ser reescrita como:

$$\psi_m = -Z_{Hg} \cdot \left[\frac{\rho_{Hg}}{\rho_w} - 1 \right] + Z_0 \quad (\text{II-26})$$

substituindo as densidades temos:

$$\psi_m = -12,6 \cdot Z_{Hg} + Z_0 \quad (\text{II-27})$$

que é a equação que nos fornece o potencial matricial medido por Tensiômetros.

A medida do potencial por Tensiômetro, é geralmente limitada para valores menores que 1 atm. Isto porque, o manômetro mede vácuo em relação à pressão atmosférica externa, e devido à impossibilidade de se manter uma coluna macroscópica de água sob tensões maiores que 1 atm. Além disto, quando a tensão atinge valores altos, pode haver entrada de ar no Tensiômetro, através dos poros da cápsula, cuja pressão interna se igualará à pressão atmosférica, e o instrumento deixará de funcionar.

Na prática o intervalo de uso do Tensiômetro é de $\psi_m = 0$ (saturação) a $\psi_m = 0,8$ atm, aproximadamente. Embora este intervalo de potenciais mensurável pelo Tensiômetro, seja uma pequena parte dos potenciais encontrados no campo, ainda assim, ele cobre o principal intervalo de umidade do solo de importân

cia em práticas agrícolas.

O Tensiômetro tal qual se apresenta hoje em dia, ainda possui algumas limitações de ordem prática. Sua leitura é feita através de uma régua graduada, medindo-se uma coluna de mercúrio, ou através de manômetros de vácuo. Estas formas incômodas e imprecisas de leitura, têm dificultado seu uso intensivo na pesquisa agropecuária e no controle de irrigação.

Como pode ser visto nos capítulos subseqüentes, neste trabalho desenvolvemos um transdutor elétrico para Tensiômetros e um sistema computadorizado de monitoração que elimina as dificuldades mencionadas.

2.9 - APLICAÇÕES

2.9.1 - IRRIGAÇÃO PROGRAMADA POR TENSIÔMETROS

A finalidade da irrigação, é manter uma condição de água no solo na região das raízes, de maneira a não restringir o crescimento das plantas — ou poderíamos dizer, é manter uma condição de água, que seja "confortável" para as plantas. O conforto térmico para os humanos, não depende tanto da quantidade de calor presente quanto da temperatura. De um modo semelhante, o "conforto hídrico" para as plantas, não depende tanto da quantidade de água presente quanto de seu potencial.

A região das raízes da maioria das culturas, é limitada à parte não saturada do perfil do solo, porque as mesmas não proliferam em um solo saturado, pois no mesmo a aeração é limitada. Por este motivo, para o crescimento das plantas, não nos preocupamos com a componente de pressão do potencial da água. Se a concentração salina no solo for desprezível, então a componente osmótica do potencial da água é de pouco interesse. Assim, na região das raízes num solo não salino temos, $\psi \approx \psi_m$, ou podemos

dizer que o "conforto hídrico" é largamente determinado pelo potencial matricial da água do solo. Daí, os Tensiômetros serem amplamente usados para determinar quanto e quando irrigar. Embora os Tensiômetros funcionem somente numa parte limitada da faixa de água disponível (ψ_m variando de 0 a -800cm de H_2O) é geralmente nesta faixa que as plantas precisam ser irrigadas.

Na Tabela 2.1, são mostrados os potenciais matriciais da água no solo para várias culturas, em função dos quais, a irrigação deve ser aplicada para uma produção ótima. Onde são mostrados dois valores, o valor maior é usado quando a evapotranspiração é alta e o valor menor quando a mesma for baixa; valores intermediários são usados quando a evapotranspiração for média.

Tabela 2.1 - Tabela do Potencial Matricial (ψ_m) para algumas Culturas.

CULTURA	POTENCIAL MATRICIAL (cm de H_2O)
Abacate	-500
Aipo	-200 a -300
Alface	-400 a -600
Alfafa	-1500
Banana	-300 a -1500
Batata	-300 a -500
Beterraba sacarina	-400 a -600
Cenoura	-550 a -650
Couve-flor	-600 a -700
Ervilha	-300 a -500
Feijão	-750 a -2000
Gramíneas forrageiras	-300 a -1000
Laranja	-200 a -1000
Limão	-400
Milho (estágio vegetativo)	-500 a -1000
Morango	-200 a -300
Repolho	-600 a -700
Tomate	-800 a -1500

Fonte: Taylor and Ashcroft. 1972 - Physical Edaphology. (Table 14.3, pp.434-435).

Na prática, Tensiômetros são geralmente instalados a duas profundidades. O mais alto deve ser colocado na região de máxima atividade das raízes, e o mais baixo deve ser colocado no fundo da região ativa das raízes, veja a Figura 2.7.

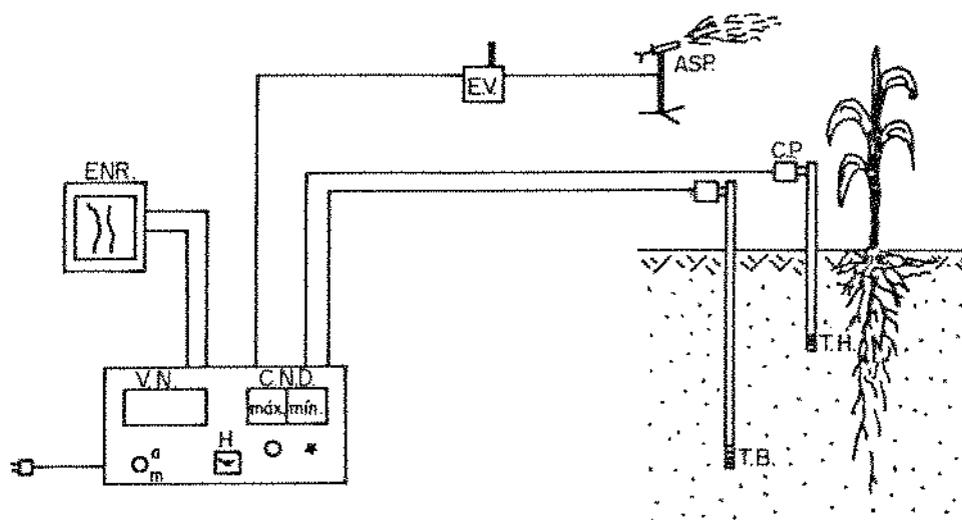


Figura (2.7) - Elementos constituintes de um sistema automático de irrigação. TH = Tensiômetro superior; TB = Tensiômetro inferior; CP = transdutor de pressão; CND = comparador numérico de dois dígitos; VN = voltímetro digital; H = relógio; ENR = registrador de potencial; EV = válvula elétrica; ASP = aspersor.

Para a maioria das culturas, é hora de irrigar quando o Tensiômetro superior indica de -300 a -500cm de H_2O , e o Tensiômetro inferior começa a indicar secagem.

Um gráfico típico do potencial matricial em função do tempo é mostrado na Figura 2.8.

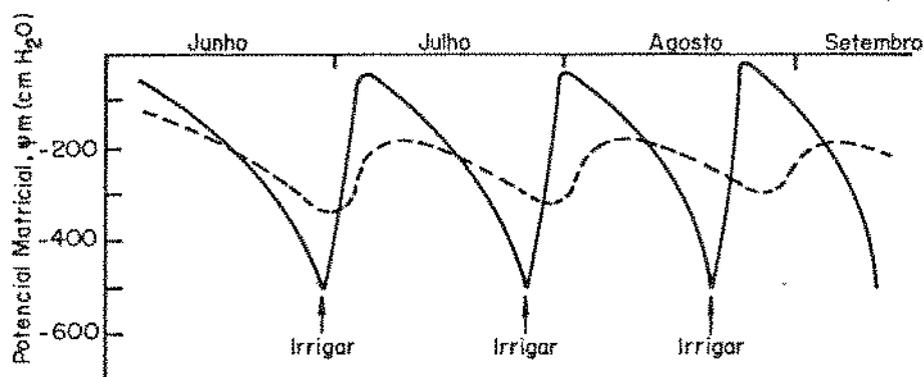


Figura (2.8) - Potencial matricial em função do tempo, próximo à parte superior das raízes (curva contínua), e na parte inferior das mesmas (curva tracejada). A irrigação deve ser aplicada no final dos meses de junho e julho, e em meados de agosto.

2.10 - CURVAS CARACTERÍSTICAS DA UMIDADE DO SOLO

Para cada amostra de solo homogêneo, ψ_m tem um valor característico para cada teor de umidade. O gráfico de ψ_m em função de θ , é então uma característica da amostra, e é comumente denominado curva característica da umidade do solo ou simplesmente curva de retenção. Para altos teores de umidade, nos quais fenômenos capilares são de importância na determinação de ψ_m , a curva depende da geometria da amostra, isto é, do arranjo e das dimensões dos poros. Ela passa então a ser uma função da densidade global do solo e da porosidade. Para baixos teores de umidade, o potencial matricial ψ_m , praticamente independe de fatores geométricos sendo a densidade global e porosidade de pouca importância em sua determinação. Na Figura 2.9, são apresentadas curvas de retenção para diferentes amostras.

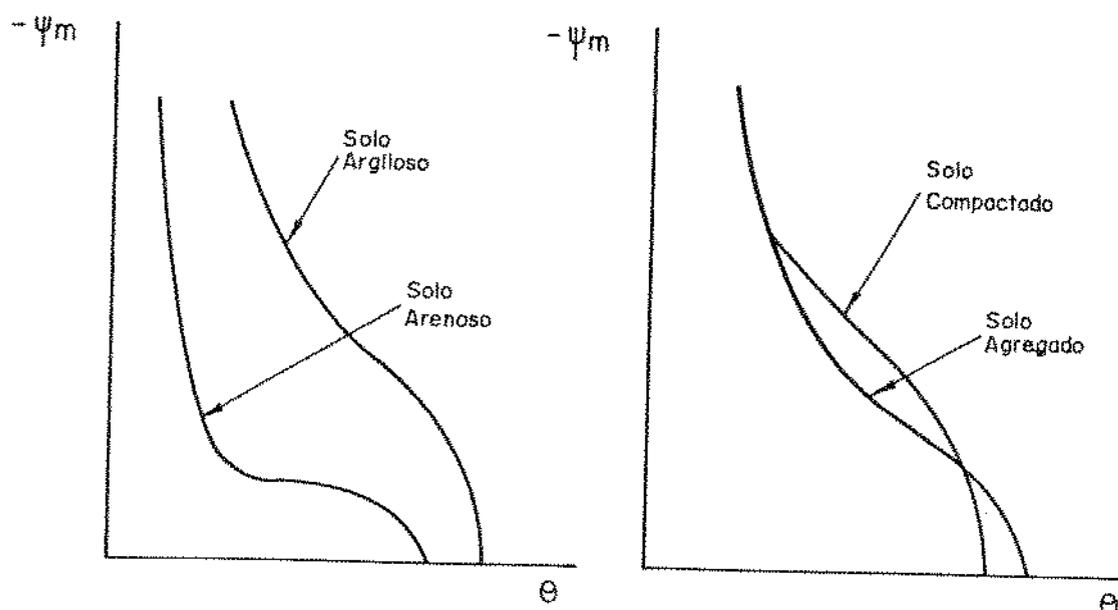


Figura (2.9) - Curvas Características da umidade do solo.

Conhecendo-se a curva característica de um solo, pode-se estimar ψ_m conhecido θ , ou vice-versa. Na prática, a determinação de θ é bem mais simples, de tal forma que θ é medido e ψ_m estimado pela curva de retenção. Desde que a geometria do sistema não varie com o tempo, a curva característica é única e não precisa ser determinada em cada experimento. Como pode ser verificado na Figura 2.9, a umidade de saturação θ_s de um solo argiloso é maior que em um solo arenoso. Para o solo compactado, θ_s é menor também, porque a compactação diminui a porosidade f . Um solo saturado, em equilíbrio com água pura à mesma elevação, o potencial matricial ψ_m é nulo. Aplicando-se uma pequena sucção à água do solo saturado, não ocorrerá nenhuma saída de água do mesmo, até o momento em que a sucção atinge determinado valor, no qual o maior poro do solo se esvazia. Esta sucção ou tensão crítica é denominada de valor (ou sucção) de entrada de ar. Para solos de textura grossa, este valor é pequeno, e para solos de textura fina pode ser considerável. Aumen

tando-se mais a tensão, mais água é retirada dos poros que não conseguem reter água contra a tensão aplicada. Relembrando a equação da capilaridade, podemos imediatamente prever que um aumento gradual da tensão, resultará em um esvaziamento de poros progressivamente menores, até que a tensões muito altas, somente poros muito pequenos conseguem reter água. A cada valor de tensão corresponde um valor ψ_m ; como para cada tensão, o solo possui uma umidade θ , a curva de θ versus ψ_m pode facilmente ser determinada. Como já dissemos, ela é determinada experimentalmente. Até o momento, nenhuma teoria satisfatória existe para a previsão da curva característica ψ_m versus θ . MEDINA e GROHMANN (1962) e (1966) apresentam curvas características de alguns solos do Estado de São Paulo.

A relação entre o potencial matricial, ψ_m e a umidade do solo θ , não é geralmente uma função unívoca. Esta relação pode ser obtida de duas maneiras distintas:

- a) por **secamento**, tomando-se uma amostra de solo inicialmente saturada de água, e aplicando-se gradualmente tensões maiores, e fazendo medidas sucessivas da tensão (ψ_m em energia por volume) em função de θ ;
- b) por **molhamento**, tomando-se uma amostra de solo inicialmente seca ao ar, e permitindo-se seu molhamento gradual por redução da tensão.

Cada método fornece uma curva contínua, mas as duas em geral, são diferentes. O fenômeno é denominado histerese. A umidade do solo θ , na condição de equilíbrio a uma dada tensão é maior na curva de secamento do que na curva de molhamento. Na Figura 2.10 é apresentado o fenômeno de histerese. Como se pode verificar, θ_s é o mesmo, pois sendo o mesmo solo, quando saturado deve sempre ter o mesmo teor de umidade. Se uma curva de retenção é obtida por molhamento a partir de um solo seco, e por

exemplo, para o valor de ψ_A indicado pelo ponto A, na Figura 2.10, o solo é novamente secado, aumentando-se a tensão, obtém-se outra curva, representada por AB na Figura 2.10. Estas curvas intermediárias, são denominadas *scanning curves*, e as duas curvas completas são designadas como ramos principais de histerese.

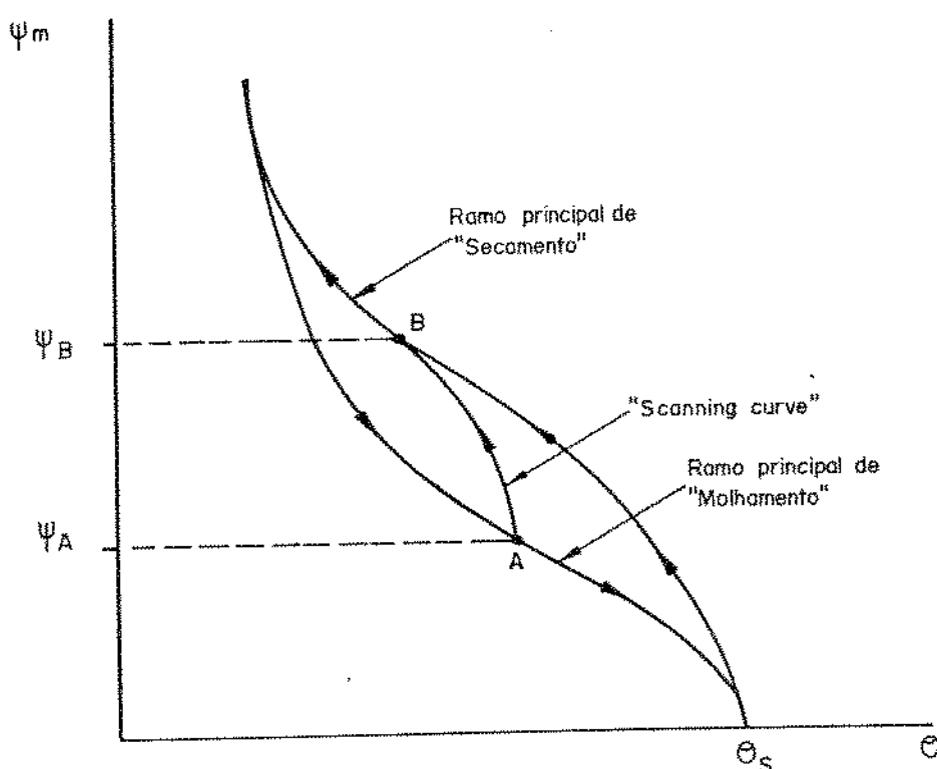


Figura (2.10) - Histerese da curva de retenção.

Estudos básicos de histerese da água do solo foram realizados extensivamente, destacando-se HAINES (1930), MILLER e MILLER (1955.a, b; 1956), POULOVASSILIS (1962), PHILIP (1964), TOPP e MILLER (1966), e TOPP (1969). Segundo estes estudos, a histerese é atribuída a não-uniformidade dos poros individuais com relação a fenômenos capilares, bolhas de ar que permanecem

fixas dentro dos macroporos, e contração e expansão de argilas durante secamento e molhamento.

A histerese traz sérios problemas para a descrição matemática do fluxo de água no solo. Já dissemos que o gradiente do potencial é a força responsável pelo movimento da água, e se a relação $\psi_m(\theta)$ não for unívoca, $\partial\psi_m/\partial\theta$, $\partial\psi_m/\partial x$ e $\partial\theta/\partial x$ também não o serão. O problema é contornado parcialmente, utilizando a curva de molhamento, quando se descreve fenômenos de molhamento, como por exemplo infiltração, e curva de secamento, em fenômenos de secamento, como o caso da evaporação. Quando os dois fenômenos ocorrem simultaneamente, o problema torna-se sério. Na maioria das vezes a histerese precisa ser desprezada.

CAPÍTULO III

3.1 - O TRANSDUTOR CAPACITIVO PARA TENSIÔMETRO

No capítulo anterior estudamos o Tensiômetro e suas aplicações na agricultura, bem como algumas de suas limitações.

Neste capítulo descrevemos o transdutor capacitivo desenvolvido para o Tensiômetro, a fim de que o mesmo possa ser lido continuamente e em tempo real, por um microcomputador que armazena estas informações em disquetes para um posterior processamento.

3.2 - DESCRIÇÃO

A idéia utilizada foi a de se empregar o manômetro de mercúrio convencional usado no Tensiômetro, como elemento transdutor de pressão. Isto porque, assim teríamos um transdutor de custo acessível, feito com materiais prontamente encontrados no mercado nacional e que pudesse ser usado em condições de campo.

O princípio básico de operação deste transdutor é o mesmo de um capacitor cilíndrico de placas concêntricas. O manômetro constituído por um tubo capilar de vidro de 80cm de comprimento, com diâmetro externo de 7mm e interno de 2mm, teve sua superfície externa coberta por uma tinta condutora (AQUADAG)^(*) formando desta maneira a placa fixa de um capacitor variável; sendo que a placa móvel é a própria coluna de mercúrio. Veja Figura 3.1.

(*) Nome registrado de uma camada de grafita aplicada no lado interior de alguns tubos de raios catódicos, e que se destina a recolher os elétrons secundários emitidos pela grade.

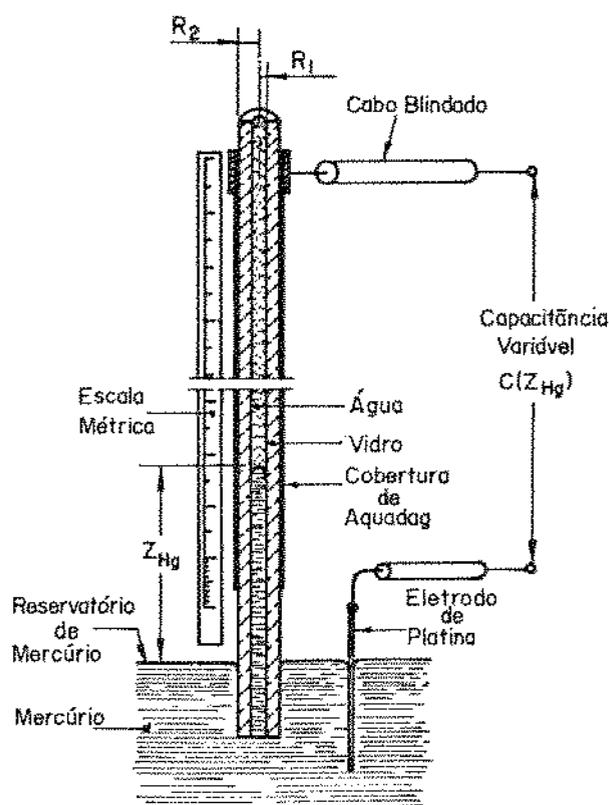


Figura (3.1) - Vista detalhada do transdutor de capacitância variável.

A capacitância de um capacitor cilíndrico concêntrico é dado por:

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 K}{\ln(R_2/R_1)} \cdot Z_{Hg} \quad (\text{III-1})$$

onde R_1 e R_2 são respectivamente os raios interno e externo do tubo de vidro; K é a permitividade elétrica relativa do vidro; ϵ_0 é a permitividade elétrica do vácuo; e Z_{Hg} é o comprimento da coluna de mercúrio no interior do tubo, que corresponde diretamente ao comprimento do capacitor.

Desde que o comprimento do capacitor é linearmente proporcional à capacitância, temos que a pressão também será linearmente proporcional à mesma.

3.3 - RETA C_T (pF) VERSUS Z_{Hg} (cm)

Em nosso experimento com o uso de uma ponte capacitiva, fizemos medidas da capacitância de 5 em 5 centímetros com Z_{Hg} variando de zero até 65 centímetros. Após termos repetido este procedimento por dez vezes e ter obtido uma ótima reprodutibilidade, calculamos o valor médio para as capacitâncias medidas, e seus respectivos desvio padrão.

Na Tabela 3.1 temos os valores obtidos.

Tabela 3.1 - Valores medidos de capacitância em função de Z_{Hg}

ALTURA (Z_{Hg}) (cm $\pm 0,1$ cm)	CAPACITÂNCIA (C_T) (pF)	DESVIO PADRÃO (\pm pF)
0	25,8	0,34
5	36,3	0,32
10	48,0	0,36
15	59,4	0,52
20	70,6	0,88
25	81,9	0,45
30	93,0	0,47
35	103,9	0,19
40	115,3	0,33
45	126,8	0,29
50	138,0	0,20
55	149,3	0,42
60	160,3	0,51
65	172,0	0,06

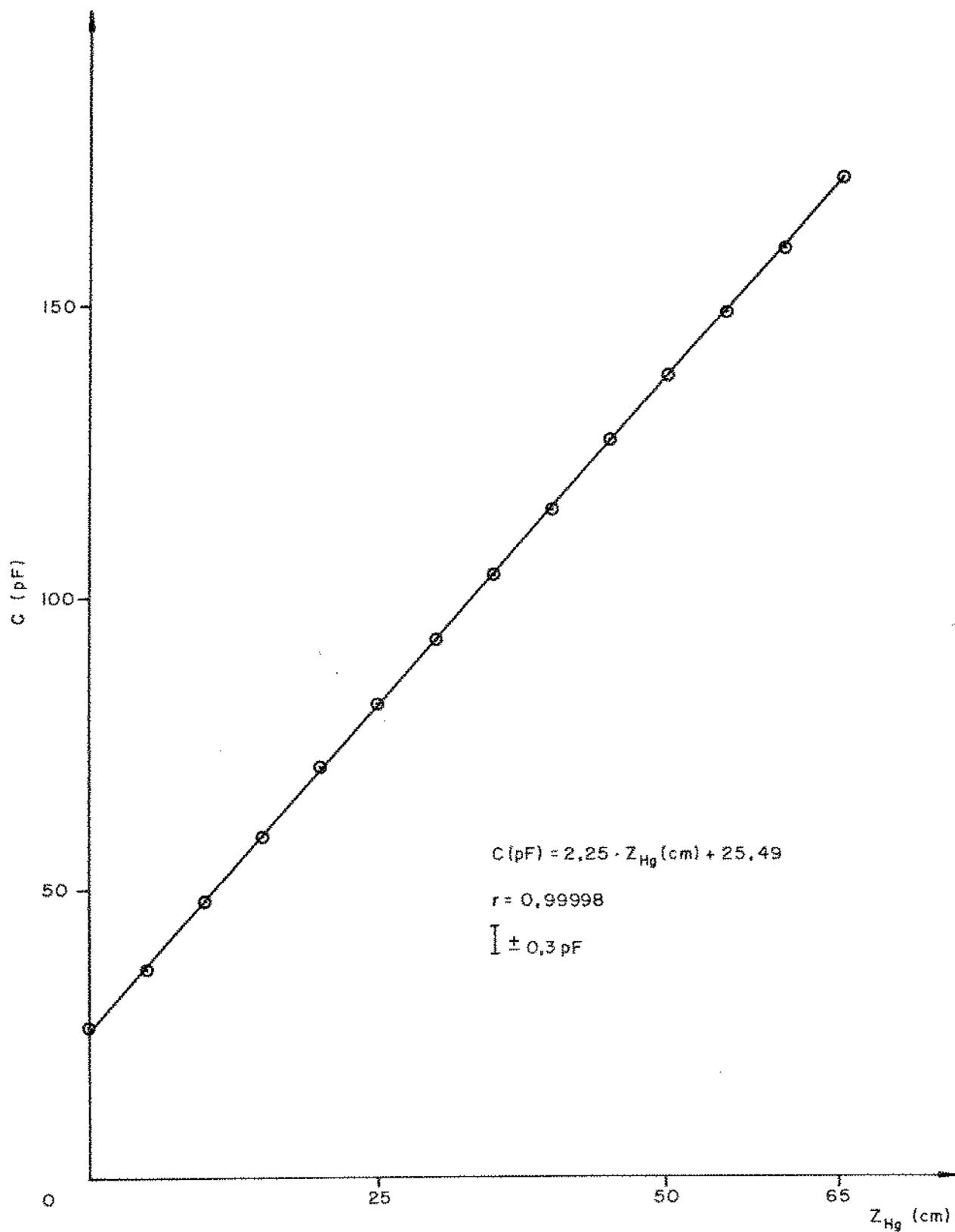
A partir dos dados da Tabela 3.1, foi obtida a equação que correlaciona a capacitância C_T (pF) com a altura da coluna de mercúrio Z_{Hg} (cm):

$$C_T(\text{pF}) = 2,25 \cdot Z_{Hg} + 25,49 \quad (\text{III-2})$$

onde C_T é capacitância do transdutor dada em pico-Farad; Z_{Hg} é a altura da coluna de mercúrio em centímetros; $2,25$ pF/cm é o coeficiente angular da reta; e $25,49$ pF é o valor da intersecção da reta com o eixo das ordenadas. O coeficiente de correlação obtido $r = 0,99998$, nos mostra que a relação é claramente linear.

Da equação (III-2), podemos observar que a capacitância do transdutor é composta por uma parte variável diretamente proporcional às variações da coluna de mercúrio, mais um valor fixo ($25,49$ pF) que é um valor residual de capacitância resultante do efeito da perturbação do campo elétrico na interface mercúrio-água, e da capacitância dos cabos de conexão entre o transdutor e o medidor de capacitância.

Na Figura 3.2, temos a representação gráfica da equação (III-2), juntamente com os valores medidos de capacitância.

Figura (3.2) - Reta C_T (pF) Versus Z_{Hg} (cm)

3.4 - CONVERSÃO DE CAPACITÂNCIA EM FREQUÊNCIA

Foi necessário converter a capacitância do transdutor para um sinal que pudesse ser transmitido através de fios condutores a longa distância sem perda de sensibilidade. Medidas de capacitância, tensão e resistência, são todas afetadas quando tiverem que ser transmitidas a longas distâncias através de fios condutores. No entanto, medidas de frequência na faixa de áudio podem ser transmitidas através de cabos blindados sem variações nos seus valores, ou um carregamento de impedância significativa nos transistores de saída do circuito gerador.

Um circuito multivibrador astável baseado no circuito integrado LM 555, foi usado para converter as variações de capacitância em variações de frequência. Veja Figura 3.3.

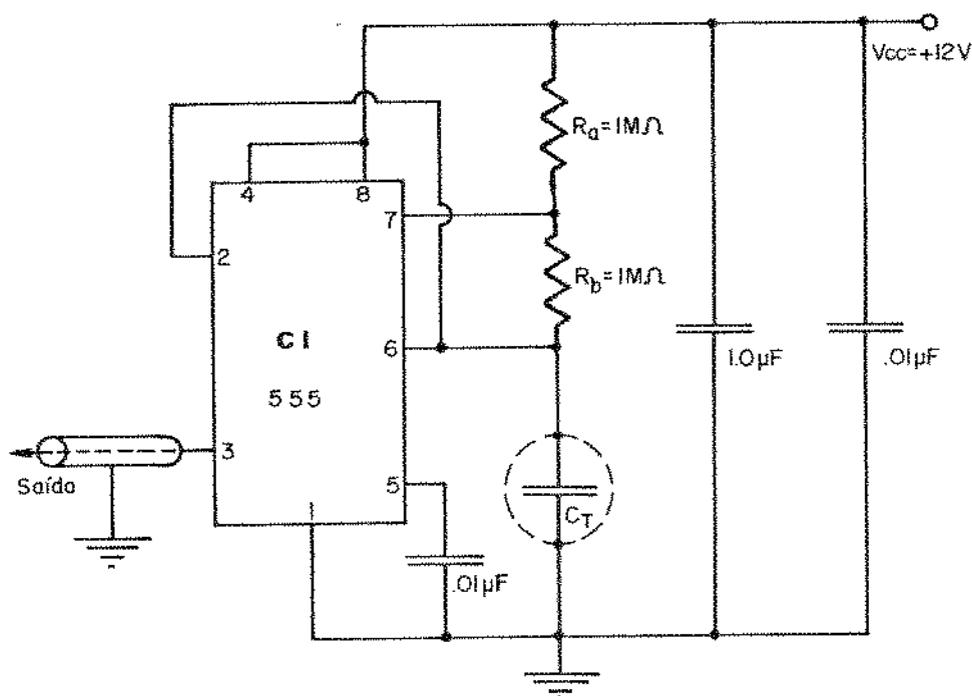


Figura (3.3) - Circuito multivibrador astável para converter variações de capacitâncias em variações de frequências.

Este circuito gera uma onda quadrada com amplitude de +12 Volts, e frequências que podem variar de 2KHz a 20KHz, dependendo das variações da capacitância do transdutor.

O período da frequência gerada pelo circuito multivibrador é dado por:

$$T(\mu s) = 0,693 \cdot (R_a + 2 R_b) \cdot C_T \quad (\text{III-3})$$

onde T é o período dado em microsegundos (μs); R_a e R_b são respectivamente as resistências de carga e descarga dadas em mega-Ohm ($M\Omega$); e C_T é a capacitância do transdutor dada em pico-Farad (pF).

Da equação (III-3), podemos observar que o período é diretamente proporcional à capacitância do transdutor, e portanto também diretamente proporcional à pressão medida.

3.5 - RETA Z_{Hg} (cm) VERSUS T (μs).

Analogamente, com o uso de um freqüencímetro foram feitas medidas do período de 5 em 5 centímetros, com Z_{Hg} variando de zero até 65 centímetros. Este procedimento foi repetido por dez vezes, e novamente obtivemos uma ótima reprodutibilidade.

Na Tabela 3.2 temos os valores obtidos.

Tabela 3.2 - Valores medidos do período T(μ s) em função da altura Z_{Hg}(cm)

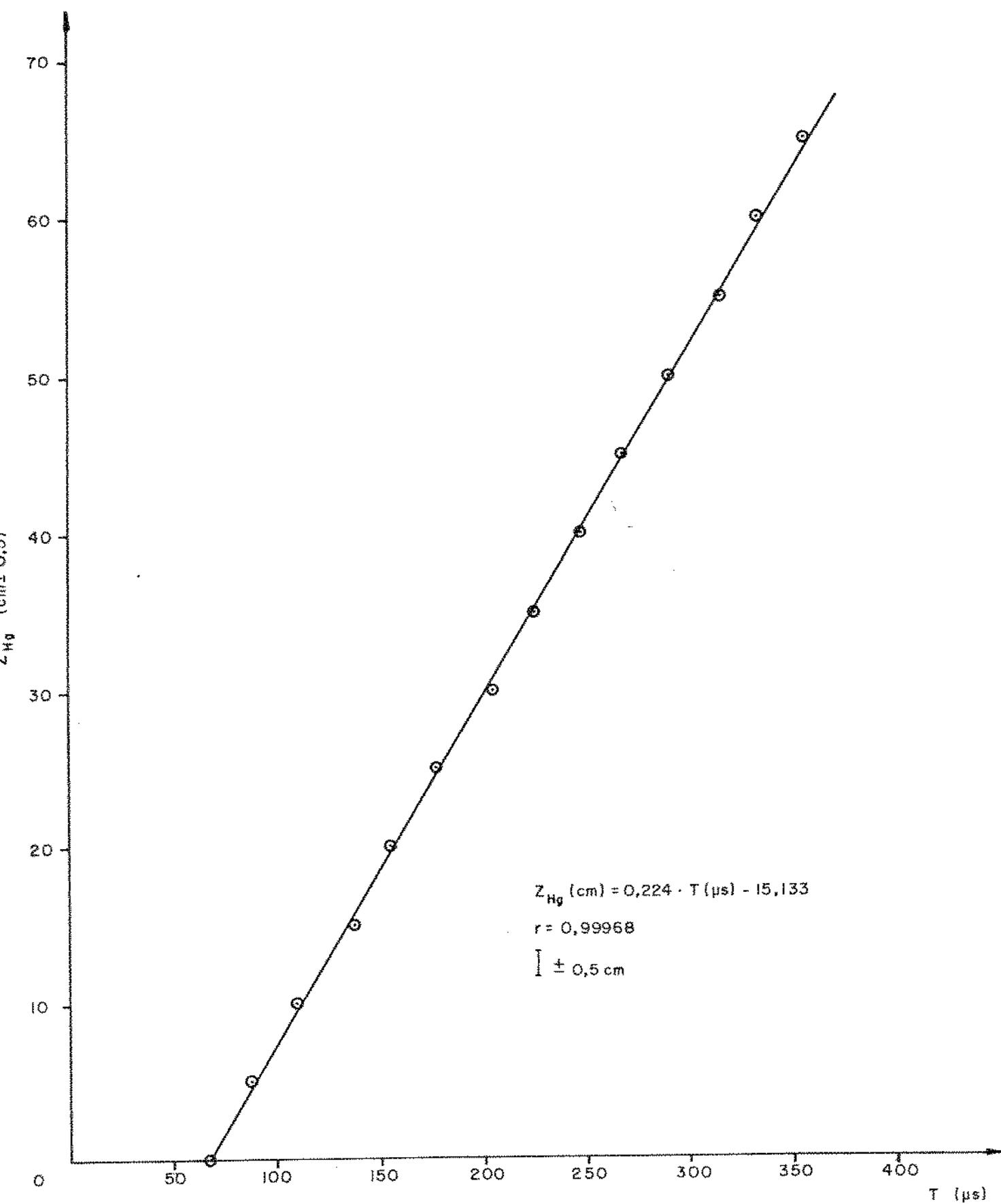
FREQÜÊNCIA (F) (KHz)	DESVIO PADRÃO (\pm KHz)	PERÍODO (T) (μ s)	ALTURA (Z _{Hg}) (cm \pm 0,5cm)
14,85	0,032	67,34	0
11,55	0,197	86,58	5
9,03	0,129	110,74	10
7,27	0,060	137,55	15
6,46	0,062	154,80	20
5,61	0,049	178,25	25
4,89	0,020	204,50	30
4,44	0,067	225,23	35
4,05	0,123	246,91	40
3,73	0,149	268,10	45
3,44	0,145	290,70	50
3,17	0,103	315,46	55
3,02	0,184	331,13	60
2,82	0,081	354,61	65

A partir dos dados da Tabela 3.2, foi obtida a equação que correlaciona Z_{Hg}(cm) com o período T(μ s):

$$Z_{Hg}(\text{cm}) = 0,224 \cdot T - 15,133 \quad (\text{III-4})$$

onde Z_{Hg} é a altura da coluna de mercúrio em cm; T é o período da frequência em micro-segundos (μ s); 0,224cm/ μ s é o coeficiente angular da reta; e -15,133 é o valor da intersecção da reta com o eixo das ordenadas. O coeficiente de correlação obtido $r = 0,999688$, nos indica que a relação é nitidamente linear.

Na Figura 3.4, temos a representação gráfica da equação (III-4), juntamente com os valores obtidos na prática.

Figura (3.4) - Reta Z_{Hg} (cm) Versus T (μs).

Do exposto até aqui, podemos concluir que é plenamente possível do ponto de vista prático construir transdutores capacitivos para manômetros de mercúrio. Assim, o monitoramento contínuo de Tensiômetros passa a ser possível, eliminando-se a maior dificuldade na aquisição automática de dados sobre umidade do solo. Em particular no próximo capítulo, mostraremos um sistema microcomputador desenvolvido com o objetivo de adquirir dados sobre a umidade do solo.

CAPÍTULO IV

4.1 - O MICROCOMPUTADOR PROEN

O microcomputador PROEN (Projeto de Ensino), desenvolvido na presente tese teve a cooperação do Professor EUCLIDES ROBERT FILHO^(*) e sua equipe, que co-orientou os trabalhos nesta área. Sua arquitetura modular, com uma função importante por placa, juntamente com um Software bastante rico e flexível, faz com que ele não sirva apenas para monitorar umidade do solo, mas também ser usado como Sistema de Desenvolvimento.

Deste modo temos um sistema versátil, com tecnologia nacional, e que poderá ser expandido na medida de nossas necessidades, como por exemplo para atuar em controle de irrigação.

4.2 - CARACTERÍSTICAS

Do ponto de vista de hardware, o microcomputador PROEN possui as seguintes características:

- UCP Motorola MC 6800, funcionando com um clock de 2MHz
- 6 Kbytes de EPROM 2716, onde está gravado o Programa Monitor com Assembler, Des-assembler, ferramentas de depuração e rotinas de Entradas/Saídas básicas.
- Conjunto de memórias RAM dinâmicas 4116, perfazendo um total de 64 Kbytes.
- Dois canais de acesso direto à memória, sendo um destes canais para disco flexível.
- Controlador para disco flexível de 8 polegadas, simples e dupla densidade, simples e dupla face, com capacidade de até quatro unidades acionadoras.

(*) Ex-professor do Departamento de Computação e Estatística da Universidade Federal de São Carlos, e atualmente Diretor da CAD-Control e Automação Digital Ltda.

- Quatro interfaces seriais RS 232C, com velocidades de 75 bps a 9600 bps.
- Quatro interfaces paralelas bidirecionais, com dois conjuntos de 8-bits e quatro linhas de controle cada uma.
- Terminal de Vídeo Alfanumérico de 16 linhas por 64 caracteres.
- Programador de memórias.

Sob o aspecto de software, ele é capaz de executar os seguintes sistemas operacionais:

- UCSD PASCAL SYSTEM, cujos programas mais importantes são:
 - Sistema de Gerência de Arquivos
 - Editores de Linha e de Tela
 - Compilador PASCAL
 - Cross-Assembler para os microprocessadores 8080, Z80, 6502, 6800 e LSI-11.
- MOTOROLA DISK OPERATING SYSTEM (MDOS), cujos programas mais importantes são:
 - Sistema de Gerência de Arquivos
 - Editor de Texto
 - Editor de Ligação e Relocação
 - Compiladores BASIC, FORTRAN, MPL, COBOL
 - Interpretador BASIC
 - Macro-Assembler para os microprocessadores 6800 e 6809
 - Programa formatador de texto.

4.3 - DESCRIÇÃO

O microcomputador PROEN é constituído por um conjunto de seis placas de circuito impresso, montadas com circuitos integrados de altíssima integração (VLSI^(*)). Cada uma destas placas possui uma função importante obedecendo a seguinte arquitetura:

Placa da Unidade Central de Processamento; Placa de Memória Dinâmica; Placa Interface Série; Placa Interface Paralela; Placa do Controlador de Discos Flexíveis e Placa Lógica do Terminal de Vídeo Alfanumérico.

Estas placas são independentes entre si, porém estão interligadas através de um barramento que utiliza seis conectores de 44 vias, fixos em um bastidor. Este bastidor possui as fontes de alimentação do microcomputador, que são do tipo linear; e além do barramento já mencionado que segue a norma de atribuição de vias denominada BUS-PROEN, ele também possui um segundo barramento formado por seis conectores de 44 vias, para expansão e ou ligação de interfaces. Veja Figura 4.1.

(*) Very - Large - Scale Integration



Figura (4.1) - Fotografia do Sistema Microcomputador PROEN, onde pode ser visto o Terminal de Vídeo Alfanumérico, os dois Acionadores de Discos Flexíveis, o Microcomputador e algumas placas constituintes do Sistema.

4.3.1 - PLACA DA UNIDADE CENTRAL DE PROCESSAMENTO

A placa da Unidade Central de Processamento, cujo o diagrama de blocos é mostrado na Figura 4.2; contém um microprocessador Motorola MC 6800, funcionando com um clock de 2MHz, gerado pelo circuito integrado MC 6875. Ela contém também um controlador de Acesso Direto à memória (DMA) MC 6844, uma Lógica para o Barramento de Controle, e um circuito que permite paginação de memória RAM em módulos de 64 Kbytes. Tal circuito permite que a UCP e o DMA ou outros elementos ativos do sistema, ganhem controle do espaço de endereçamento (página de 64 Kbytes) durante o tempo em que ali estiverem trabalhando. Atualmente somente um módulo de 64 Kbytes de memória RAM está disponível.

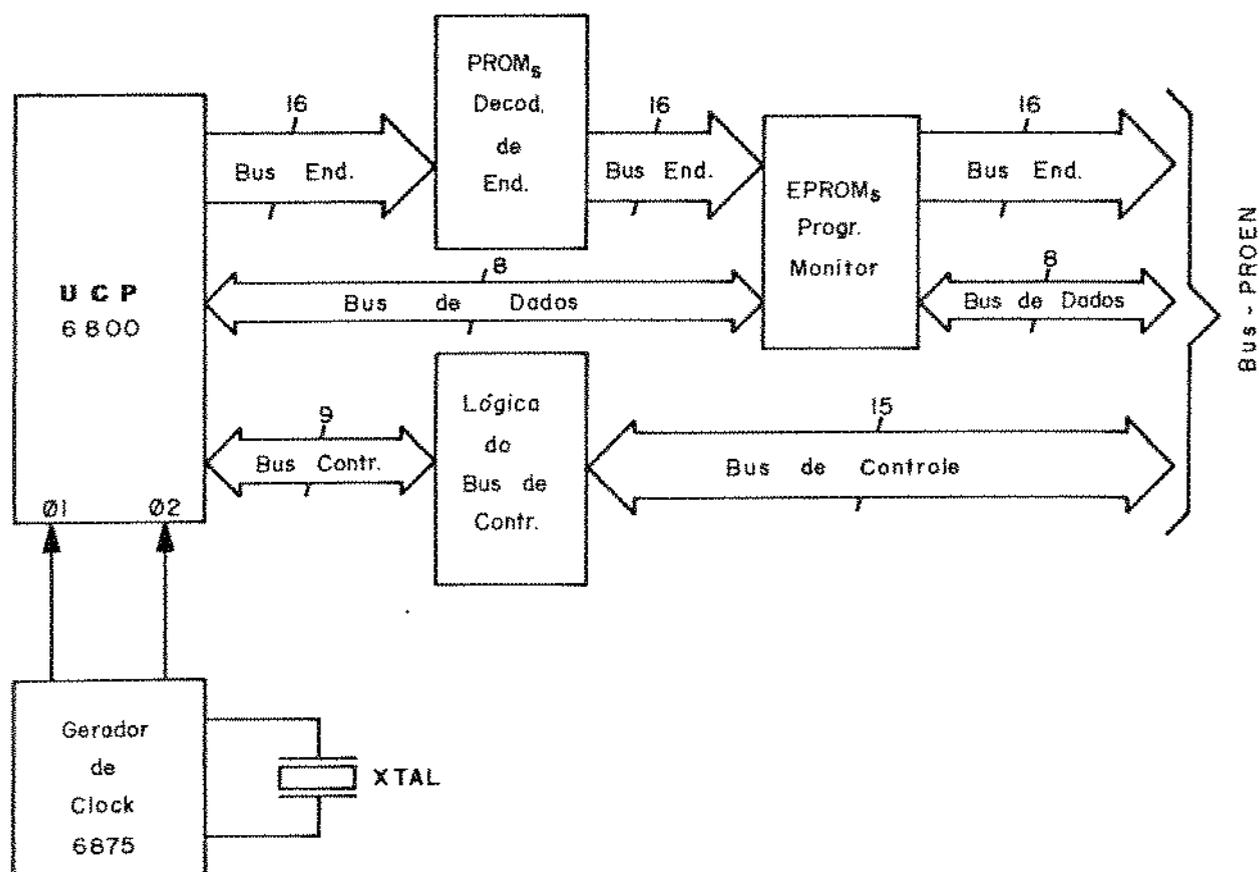


Figura (4.2) - Diagrama de Blocos da Placa da UCP

Do ponto de vista do mapeamento de memória, a página base de 64 Kbytes, sob controle de software, pode ser mapeada em um dos dois modos:

- a) um espaço de 64 Kbytes inteiramente em RAM, menos 256 bytes para os dispositivos de Entradas/Saídas;
- b) 64 Kbytes em RAM, menos os últimos 6 Kbytes que são reservados para as memórias EPROMs.

O modo a) é interessante por permitir modificações no próprio programa monitor e rotinas de E/S básicas. Neste modo a "partida a frio" é feita com o sistema copiando automaticamente para o espaço RAM o conteúdo das memórias EPROMs. O modo b) é o modo usual de trabalho, neste modo de operação não é permitido modificações no program monitor nem nas rotinas de E/S básicas,

pois ambos ficam permanentemente nas memórias EPROMs.

Sob o aspecto de software a placa da UCP dispõe de 6 kbytes de memórias EPROM 2716 contendo as rotinas de E/S básicas para a interface série e para o controlador de discos flexíveis, contém também um programa monitor básico com Assembler, Des-Assembler, pontos de Halt e Trace, passo a passo, visualização e modificação dos registros e posições de memória, lançamento de programa e etc.

É interessante notar ainda que as decodificações dos endereços são feitas por memórias PROM, permitindo alterações do mapeamento de memória e E/S por simples reprogramação dessas PROMs. A técnica utilizada é a decodificação descentralizada visando economia de fios no barramento inter-placas. A placa da UCP decodifica os blocos de endereço destinados a cada placa. Estas últimas também por PROM, refinam o endereçamento na medida das suas necessidades.

4.3.2 - PLACA DE MEMÓRIA DINÂMICA

Esta placa tem como célula básica o circuito integrado MK 4116, que é uma Memória de Acesso Aleatório (RAM) Dinâmica de 16 K por 1 bit.

Como pode ser visto na Figura 4.3, a mesma contém 64 Kbytes de RAM separados em 4 bancos de 16 Kbytes cada. Devido à necessidade de reciclagem que é característica das memórias dinâmicas; ela possui também um circuito integrado 8202, que é um controlador de RAM dinâmica, e que além de fornecer a reciclagem mencionada, ele funciona como uma interface entre o sistema e os bancos de memórias, gerando os sinais de controle necessários para cada um deles.

Atualmente temos uma única placa de memória RAM com 64 Kbytes, formando o que anteriormente denominamos de 1 página de memória. Futuramente outras páginas de memória poderão ser adicionadas a este microcomputador.

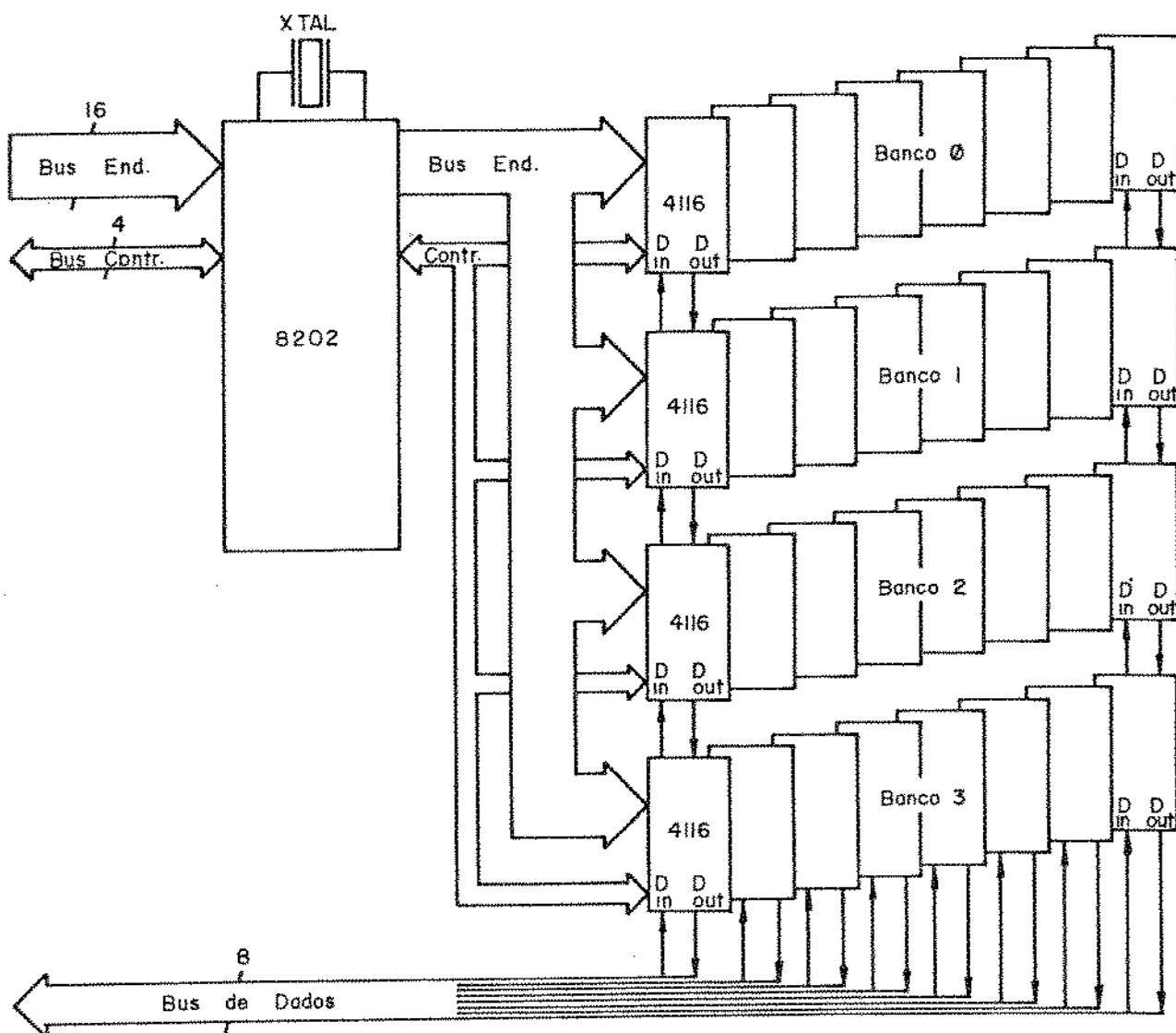


Figura (4.3) - Diagrama de Blocos da Placa de Memória Dinâmica

4.3.3 - PLACA INTERFACE SÉRIE

Nesta placa, a transmissão série de dados é implementada pelo circuito integrado MC 6850; Interface Adaptadora para Comunicações Assíncromas (ACIA). Esta interface foi projetada para receber dados paralelos vindos do barramento de dados do mi

crocomputador, na razão de um byte por vez; e enviar seus bits serialmente para quaisquer dispositivos de comunicação de dados na forma série assíncrona, tais como: Teleimpressora, Terminal de Vídeo, Impressora de Linha ou MODEM. Ao mesmo tempo, outros circuitos da ACIA podem receber dados em série de um teclado, um MODEM, ou uma leitora de fita, e transformá-los em paralelos, colocando-os sobre o barramento de dados do microcomputador.

A Figura 4.4 mostra o diagrama de blocos da Placa Interface Série. Nela temos 4 circuitos integrados MC 6850, o circuito integrado MC 14411, que é um Gerador de Velocidade de Transmissão e Recepção de dados, a PROM decodificadora de Endereços, e os Circuitos Transdutores de Níveis para o Padrão RS232C. O circuito MC 14411 permite que cada MC 6850 trabalhe numa velocidade usual qualquer, entre 75 bps e 9600 bps selecionáveis por meio das Chaves Seletoras de Velocidade.

Esta placa atualmente está servindo ao Terminal Alfa numérico de Vídeo, à Impressora, e ainda restam duas Entradas/Saídas para outras aplicações que se fizerem necessárias.

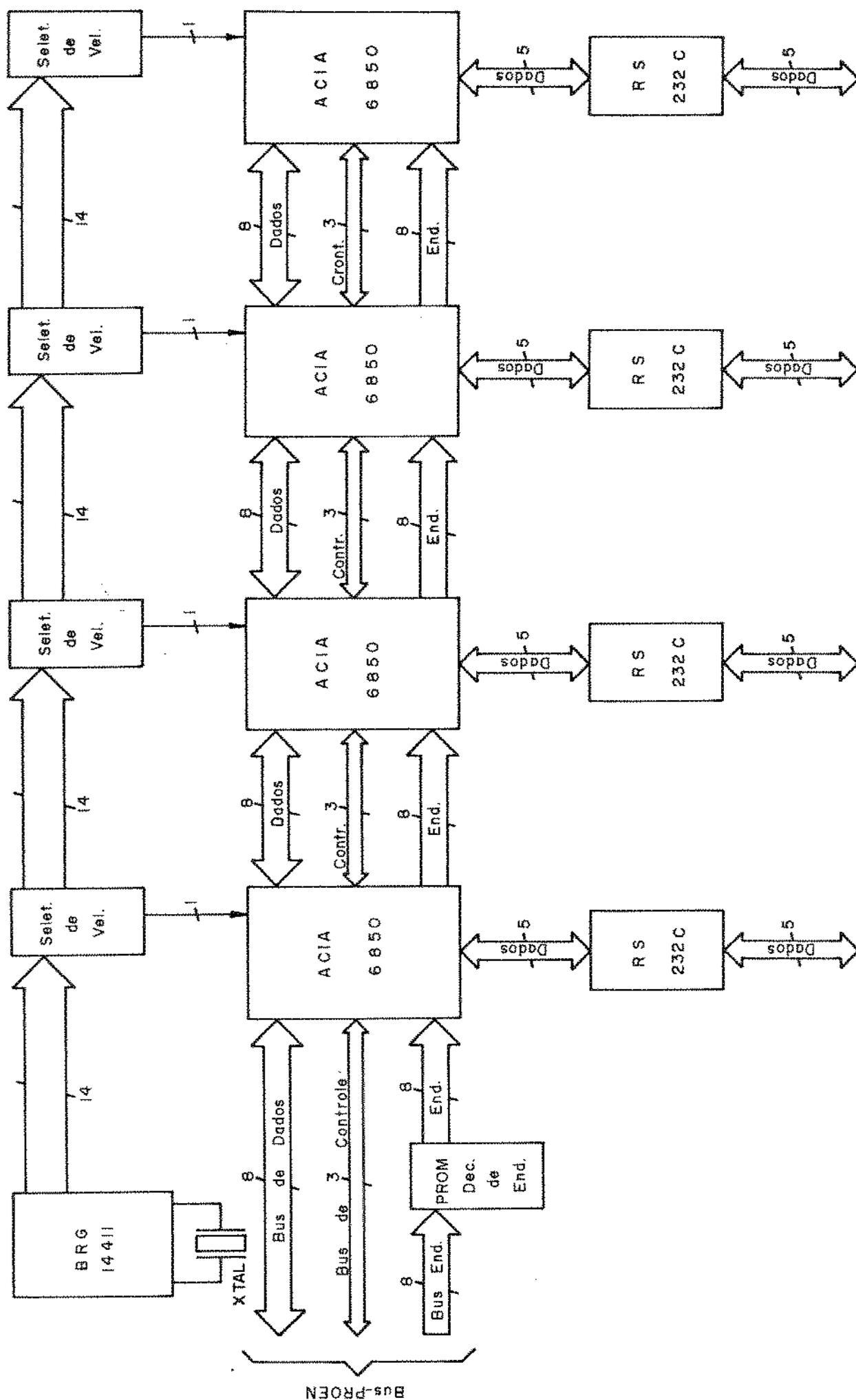


Figura 4.4 - Diagrama de blocos da Placa Interface Série

4.3.4 - PLACA INTERFACE PARALELA

A Placa Interface Paralela é responsável pela transferência de dados paralelos entre o microcomputador PROEN e periféricos paralelos. A sua configuração em diagrama de blocos é mostrada na Figura 4.5.

O circuito integrado MC 6821, Interface Adaptador Paralelo (PIA), é o elemento central desta placa. Este integrado possui duas portas bidirecionais, PA e PB, de 8-bits cada uma e independentes entre si; cada porta possui também duas linhas para controle e ou interrupção de periférico. Portanto a Placa Interface Paralela, possui ao todo 8 portas bidirecionais, sendo que cada porta possui um circuito transceptor de dados. Nesta placa temos ainda uma memória PROM, que é responsável pela decodificação dos endereços para a mesma.

Temos atualmente as saídas desta interface ligadas ao segundo barramento do microcomputador PROEN (6 conectores de 44 vias); o que torna fácil o acesso de Entradas ou Saídas no mesmo, pela simples conexão (plug in) de novas placas neste barramento. Esta característica aliada ao software disponível, faz com que o PROEN possa ser usado como Sistema de Desenvolvimento.

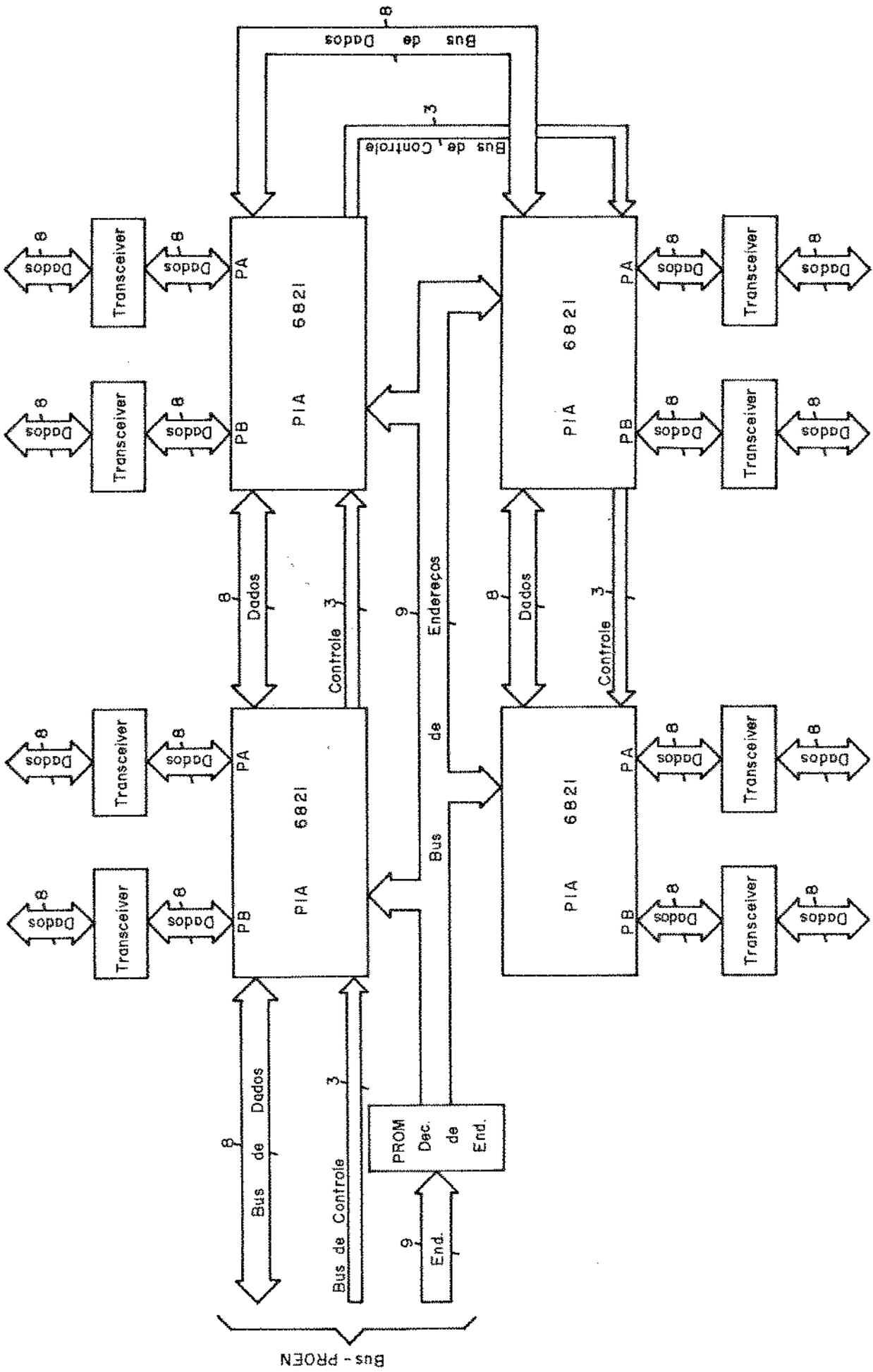


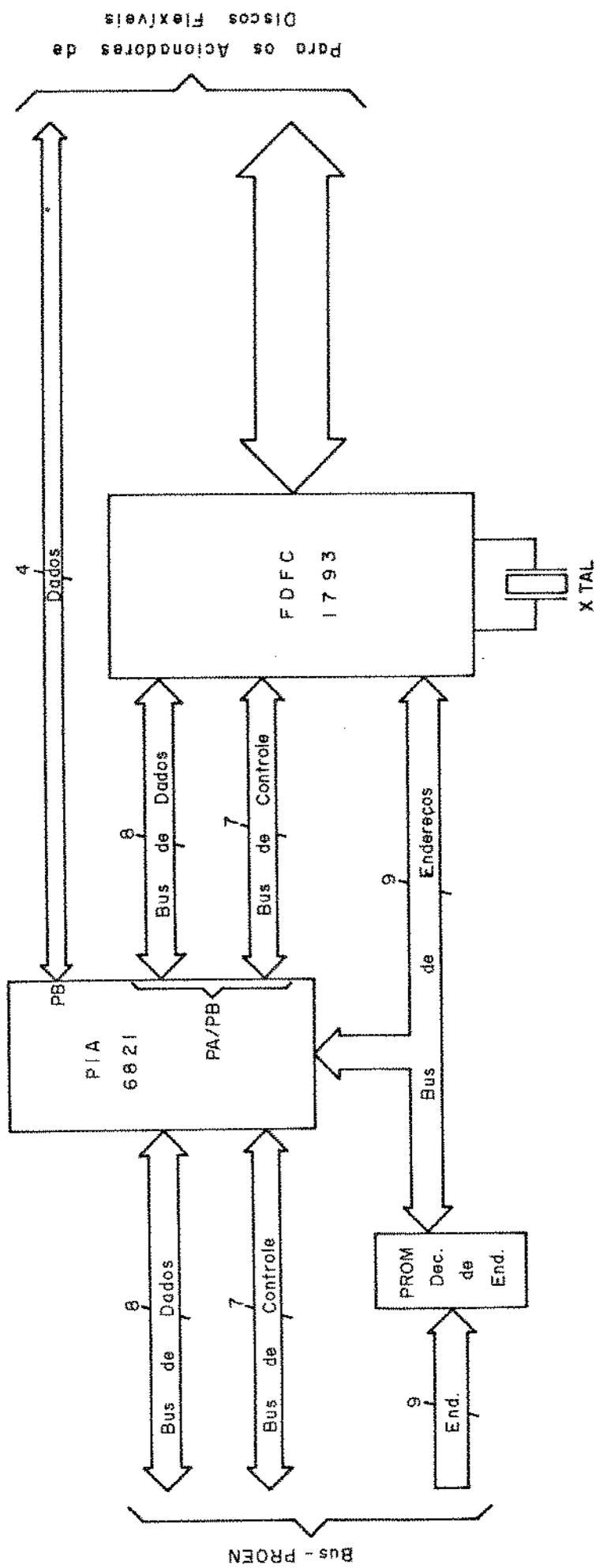
Figura 4.5 - Diagrama de blocos da Placa Interface Paralela

4.3.5 - PLACA DO CONTROLADOR DE DISCOS FLEXÍVEIS

Os circuitos integrados: FD 1793 Controlador/Formata-dor de Discos Flexíveis; MC 6821 Interface Adaptador Paralelo; a PROM Decodificadora de Endereços e alguns circuitos auxiliares formam a Placa do Controlador de Discos Flexíveis. Veja diagrama de blocos na Figura 4.6. Esta placa permite a conexão de até 4 acionadores de discos flexíveis de 8 polegadas, simples ou dupla face, que sob controle de software poderá trabalhar com discos de densidade simples ou dupla.

A gravação das informações em densidade simples é feita em Freqüência Modulada (FM) segundo o padrão IBM 3740; e a gravação em densidade dupla é feita em Freqüência Modulada Modificada (MFM) obedecendo o padrão IBM System 34. As transferências de dados entre o controlador e a memória são feitas via Acesso Direto à Memória (DMA).

Atualmente temos esta placa controlando dois acionadores de discos flexíveis de 8 polegadas de face e densidade simples. Neste caso para cada disco, temos 77 trilhas de 26 setores cada uma e 128 bytes por setor, onde as informações são gravadas em FM.



Para os Acionadores de Discos Flexíveis

Figura 4.6 - Diagrama de blocos da Placa do Controlador de Discos Flexíveis

4.3.6 - PLACA LÓGICA DO TERMINAL DE VÍDEO ALFANUMÉRICO

O terminal de vídeo é constituído por 3 sub-módulos: a placa lógica, a placa de vídeo e a placa de varredura. Veja Figura 4.7. A placa de vídeo e a de varredura, são as de um televisor comercial qualquer preto e branco de 14 polegadas (neste trabalho usamos o televisor Philips modelo TX).

A placa lógica contém o circuito integrado CRTC 96364B - Controlador de Tubo de Raios Catódicos, que é responsável pelas seguintes características do terminal: 16 linhas de 64 caracteres, movimento do cursor (alto, baixo, esquerda e direita), apagamento da tela, retorno do cursor à origem (alto esquerdo), Scrolling e Roll-up. Esta placa possui ainda uma memória EPROM 2708, onde está gravado o conjunto de caracteres ASCII no formato de matriz de 5 x 7 pontos para cada caracter. Possui também 1 Kbytes de memória RAM (1 página de vídeo), montados com o circuito integrado MM 2102-RAM estática.

As comunicações entre o teclado e a placa lógica, e de Entradas e Saídas do Terminal, são feitas através de uma interface baseada no circuito integrado AY-5-1013A - Transmissor/Receptor Universal Assíncrono (UART). As Entradas e Saídas do terminal, são feitas em comunicação assíncrona série, baseada no padrão RS 232C, com velocidade seletável entre 75 bps e 9600 bps.

Este terminal foi montado em um gabinete à parte do microcomputador PROEN, e pode funcionar no modo local ou remoto.

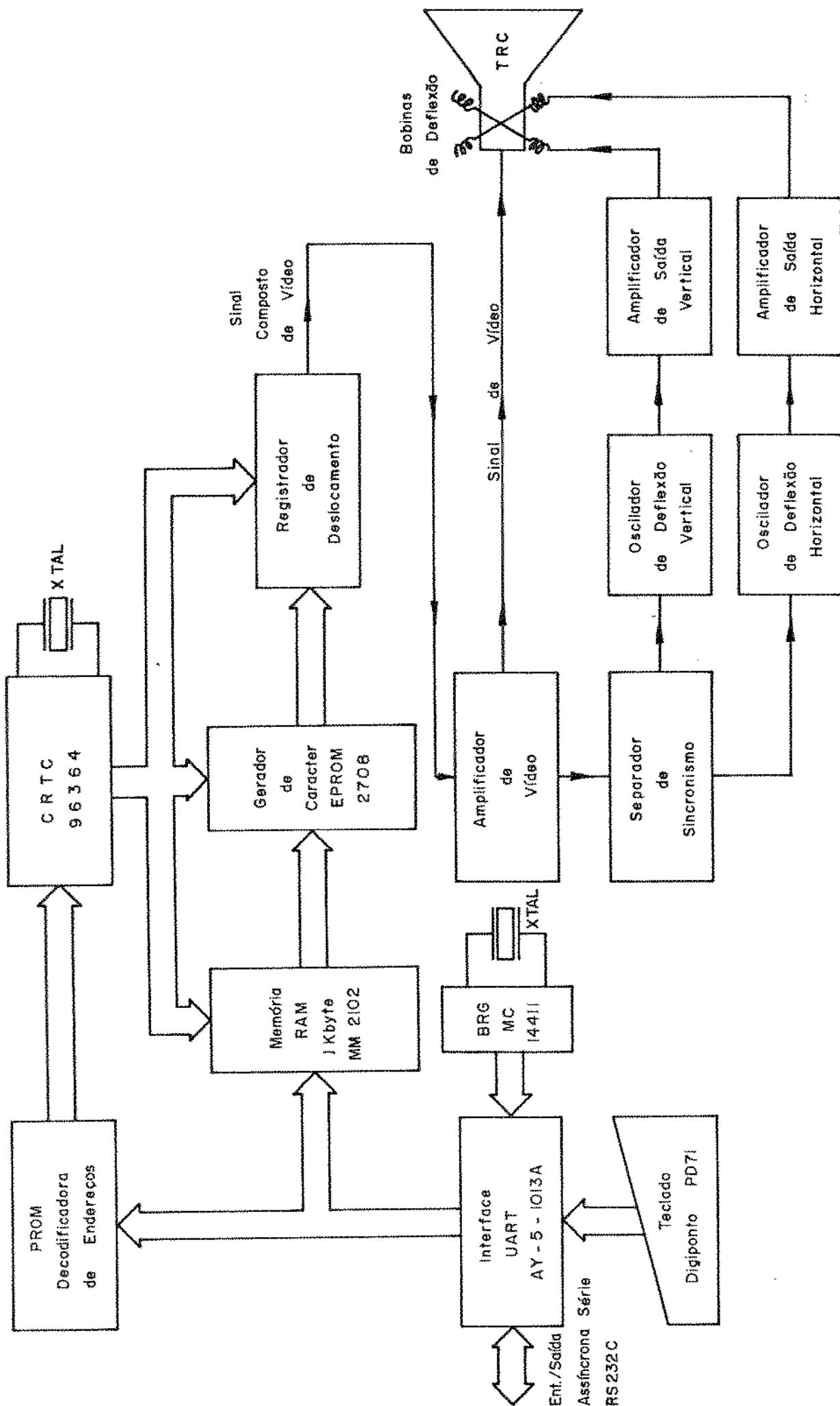


Figura 4.7 - Diagrama de blocos da Placa Lógica do Terminal de Vídeo Alfanumérico

4.3.7 - PLACA INTERFACE CONTADORA DE PULSOS

Como tivemos oportunidade de mostrar no Capítulo III, o transdutor desenvolvido, gera uma onda quadrada com amplitude de +12 Volts e frequências de 2 KHz a 20 KHz.

O desenvolvimento de uma interface e um programa monitor, se fez necessário para que pudéssemos ter o microcomputador PROEN monitorando Tensiômetros.

Devido à forma do sinal gerado pelo transdutor, a interface desenvolvida é do tipo Contadora de Pulsos.

A interface tem como elemento básico o circuito integrado Motorola MC 6840, que é um Contador Programável. Contém ainda uma memória PROM decodificadora de endereços, mantendo assim a filosofia de arquitetura do PROEN, que é a decodificação descentralizada.

O acoplamento da interface com os transdutores é feito através dos Optoacopladores 4N33, que os isolam eletricamente. Este procedimento traz a vantagem de eliminar a entrada de ruídos espúrios na interface, bem como de protegê-la contra possíveis curtos-circuitos nos transdutores. Veja Figura 4.8.

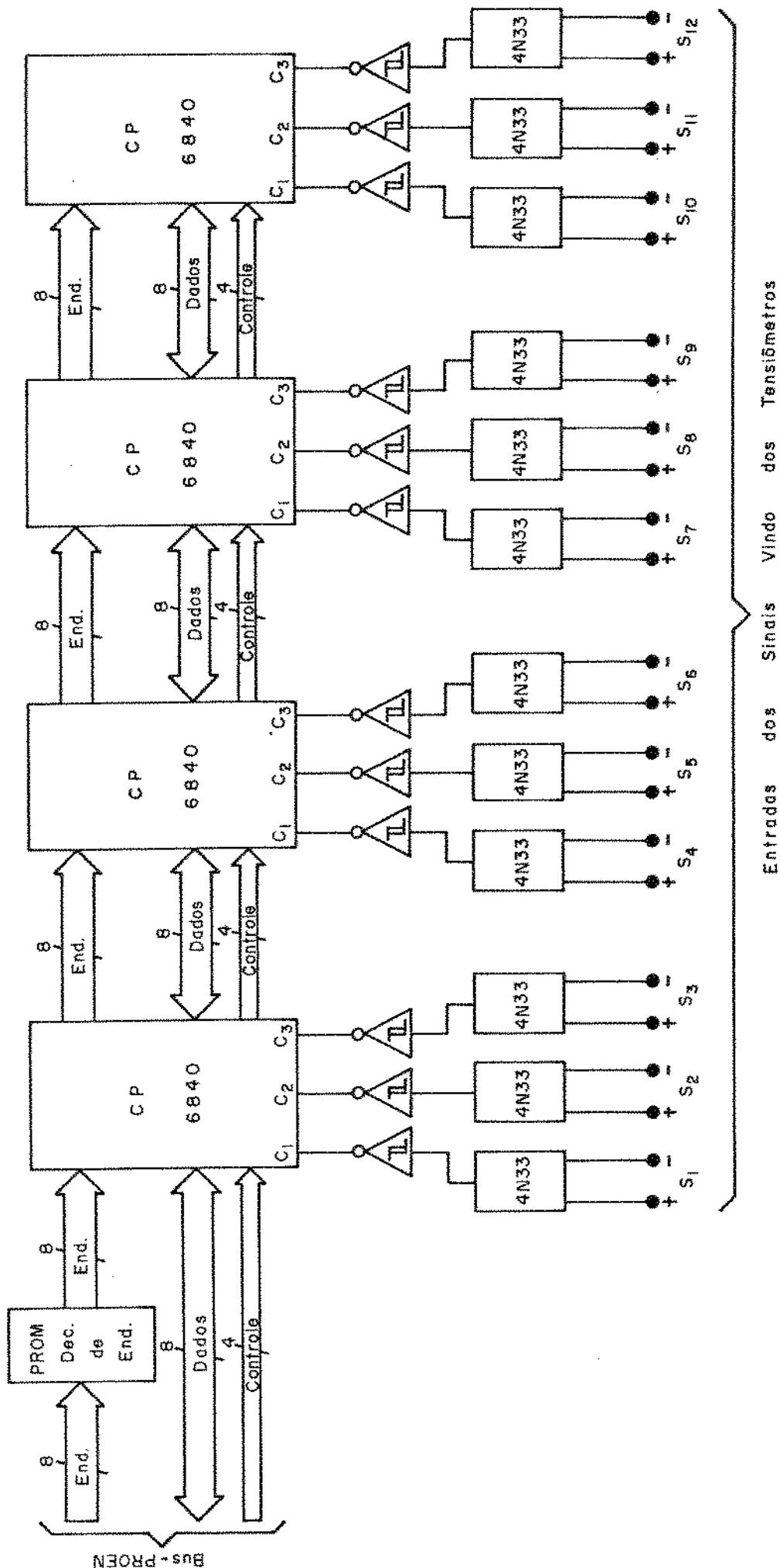


Figura 4.8 - Diagrama de blocos da Placa Interface Contadora de Pulsos

Cada circuito integrado MC 6840, possui internamente três contadores programáveis independentes entre si; como a interface foi montada com quatro destes integrados, portanto ela pode monitorar simultaneamente até doze Tensiômetros.

Esta interface sob controle de software, faz as medi_{das} das frequências dos transdutores e as apresentam ao programa monitor UMIDAD. Este programa converte as frequências medidas nos correspondentes valores Z_{Hg} (cm), mostrando-os no terminal de vídeo ao mesmo tempo que os armazenam num arquivo em disquete.

CAPÍTULO V

5.1 - PROGRAMAS DE LEITURA E LISTAGEM DOS DADOS DO TENSÍOMETRO OBTIDOS PELO MICROCOMPUTADOR

5.1.1 - PROGRAMA PARA LEITURA DOS SENSORES DE UMIDADE DO SOLO - UMIDAD

O programa UMIDAD (Veja o Apêndice página 83), é responsável pelo controle da Interface Contadora de Pulsos, e pela conversão das freqüências medidas nos correspondentes valores de Z_{Hg} (cm) em função do tempo.

Ao rodarmos este programa, aparecerá no vídeo as seguintes opções:

ATIVAR GRAVAÇÃO EM DISCO? (S/N)
 CANCELAR GRAVAÇÃO <C>
 CANCELAR AMOSTRAGEM <X>

Em seguida, um dos contadores de um dos circuitos integrados MC 6840, é programado por uma das rotinas do UMIDAD, como Relógio de Tempo Real com precisão de milésimo de segundo. Este relógio é responsável pela base de tempo dos outros contadores de pulsos, que são usados para as medidas de freqüências, bem como pelo cronômetro mostrado no vídeo, que nos fornece as informações de tempo.

Após o cálculo da freqüência, o programa UMIDAD utiliza um algoritmo que usa a equação (III-4) para o cálculo de Z_{Hg} .

As informações de tempo, freqüência e Z_{Hg} são apresentadas no vídeo, e simultaneamente armazenadas num Buffer^(*) de 4096 (1000 Hex) bytes, que depois de cheio é transferido para um

(*) Região da memória do computador que é reservada pelo programa para armazenagem temporária de informações.

disquete. A amostragem destas informações é feita a cada um segundo, podendo ser alterado este intervalo, modificando-se o valor da variável INTRV.

Cada vez que as informações contidas no Buffer forem transferidas para o disquete, o mesmo é zerado, dando continuidade ao processo até que uma das opções do programa seja digitada.

É interessante observar que a cada amostragem com as informações de tempo, frequência e Z_{Hg} , é sempre adicionado um flag de controle, que é usado pelo próprio programa. Portanto, para cada amostragem temos um total de 8 bytes, que são gravados fisicamente^(*) em disquete. Logo, temos 16 amostragens por setor, totalizando 32032 amostragens por disquete.

Sob o aspecto de horas de gravação temos que, para a taxa de uma amostragem por segundo, um total de aproximadamente 8,9 horas de gravação por disquete. Este tempo pode ser aumentado consideravelmente se aumentarmos o tempo para cada amostragem.

5.1.2 - PROGRAMA PARA LISTAGEM DOS DADOS OBTIDOS PELO PROGRAMA "UMIDAD" - LUMID

O Programa LUMID (Veja o Apêndice página 90), foi desenvolvido para recuperarmos as informações armazenadas em disquetes, pelo programa UMIDAD.

Ao ser rodado, ele apresenta a seguinte opção:

ATIVAR IMPRESSÃO? (S/N)

e em seguida as mensagens:

DIGITE O SETOR INICIAL SEGUIDO DE RETURN

e
DIGITE O SETOR FINAL SEGUIDO DE RETURN

(*) Este modo de acionamento não se utiliza do Sistema Operacional, e sim de rotinas do Programa Monitor do próprio microcomputador, aumentando desta maneira a área útil do disquete.

estas mensagens devem ser respondidas caso o usuário desejar as informações de um ou mais setores de um disquete. Após este procedimento o LUMID ainda oferece a opção:

TECLE "X" P/ CANCELAR

que serve para o usuário cancelar a recuperação das informações caso seja de seu interesse.

À cada início de setor o programa fornece a informação:

LEITURA PSN

que significa Leitura do Setor Físico Número tal, que serve para orientar o usuário. Ao ser atingido o final dos dados, ou o setor final indicado pelo usuário a mensagem

FIM DOS DADOS

é apresentada.

Ainda, caso ocorra algum erro de leitura do disquete o usuário será avisado através da mensagem:

* ERRO LEITURA DISCO * PSN

que significa que ocorreu um erro de Leitura no Setor Físico Número tal.

Devemos observar novamente, que este programa tem por finalidade apenas recuperar as informações guardadas em disquetes; sendo que o uso destas informações vai depender do interesse particular de cada usuário.

5.2 - MEDIDAS REALIZADAS COM O TRANSDUTOR CAPACITIVO PARA TENSÍÔMETRO COM O USO DO MICROCOMPUTADOR

As Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, são listagens de medidas realizadas com o transdutor capacitivo desenvolvido para o Tensiômetro, obtidas via microcomputador.

Na primeira coluna da listagem, temos a informação do tempo em horas, minutos e segundos no instante em que foi feita a medida. Na segunda coluna, temos o valor da frequência gerada pelo Transdutor em Hertz. E na terceira, temos o valor da altura da coluna de mercúrio (Z_{Hg}) em centímetros.

É interessante compararmos as Tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, que foram obtidas com o microcomputador, com a Tabela 3.2 que foi obtida com o uso de um freqüencímetro para as medidas das frequências, e uma régua graduada em milímetros para as medidas da coluna de mercúrio.

Desta comparação podemos verificar a precisão das medidas feitas pelo microcomputador, com a vantagem de estarem sendo executadas de modo contínuo e em tempo real.

Explorando estas características, no capítulo referente às conclusões finais, fazemos algumas sugestões de possíveis uso do sistema desenvolvido.

00:07:39	14050	00
00:07:41	14051	00
00:07:42	14050	00
00:07:43	14051	00
00:07:44	14052	00
00:07:45	14053	00
00:07:46	14049	00
00:07:47	14048	00
00:07:48	14047	00
00:07:49	14046	00
00:07:50	14045	00
00:07:51	14044	00
00:07:52	14043	00
00:07:53	14042	00
00:07:54	14041	00
00:07:55	14040	00
00:07:56	14039	00
00:07:57	14038	00
00:07:58	14037	00
00:07:59	14036	00
00:08:00	14035	00
00:08:01	14034	00
00:08:02	14033	00
00:08:03	14032	00
00:08:04	14031	00
00:08:05	14030	00
00:08:06	14029	00
00:08:07	14028	00
00:08:08	14027	00
00:08:09	14026	00
00:08:10	14025	00
00:08:11	14024	00
00:08:12	14023	00
00:08:13	14022	00
00:08:14	14021	00
00:08:15	14020	00
00:08:16	14019	00
00:08:17	14018	00
00:08:18	14017	00
00:08:19	14016	00
00:08:20	14015	00
00:08:21	14014	00
00:08:22	14013	00
00:08:23	14012	00
00:08:24	14011	00
00:08:25	14010	00
00:08:26	14009	00
00:08:27	14008	00
00:08:28	14007	00
00:08:29	14006	00
00:08:30	14005	00
00:08:31	14004	00
00:08:32	14003	00
00:08:33	14002	00
00:08:34	14001	00
00:08:35	14000	00
00:08:36	13999	00
00:08:37	13998	00
00:08:38	13997	00
00:08:39	13996	00
00:08:40	13995	00
00:08:41	13994	00
00:08:42	13993	00
00:08:43	13992	00
00:08:44	13991	00
00:08:45	13990	00
00:08:46	13989	00
00:08:47	13988	00
00:08:48	13987	00
00:08:49	13986	00
00:08:50	13985	00
00:08:51	13984	00
00:08:52	13983	00
00:08:53	13982	00
00:08:54	13981	00
00:08:55	13980	00
00:08:56	13979	00
00:08:57	13978	00
00:08:58	13977	00
00:08:59	13976	00
00:09:00	13975	00
00:09:01	13974	00
00:09:02	13973	00
00:09:03	13972	00
00:09:04	13971	00
00:09:05	13970	00
00:09:06	13969	00
00:09:07	13968	00
00:09:08	13967	00
00:09:09	13966	00
00:09:10	13965	00
00:09:11	13964	00
00:09:12	13963	00
00:09:13	13962	00
00:09:14	13961	00
00:09:15	13960	00
00:09:16	13959	00
00:09:17	13958	00
00:09:18	13957	00
00:09:19	13956	00
00:09:20	13955	00
00:09:21	13954	00
00:09:22	13953	00
00:09:23	13952	00
00:09:24	13951	00
00:09:25	13950	00
00:09:26	13949	00
00:09:27	13948	00
00:09:28	13947	00
00:09:29	13946	00
00:09:30	13945	00
00:09:31	13944	00
00:09:32	13943	00
00:09:33	13942	00
00:09:34	13941	00
00:09:35	13940	00
00:09:36	13939	00
00:09:37	13938	00
00:09:38	13937	00
00:09:39	13936	00
00:09:40	13935	00
00:09:41	13934	00
00:09:42	13933	00
00:09:43	13932	00
00:09:44	13931	00
00:09:45	13930	00
00:09:46	13929	00
00:09:47	13928	00
00:09:48	13927	00
00:09:49	13926	00
00:09:50	13925	00
00:09:51	13924	00
00:09:52	13923	00
00:09:53	13922	00
00:09:54	13921	00
00:09:55	13920	00
00:09:56	13919	00
00:09:57	13918	00
00:09:58	13917	00
00:09:59	13916	00
00:10:00	13915	00
00:10:01	13914	00
00:10:02	13913	00
00:10:03	13912	00
00:10:04	13911	00
00:10:05	13910	00
00:10:06	13909	00
00:10:07	13908	00
00:10:08	13907	00
00:10:09	13906	00
00:10:10	13905	00
00:10:11	13904	00
00:10:12	13903	00
00:10:13	13902	00
00:10:14	13901	00
00:10:15	13900	00
00:10:16	13899	00
00:10:17	13898	00
00:10:18	13897	00
00:10:19	13896	00
00:10:20	13895	00
00:10:21	13894	00
00:10:22	13893	00
00:10:23	13892	00
00:10:24	13891	00
00:10:25	13890	00
00:10:26	13889	00
00:10:27	13888	00
00:10:28	13887	00
00:10:29	13886	00
00:10:30	13885	00
00:10:31	13884	00
00:10:32	13883	00
00:10:33	13882	00
00:10:34	13881	00
00:10:35	13880	00
00:10:36	13879	00
00:10:37	13878	00
00:10:38	13877	00
00:10:39	13876	00
00:10:40	13875	00

Tabela 5.2 - Listagem de medidas realizadas com o Tensiômetro utilizando o Microcomputador

0	TEMP	HT	PH
00:10:37	2901	63.05	
00:10:40	2854	60.05	
00:10:41	2875	60.05	
00:10:42	2815	64.44	
00:10:43	2800	64.87	
00:10:44	2784	65.04	
00:10:45	2782	65.39	
00:10:46	2784	65.09	
00:10:47	2789	65.36	
00:10:48	2781	65.40	
00:10:49	2781	65.40	
00:10:50	2819	64.50	
00:10:51	2851	60.90	
00:10:52	2820	61.58	
00:10:53	2994	59.69	
00:10:54	3072	57.74	
00:10:55	3145	56.16	
00:10:56	3187	54.94	
00:10:57	3227	54.07	
00:10:58	3240	54.81	
00:10:59	3252	53.75	
00:11:00	3228	52.17	
00:11:01	3101	50.05	
00:11:02	2902	46.83	
00:11:03	2860	47.74	
00:11:04	2820	46.75	
00:11:05	2709	45.26	
00:11:06	2605	43.74	
00:11:07	2492	42.28	
00:11:08	2447	40.22	
00:11:09	2464	39.99	
00:11:10	2109	39.38	
00:11:11	2239	37.71	
00:11:12	2367	36.16	
00:11:13	2451	35.14	
00:11:14	2534	34.57	
00:11:15	2650	32.04	
00:11:16	2685	29.58	
00:11:17	2723	28.30	
00:11:18	2735	28.18	
00:11:19	2686	28.72	
00:11:20	2106	28.48	
00:11:21	2473	25.80	
00:11:22	2072	21.76	
00:11:23	2644	18.50	
00:11:24	2241	15.08	
00:11:25	2869	13.34	
00:11:26	2039	12.73	
00:11:27	2676	10.69	
00:11:28	2399	7.27	
00:11:29	11161	4.94	
00:11:30	12372	2.98	
00:11:31	12869	2.14	
00:11:32	13503	1.35	
00:11:33	14145	.74	
00:11:34	14546	.27	
00:11:35	14620	.19	
00:11:36	14639	.17	
00:11:37	14652	.15	

Tabela 5.3 - Listagem de medidas realizadas com o Tensiômetro utilizando o Microcomputador.

CAPÍTULO VI

6.1 - CONCLUSÕES FINAIS

Apresentamos a seguir nossas conclusões, bem como algumas aplicações para o sistema desenvolvido.

As Tabelas 3.1 e 3.2, e as equações (III-2) e (III-4) do Capítulo III, nos mostram que o transdutor desenvolvido é perfeitamente linear dentro de sua faixa de utilização.

No Capítulo V, mostramos algumas medidas realizadas com o microcomputador, que comprovam nossa tese. Daí, concluímos ser plenamente possível o uso de um microcomputador para leitura de Tensiômetros em tempo real.

A seguir, deixamos algumas sugestões para possíveis uso do sistema desenvolvido em trabalhos futuros:

- 1) A partir da equação (III-4), desenvolver um algoritmo, de tal forma que o microcomputador nos dê diretamente o valor do Potencial Matricial (ψ_m) em função do tempo. Com estas informações, para um determinado solo, fazer estudos da variação do Potencial Matricial com o tempo.
- 2) Com o Sistema Microcomputador desenvolvido e uma disposição de vários Tensiômetros colocados na vertical em profundidades diferentes, fazer o estudo do movimento vertical da água no solo ou seja, o levantamento dinâmico da Curva de Infiltração.
- 3) Com um arranjo de vários Tensiômetros posicionados em planos horizontais diferentes, fazer o estudo da Variabilidade Espacial da Umidade do Solo, com a possibilidade de se levantar seus gráficos de potenciais.

4) A Irrigação Computadorizada (Veja página 38), poderá ser implementada, fazendo-se a leitura da umidade do solo de modo contínuo e em tempo real e comparando-se os valores obtidos com a faixa de umidade característica de cada cultura. Se o valor obtido estiver fora desta faixa, o microcomputador acionará o equipamento de irrigação. Desta forma poderá ser feita a otimização da produção em função da água administrada, bem como também da energia utilizada no sistema de irrigação.

Estes são apenas alguns exemplos, de como o Sistema de Aquisição de Dados por Microcomputador, ora desenvolvido, poderá ser utilizado.

APÊNDICE

PROGRAMA PARA LEITURA DOS SENSORES DE UMIDADE
DO SOLO - "UMIDAD"

PAGE 001 UNIDAD .SA:0

```

00001      !
00002      !   PROGRAMA PARA LEITURA DOS SENSORES
00003      !   DE UMIDADE DO SOLO - UMIDADE.
00004      !
00005      !   versao : 12/08/85  VALIM, P. H.
00006      !
00007      !
00008      DCL 1 DATA GLOBAL,           ! ESTR. DA DATA
00009          2 ANO BIN(1),
00010          2 MES BIN(1),
00011          2 DIA BIN(1),
00012          2 HORA BIN(1),
00013          2 MIN BIN(1),
00014          2 SEG BIN(1)
00015      !
00016      DCL TIMER1 BIN(1) DEF $FCC2
00017      $   XDEF TIMER1
00018      DCL TIMER2 BIN(2) DEF $FCC4
00019      $   XDEF TIMER2
00020      DCL TIMER3 BIN(2) DEF $FCC6
00021      $   XDEF TIMER3
00022      !
00023      !
00024      DCL NDMES(12) BIN(1) GLOBAL   ! NRO DE DIAS DE CADA MES
00025      INIT(31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31)
00026      DCL DSCT
00027          CNTMR BIN(2),           ! CONTADOR DO TIMER
00028          CNTP1 BIN(2),           ! CONT. SENSOR DE PULSOS 1
00029          CNTP2 BIN(2),           ! " " " " 2
00030          CNTP3 BIN(2),           ! " " " " 3
00031          CNTR1 BIN(2) DEF $FC52, ! CONTADOR 1
00032          CNTR2 BIN(2) DEF $FC54, ! CONTADOR 2
00033          CNTR3 BIN(2) DEF $FC56, ! CONTADOR 3
00034          FREQ1 BIN(2),           ! FREQUENCIA SENSOR 1
00035          FREQ2 BIN(2),           ! FREQUENCIA SENSOR 2
00036          FREQ3 BIN(2),           ! FREQUENCIA SENSOR 3
00037          PULS01 SIGNED BIN(2),  ! AUXILIAR
00038          PULS02 SIGNED BIN(2),  ! AUXILIAR
00039          PULS03 SIGNED BIN(2),  ! AUXILIAR
00040          TEMPO SIGNED BIN(2),    ! TEMPO DECORRIDO
00041          ZHG1 SIGNED BIN(2),    ! COLUNA DE MERCURIO DO SENSOR1
00042          ZHG2 SIGNED BIN(2),    ! COLUNA DE MERCURIO DO SENSOR2
00043          ZHG3 SIGNED BIN(2),    ! COLUNA DE MERCURIO DO SENSOR3
00044      !
00045      !
00046      DCL PSCT
00047          FA DEC(8)   INIT(22400), ! FATOR A DE Y = Ax - B
00048          FF DEC(8)  INIT(1000),
00049          FB DEC(8)  INIT(1513), ! FATOR B DE Y = Ax - B
00050          INTRV BIN(2) INIT(1000) ! INTERVALO ENTRE LEITURAS
00051      !
00052      !
00053      DCL 1 DADO BASED,
00054          2 BFLAG BIN(1),
00055          2 BHORA BIN(1),
00056          2 BMIN BIN(1),
00057          2 BSEG BIN(1),
00058          2 BFREQ BIN(2),

```

PAGE 002 UNIDAD .SA=0

```

00059          2 BZHG BIN(2)
00060          !
00061          !
00062          !
00063          DCL VBS1 BIN(1) BASED
00064          !
00065          !
00066          DCL LPTEL CHAR(1) INIT($0C),
00067          TITUL CHAR(30) INIT('ATIVAR GRAVACAO EM DISCO?(S/N)'),
00068          CRLF1 CHAR(2) INIT($0A0D),
00069          EOT1 CHAR(1) INIT($04)
00070          !
00071          DCL OPC1 CHAR(22) INIT('CANCELAR GRAVACAO (C)'),
00072          CRLF2 CHAR(2) INIT($0A0D),
00073          OPC2 CHAR(23) INIT('CANCELAR AMOSTRAGEM (X)'),
00074          CRLF3 CHAR(2) INIT($0A0D),
00075          EOT2 CHAR(1) INIT($04)
00076          !
00077          !
00078          DCL GRUDSC CHAR(1),
00079          CHR CHAR(1),
00080          ACHOU BIN(1),
00081          NRSCT BIN(2),
00082          NRO SIGNED BIN(2),
00083          XPSN BIN(2),
00084          PT BIN(2),
00085          PTR BIN(2),
00086          ERRO BIN(1)
00087          !
00088          DCL I2 BIN(2),          ! AUXILIAR
00089          J1 BIN(2),
00090          J2 BIN(2),          ! AUXILIAR
00091          J3 BIN(2),          !
00092          DSP2 SIGNED DEC(5,2), ! AUXILIAR
00093          DECB DEC(8),
00094          XXHORA BIN(1),
00095          XXMIN BIN(1),
00096          XXSEG BIN(1),
00097          XHORA DEC(2),
00098          DP1 CHAR(1),
00099          XMIN DEC(2),
00100          DP2 CHAR(1),
00101          XSEG DEC(2),
00102          ESP1 CHAR(3),
00103          XFREQ CHAR(5),
00104          ESP2 CHAR(3),
00105          XZHG CHAR(5),
00106          CR CHAR(1)
00107          !
00108          !
00109          UNIDAD : PROC OPTIONS(MAIN)
00110          !
00111          !
00112          % LDAA #%13
00113          % STAA %FCF4
00114          % LDAA #%11
00115          % STAA %FCF4
00116          !

```

PAGE 003 UNIDAD .SA:0

```

00117      !
00118      CALL PRGTMR
00119      CALL PRGCP
00120      !
00121      CR=104
00122      !
00123      DP1 = DP2 = ' '
00124      ESP1 = ESP2 = ' '
00125      PT = 14000
00126      HORA = 00
00127      MIN = 00
00128      SEG = 00
00129      XHORA = 00
00130      XMIN = 00
00131      XSEG = 00
00132      XXHORA = 00
00133      XXMIN = 00
00134      XXSEG = 00
00135      GRVDSC = 'N'
00136      CALL PCAD(ADDR(LPTEL))
00137      CHR = 100
00138      DO WHILE CHR EQ 100
00139          CALL LECHR
00140      END
00141      IF CHR EQ 'S'
00142          THEN DO
00143              CALL PCAD(ADDR(OPC1))
00144              GRVDSC = 'S'
00145              CALL ATLP3N
00146              CALL ZRABUF
00147          END
00148          ELSE DO
00149              CALL PCAD(ADDR(OPC2))
00150          END
00151      CNTP1 = CNTR1
00152      CNTMR = TIMER2
00153      !
00154      DO WHILE CHR NE 'X'
00155      !
00156          CALL LECHR
00157      !
00158          I2 = TIMER2
00159          J1 = CNTR1
00160      !
00161          IF (CNTMR-I2) GE INTRV
00162              THEN DO
00163      !
00164              PULS01 = CNTP1-J1
00165              TEMPO = CNTMR-I2
00166      !
00167              CNTP1 = J1
00168              CNTMR = I2
00169      !
00170          CALL CNVRT(DEC8,PULS01,FA,TEMPO)
00171          IF DEC8 GT FB
00172              THEN DEC8 = DEC8 - FB
00173          ELSE DEC8 = 0
00174          ZHG1 = DEC8

```

PAGE 004 UMIDAD .SA=0

```

00175      CALL CNVRT(DEC8,TEMPO,FF,PULS01)
00176      FREQ1 = DEC8
00177      CALL RCLOCK
00178      IF XXHORA NE HORA
00179          THEN DO
00180              XHORA = HORA
00181              XXHORA = HORA
00182          END
00183      IF XXMIN NE MIN
00184          THEN DO
00185              XMIN = MIN
00186              XXMIN = MIN
00187          END
00188      IF XXSEG NE SEG
00189          THEN DO
00190              XSEG = SEG
00191              XXSEG = SEG
00192          END
00193      XFREQ = FREQ1
00194      DSP2 = ZHG1
00195      XZHG = DSP2
00196      $   LDX #XHORA
00197      $   JSR $F024
00198      IF GRVDSC EQ 'S' THEN DO
00199          PT->BFLAG = 0
00200          PT->BHORA=XXHORA
00201          PT->BMIN=XXMIN
00202          PT->BSEG=XXSEG
00203          PT->BFREQ=FREQ1
00204          PT->BZHG=ZHG1
00205          PT=PT+8
00206          CALL LECHR
00207          IF CHR EQ 'C' OR CHR EQ 'X'
00208              THEN DO
00209                  NRO = PT - 16384
00210                  NR SCT = NRO/128 + 1
00211                  CALL GDSC
00212                  CALL ZRABUF
00213                  GRVDSC = 'N'
00214              END
00215          ELSE IF PT GT $5000
00216              THEN DO
00217                  NR SCT = 32
00218                  CALL GDSC
00219                  CALL ZRABUF
00220                  PT = $4000
00221              END
00222          END
00223      !
00224      END
00225      !
00226      END
00227      !
00228      !
00229      CALL MDOS
00230      !
00231      END UMIDAD
00232      !

```

PAGE 005 UMIDAD .SA:0

```

00233      !
00234      !
00235      ZRABUF:  PROC
00236      !
00237      PTR = $4000
00238      DO WHILE PTR LT $5000
00239          PTR->DADO = 0
00240          PTR = PTR + 8
00241      END
00242      !
00243      RETURN
00244      END ZRABUF
00245      !
00246      !
00247      !
00248      !
00249      !
00250      GDSC:  PROC
00251      !
00252      CALL RSDRV
00253      CALL INSET(XPSN,$4000,NRSCT)
00254      XPSN = XPSN + NRSCT
00255      !
00256      RETURN
00257      END GDSC
00258      !
00259      !
00260      !
00261      !
00262      !
00263      !
00264      ATLPSN:  PROC
00265      !
00266      XPSN = 0
00267      ACHOU = 0
00268      PTR = $4000
00269      !
00270      CALL RSDRV
00271      !
00272      DO WHILE ACHOU EQ 0
00273          CALL LESET(1,XPSN,PTR,ERRO)
00274          IF PTR->VBS1 EQ 0
00275              THEN XPSN = XPSN + 1
00276              ELSE ACHOU = 1
00277      END
00278      !
00279      RETURN
00280      END ATLPSN
00281      !
00282      !
00283      !
00284      !
00285      !
00286      !
00287      LECHR:  PROC
00288      !
00289      $          CLR  CHR
00290      $          LDAB $FCF4

```

PAGE 006 UNIDAD .SA:0

```
00291 $ BITB #01
00292 $ BEQ .LCH90
00293 $ LDAB $FCFS
00294 $ STAB CHR
00295 $.LCH90 EQU *
00296 !
00297 RETURN
00298 END LECHR
00299 !
```

PROGRAMA PARA LISTAGEM DOS DADOS OBTIDOS
PELO PROGRAMA "UMIDAD"

— LUMID —

GE 001 LUMID .SA:0

```

001 |
002 |
003 |
004 |   PROGRAMA PARA LISTAGEM DOS DADOS OBTIDOS PELO PROGRAMA "UMIDAD"
005 |
006 |   VERSAO : 19/08/85           VALIM, P. H.
007 |
008 |
009 |
010 |
011 |
012 |
013 | DCL 1 DATA GLOBAL,           ! ESTR. DA DATA
014 |     2 ANO BIN(1),
015 |     2 MES BIN(1),
016 |     2 DIA BIN(1),
017 |     2 HORA BIN(1),
018 |     2 MIN BIN(1),
019 |     2 SEG BIN(1)
020 |
021 | DCL TIMER1 BIN(1) DEF $FCC2
022 |   XDEF TIMER1
023 | DCL TIMER2 BIN(2) DEF $FCC4
024 |   XDEF TIMER2
025 | DCL TIMER3 BIN(2) DEF $FCC6
026 |   XDEF TIMER3
027 |
028 |
029 | DCL NDMES(12) BIN(1) GLOBAL   ! NRO DE DIAS DE CADA MES
030 |   INIT(31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31)
031 |
032 |
033 |
034 |
035 | DCL PTR     BIN(2),
036 |     PT      BIN(2),
037 |     PSN     BIN(2),
038 |     PSNF    BIN(2),
039 |     CHR     CHAR(1),
040 |     DCHR    DEC(1) DEF CHR,
041 |     COMSET  DEC(4),
042 |     FIMSET  DEC(4),
043 |     ERRO    BIN(1),
044 |     CONT    BIN(1),
045 |     DEC2    DEC(2),
046 |     DECSP2  DEC(5,2),
047 |     DELAY   SIGNED BIN(2),
048 |     I       BIN(1),
049 |     VELT    BIN(2),
050 |     NOVIT   BIN(2),
051 |     TEMPO   BIN(2)
052 |
053 | DCL NVPG    CHAR(1) INIT($0C),
054 |     DENS(2) CHAR(1) INIT($1E,'0'),
055 |     CAB     CHAR(24) INIT(' TEMPO HZ ZHG'),
056 |     CRLF1   CHAR(2) INIT($0A0D),
057 |     FIM1    CHAR(1) INIT($04)
058 |

```

PAGE 002 LUMID .SA=0

```

00059 DCL LNH CHAR(1) INIT(%20),
00060 SHORA DEC(2),
00061 DP1 CHAR(1) INIT(' '),
00062 SMIN DEC(2),
00063 DP2 CHAR(1) INIT(' '),
00064 SSEG DEC(2),
00065 ESP1 CHAR(3) INIT(' '),
00066 SFREQ CHAR(5),
00067 ESP2 CHAR(3) INIT(' '),
00068 SZHG CHAR(5),
00069 CRLF2 CHAR(2) INIT($0A0D),
00070 FIN2 CHAR(1) INIT($04)
00071 !
00072 DCL MSLDSC CHAR(1) INIT($0C),
00073 TITUL CHAR(24) INIT('ATIVAR IMPRESSAO ? (S/N)'),
00074 CRLF3 CHAR(2) INIT($0A0D),
00075 EOT1 CHAR(1) INIT($04)
00076 !
00077 !
00078 DCL SETIN CHAR(30) INIT('DIGITE O SETOR INICIAL SEGUIDO'),
00079 SETIN1 CHAR(10) INIT(' DE RETURN'),
00080 CRLF8 CHAR(2) INIT($0A0D),
00081 EOT6 CHAR(1) INIT($04)
00082 !
00083 DCL SETFI CHAR(28) INIT('DIGITE O SETOR FINAL SEGUIDO'),
00084 SETFI1 CHAR(10) INIT(' DE RETURN'),
00085 CRLF9 CHAR(2) INIT($0A0D),
00086 EOT7 CHAR(1) INIT($04)
00087 !
00088 DCL MSCANC CHAR(21) INIT('TECLE "X" P/ CANCELAR'),
00089 CRLF4 CHAR(2) INIT($0A0D),
00090 EOT2 CHAR(1) INIT($04)
00091 !
00092 DCL MSGERR CHAR(27) INIT('* ERRO LEITURA DISCO * PSN '),
00093 ERPT CHAR(4),
00094 CRLF5 CHAR(2) INIT($0A0D),
00095 EOT3 CHAR(1) INIT($04)
00096 !
00097 DCL MSGOK CHAR(12) INIT('LEITURA PSN '),
00098 OKPT CHAR(4),
00099 CRLF6 CHAR(2) INIT($0A0D),
00100 EOT4 CHAR(1) INIT($04)
00101 !
00102 !
00103 DCL MSGFIM CHAR(13) INIT('FIM DOS DADOS'),
00104 CRLF7 CHAR(2) INIT($0A0D),
00105 EOT5 CHAR(1) INIT($04)
00106 !
00107 DCL I DADO BASED ,
00108 2 XFLAG BIN(1),
00109 2 XHORA BIN(1),
00110 2 XMIN BIN(1),
00111 2 XSEG BIN(1),
00112 2 XFREQ BIN(2),
00113 2 XZHG BIN(2)
00114 !
00115 DCL VBS1 BIN(1) BASED
00116 !

```

PAGE 003 LUMID .SA=0

```

00117 !
00118 !
00119 !
00120 !
00121 LUMID: PROC OPTIONS(MAIN)
00122 !
00123 !
00124 !          INICIALIZACAO DAS ACJA'S
00125 !
00126 $          LDAA #513
00127 $          STAA %FCF2
00128 $          STAA %FCF4
00129 $          LDAA #511
00130 $          STAA %FCF2
00131 $          STAA %FCF4
00132 !
00133 !
00134 !
00135 !
00136 !
00137 CALL PRGTRM
00138 !
00139 CONT = 0
00140 PTR  = $4000
00141 !
00142 CALL PCAD(ADDR(SETIN))
00143 CHR = $00
00144 COMSET = 0
00145 DO WHILE CHR NE $0D
00146     IF CHR NE $00
00147         THEN DO
00148             COMSET = COMSET*10 + DCHR
00149         END
00150     CALL LECHR
00151     END
00152 !
00153 PSN = COMSET
00154 !
00155 CALL PCAD(ADDR(SETFI))
00156 CHR = $00
00157 FIMSET = 0
00158 DO WHILE CHR NE $0D
00159     IF CHR NE $00
00160         THEN DO
00161             FIMSET = FIMSET*10 + DCHR
00162         END
00163     CALL LECHR
00164     END
00165 PSNF = FIMSET
00166 !
00167 !
00168 CALL PCAD(ADDR(MSLDSC))
00169 !
00170 CHR = $00
00171 !
00172 DO WHILE CHR EQ $00
00173     CALL LECHR
00174     END

```

PAGE 004 LUMID .SA:0

```

00175 !
00176 !
00177 IF CHR EQ 'S'
00178 THEN DO
00179     CALL PCAD(ADDR(MSCANC))
00180     CHR = 500
00181     CALL LECHR
00182     VELT = TIMER2
00183     DO WHILE CHR NE 'X' AND PSN LE PSNF
00184         CALL RSDRV
00185         CALL LESET(1,PSN,PTR,ERRO)
00186         IF ERRO NE '0'
00187             THEN DO
00188                 ERPT = PSN
00189                 CALL PCAD(ADDR(MSGERR))
00190             END
00191             ELSE DO
00192                 OKPT = PSN
00193                 CALL PCAD(ADDR(MSGOK))
00194             END
00195     IF PTR->VBS1 NE 0
00196     THEN DO
00197         CALL PCAD(ADDR(MSGFIM))
00198         CALL MDOS
00199     END
00200     TEMPO = 0
00201     DO I = 1 TO 16
00202         DO WHILE TEMPO LT 1000
00203             NOV1 = TIMER2
00204             TEMPO = VELT - NOV1
00205         END
00206         VELT = NOV1
00207         TEMPO = 0
00208         CALL LECHR
00209         IF CHR EQ 'X' THEN CALL MDOS
00210         DEC2 = PTR->XHORA
00211         SHORA = DEC2
00212         DEC2 = PTR->XMIN
00213         SMIN = DEC2
00214         DEC2 = PTR->XSEG
00215         SSEG = DEC2
00216         SFREQ = PTR->XFREQ
00217         DEC5P2 = PTR->XZHG
00218         SZHG = DEC5P2
00219         IF CONT EQ 0 THEN CALL PRNBUF(ADDR(NVPG),ADDR(FIM1))
00220         CONT = CONT + 1
00221         IF CONT GT 58 THEN CONT = 0
00222         DELAY = 1000
00223         DO WHILE TEMPO LT 1000
00224             NOV1 = TIMER2
00225             TEMPO = VELT - NOV1
00226         END
00227         VELT = NOV1
00228         TEMPO = 0
00229         DO WHILE DELAY GT 0
00230             DELAY = DELAY - 1
00231         END
00232     CALL PRNBUF(ADDR(LNH),ADDR(FIM2))

```

PAGE 005 LUMID .SA=0

```

00233         PTR = PTR + 8
00234         END
00235         CALL ZRBIMP
00236         PTR = $4000
00237         PSN = PSN + 1
00238         END
00239         END
00240     ELSE CALL MDOS
00241     !
00242     !
00243     !
00244     END LUMID
00245     !
00246     !
00247     !
00248     !
00249     ZRBIMP: PROC
00250     !
00251     PT = $4000
00252     DO I = 1 TO 16
00253     , PT->DAD0 = 0
00254     , PT = PT + 8
00255     END
00256     !
00257     RETURN
00258     END ZRBIMP
00259     !
00260     !
00261     !
00262     !
00263     LECHR: PROC
00264     !
00265     $ CLR CHR
00266     $ LDAB $FCF4
00267     $ BITB #01
00268     $ BEQ .LCH90
00269     $ LDAB $FCF5
00270     $ STAB CHR
00271     $.LCH90 EQU *
00272     !
00273     RETURN
00274     END LECHR
00275     !
00276

```

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERLIN, H.M. 1981. 555 timer applications sourcebook, with experiments. Indianapolis, Howard W. Sams.
2. BOYD, D.W. ; SKIDMORE , E.L. & THOMPSON, J.G. 1983. A soil-aggregate crushing-energy meter. Soil Sci.Soc.Am.J. , 47 (2):313-6.
3. CAMPBELL, G.S. & VAN SCHILFGAARDE, J. 1983. Use of SI units in soil physics. In: COLLEGE ON SOIL PHYSICS, 1st, Trieste 19 Sept.-7 Oct. 1983. Lectures notes... Trieste, International Centre for Theoretical Physics. (IAEA.ICTP, SMR/104-15).
4. CIARCIA, S. 1982. Build a computerized weather station. Byte 7(2):38-64,68.
5. COLLEGE ON SOIL PHYSICS, 1st, Trieste, 19 Sept.-7 Oct., 1983. Proceedings... Trieste, ICTP-IAEA.
6. CRESTANA, S. ; MASCARENHAS, S. & POZZI-MUCELLI, R.S. 1984. Static and dynamic 3 dimensional studies of water in soil using computed tomographic scanning. Trieste, International Centre for Theoretical Physics. (IAEA.ICTP. Internal Report, IC/84/35).
7. DALTON. F.N. ; HERKELRATH, W.N. ; RAWLINS, D.S. & RHOADES, J. D. 1984. Time-domain reflectometry: simultaneous measurements of soil water content and electrical conductivity with a single probe. Science, 224:989-90.
8. DUKE, H.R. ; HEERMANN, D.F. & BLUE, M.C. 1984. Computer control of irrigation for electrical load management. Trans. ASAE, 27(2):597-602,608.
9. ENFIELD, C.G. & GILLASPY, C.V. 1980. Pressure transducer for remote data acquisition. Trans. ASAE, 23:1195-200.
10. FRITSCHEN, L.J. & SIMPSON, J. 1982. A pressure transducer for determining atmospheric pressure and evapotranspiration with a hydraulic weighing lysimeter. Agric.Meteorol., 26:273-8.

11. GREENFIELD, J.D. & WRAY, W.C. 1981. Using microprocessors and microcomputers: the 6800 family. New York, John Wiley.
12. HANKS, R.J. & ASHCROFT, G.L. 1980. Applied soil physics. Berlin, Springer-Verlag. (Advanced Series in Agricultural Sciences, 8).
13. HARTMANN, R. 1983. Examples: soil water potentials. In: COLLEGE ON SOIL PHYSICS, 1st, Trieste, 19 Sept.-7 Oct. 1983. Lecture notes... Trieste, International Centre for Theoretical Physics. (IAEA.ICTP, SMR/104-7).
14. HARTMANN, R. 1983. Questions and answers about tensiometers. In: COLLEGE ON SOIL PHYSICS, 1st, Trieste, 19 Sept.-7 Oct. 1983. Lecture notes... Trieste, International Centre for Theoretical Physics. (IAEA.ICTP, SMR/104-20).
15. HARTMANN, R. 1983. Soil water potential, In: COLLEGE ON SOIL PHYSICS, 1st, Trieste, 19 Sept.-7 Oct. 1983. Lecture notes... Trieste, International Centre for Theoretical Physics. (IAEA.ICTP, SMR/104-5).
16. HARTMANN, R. 1983. Soil water potential: tensiometer. In: COLLEGE ON SOIL PHYSICS, 1st, Trieste, 19 Sept.-7 Oct. 1983. Lecture notes... Trieste, International Centre for Theoretical Physics. (IAEA.ICTP, SMR/104-6).
17. HILLEL, D. 1980. Applications to soil physics. New York, Academic Press.
18. HILLEL, D. 1982. Introduction to soil physics. New York, Academic Press.
19. INTEL. 1980. Component data catalog. Santa Clara. (Catálogo Técnico).
20. LONG, F.L. 1982. A new solid-state device for reading tensiometers. Soil Sci., 133(2):131-2.

21. LONG, F.L. & HUCK, M.G. 1980. An automated system for measuring soil water potential gradients in a rhizotron soil profile. Soil Sci., 129(5):305-10.
22. MARTHALER, H.P. ; VOGELSANGER, W. ; RICHARD, F. & WIERENGA, P.J. 1983. A pressure transducer for field tensiometers Soil Sci.Soc.Am.J., 47:624-7.
23. MARTINS, N. 1973. Introdução à teoria da eletricidade e do magnetismo. São Paulo, Edgard Blücher.
24. MIYAMOTO, S. 1984. A model for scheduling pecan irrigation with microcomputers. Trans. ASAE, 27(2):456-63.
25. MOSTEK. 1979. Memory data book and designers guide. Carrollton. (Catálogo Técnico).
26. MOTOROLA. 1977. MDOS 1.0 - M6800 disk operating system: preliminary user's guide version 1.0. Phoenix. (Manual Técnico).
27. MOTOROLA. 1977. M6800 co-resident editor reference manual. Geneva. (Manual Técnico).
28. MOTOROLA. 1977. M6800 linking loader manual. Geneva. (Manual Técnico).
29. MOTOROLA. 1977. M6800 macro assembler manual. Geneva. (Manual Técnico).
30. MOTOROLA. 1978. M6800 resident MPL language reference manual. Geneva. (Manual Técnico).
31. MOTOROLA SEMICONDUCTOR PRODUCTS INC. 1975. Microprocessor applications manual. New York, McGraw-Hill Book.
32. MOTOROLA SEMICONDUCTOR PRODUCTS INC. 1983. Microprocessors data manual. (Catálogo Técnico).

33. MOUTONNET, P. 1979. Un système d'irrigation automatique des cultures: principe et simulation théorique. Agric. Meteorol., 20:25-39.
34. PHENE, C.J. & HOWELL, T.A. 1984. Soil sensor control of high-frequency irrigation system. Trans. ASAE, 27(2):392-6.
35. PHENE, C.J. ; HOFFMAN, G.J. & AUSTIN, R.S. 1973. Controlling automated irrigation with soil matric potential sensor. Trans. ASAE, 16:773-6.
36. PROJETO DE CENTROS EMERGENTES. 1982. Estudo do sistema água-solo-planta-atmosfera na região de Barretos. Convênio CNPq-INTEC nº 70.0874/81/82/83/84 e Convênio FINEP-FEB nº 54.83/0260.00.
37. REICHARDT, K. 1975. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 3.ed. Campinas, Fundação Cargill. (Publicação especial do Centro de Energia Nuclear na Agricultura-USP - CNEN e Fundação Cargill).
38. REICHARDT, K. 1983. Soil moisture studies. In: COLLEGE ON SOIL PHYSICS, 1st, Trieste, 19 Sept.-7 Oct. 1983. Lecture notes... Trieste, International Centre for Theoretical Physics. (IAEA.ICTP, SMR/104-19).
39. RICHARDS, L.A. ; RUSSELL, M.B. & NEAL, O.R. 1937. Further developments on apparatus for field moisture studies. Proc. Soil Sci. Soc. Am., 2:55-63.
40. SAHM, W.H. 1981. General Electric optoelectronics manual with 1981 update. New York, General Electric. (Catálogo Técnico).
41. SIGNETICS. 1979. Signetics analog: applications manual. Sunnyvale. (Catálogo Técnico).
42. TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED. 1976. The TTL data book for design engineers. 2.ed. Dallas. (Catálogo Técnico).

43. TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED, 1980. The linear control circuits data book for design engineers. 2.ed. Dallas. (Catálogo Técnico).
44. THONY, J.L. & VACHAUD, G. 1980. Automatic measurement of soil-water pressure using a capacitance manometer. J.Hydrol., 46:189-96.
45. TOWNER, G.D. 1980. Theory of time response of tensiometers. J.Soil. Sci., 31:607-21.
46. WATSON, K.K. 1967. Response behavior of a tensiometer-pressure transducer system under conditions of changing pore air pressure. Soil Sci., 104(6):439-43.
47. WEIHOFEN, H. & WOEHL, R. 1981. A low-cost, multi-purpose data acquisition device based on a microprocessor. Agric. Meteorol., 24:111-6.