DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE PRECIPITAÇÃO E COLETOR DE DADOS VISANDO A AUTOMAÇÃO NO ENSAIO DE ASPERSORES.

Wilson Roberto Negri
Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Maio- 1995

CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS "LUIZ DE QUEIROZ" USP

Negri, Wilson Roberto

Desenvolvimento de um sensor de precipitação e coletor de dados visando a automação no ensaio de aspersores. Piracicaba, 1995.

57p. ilus.

Diss.(Mestrado) - ESALQ

Bibliografia,

1. Aspersor - Ensaio - Automação 2. Irrigação por aspersão - Equipamento - Ensaio 3. Sensor automatizado - Desenvolvimento I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.7

**DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE PRECIPITAÇÃO E
COLETOR DE DADOS VISANDO A AUTOMAÇÃO NO ENSAIO
DE ASPERSORES.**

WILSON ROBERTO NEGRI

Aprovada em: 10.08.1995

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Tarlei Arnel Botrel

ESALQ / USP

Prof. Dr. José Antonio Frizzone

ESALQ / USP

Prof. Dr. Nilson Augusto Villa Nova

ESALQ / USP

Prof. Dr. Tarlei Arnel Botrel
Orientador

*A minha mãe,
A meu pai (in memoriam),
ofereço.*

*A minha esposa Arlete,
A minhas filhas: Patrícia
e Mariana,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel, Professor do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ / USP, pela sugestão do assunto e valiosa orientação na elaboração deste trabalho.

A minha esposa Arlete pelos constantes estímulos, solidariedade e cooperação.

Às minhas filhas Patrícia e Mariana, pela atenção que lhes foi suprimida.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural, pela receptividade e ensinamentos.

Ao Centro de Informática na Agricultura - CIAGRI, pela oportunidade oferecida na realização do curso.

Aos companheiros de trabalho, em especial ao Engenheiro Ricardo Ramiro, pelo apoio no desenvolvimento do conversor Analógico/Digital.

Ao colega Engenheiro Daniel Polleto, pelo empenho no desenvolvimento do equipamento de eletrônica analógica.

Aos colegas do Curso de Pós Graduação, pela amizade e companheirismo.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO**PÁGINA**

1- INTRODUÇÃO	1
2-REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1- Avaliação de aspersores.	4
2.2- Ensaio de campo.	5
2.3- Automação.	6
3- MATERIAIS E MÉTODOS.	8
3.1 - Descrição do método.	8
3.2.1 - Fonte de Alimentação.	14
3.2.2 - Oscilador.	15
3.2.3 - Ponte de Wheatstone.	16
3.2.4 - Pré Amplificador/ retificador.	17
3.2.5 - Amplificador.	17
3.2.6 - Conversor A/D.	17
3.2.7 - Placa Leitora/Controladora.	18
3.2.8 - Microcomputador.	18
3.2.9 - Multiplexador.	19
3.2.10 - Vasos Comunicantes.	19
3.3 - Softwares	19
4. CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO.	40
5. ENSAIOS.	45
5.1 - Intervalo da coluna de água entre 361 e 760 mm.	45
5.2 - Intervalo da coluna de água entre 178 e 695 mm.	47
5.3 - Intervalo da coluna de água entre 161 e 733 mm.	48
5.4 - Intervalo da coluna de água entre 161 e 695 mm.	49
5.5 - Intervalo da coluna de água entre 190 e 712 mm.	50
5.6 - Intervalo da coluna de água entre 390 e 643 mm.	51
5.7 - Intervalo da coluna de água entre 288 e 760 mm.	52
5.8 - Intervalo da coluna de água entre 202 e 602 mm.	53

6 - CONCLUSÃO.	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	55

DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE PRECIPITAÇÃO E COLETOR DE DADOS VISANDO A AUTOMAÇÃO NO ENSAIO DE ASPERSORES.

Autor: Wilson Roberto Negri
Orientador: Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

RESUMO

Com a finalidade de minimizar erros de leitura e anotação manual de dados de medição de campo, e agilização da coleta de dados para avaliação de aspersores, foi desenvolvido um sistema automático para aquisição de dados, que utiliza um sensor capacitivo eletrônico e uma placa conversora Analógica/Digital conectados a um microcomputador. O sensor foi implementado a partir de um conjunto mercúrio-vidro-cobre formando um capacitor cilíndrico variável em função da pressão da coluna de água fornecidas por coletores construídos em forma de vasos comunicantes, conectado a uma ponte de Wheatstone alimentado por uma tensão de corrente alternada, fazendo com que o desbalanceamento da ponte gere uma tensão, que amplificada e retificada gera um sinal elétrico de corrente contínua com

variação entre 0 e 10 Volts. A tensão fornecida é enviada ao microcomputador onde é convertida em sinal digital através de um Circuito Integrado AD574A com valores entre 0 e 4095.

O microcomputador, além de efetuar as leituras do conversor, controla um multiplexador para acionamento de solenóides para abertura e fechamento dos vasos coletores, e gera um arquivo com o registro das grandezas lidas.

Em ensaios realizados, os valores apresentados representaram erros inferiores a 1 %, o que se pode afirmar que o sistema é confiável.

DESENVOLVIMENTO DE UM SENSOR DE PRECIPITAÇÃO E COLETOR DE DADOS VISANDO A AUTOMAÇÃO NO ENSAIO DE ASPERSORES.

Author: Wilson Roberto Negri
Adviser: Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

SUMMARY

This Data Aquisition System of Evoluation Sprinkler was developed to avoid mistakes of measurement by reading an manual writing. The equipamnet wil become this work easier and faster. The system uses a sensor of capacitance and a A/D converter interface connected to a microcomputer slot.

The sensor of capacitance was built using a glass tube and cooper. The mercury inside of the tube moves according the water column pressure. The result is a cilinder capacitor where the mercury is a variable plaque, the glass tube is the dieletric, and the cooper completes the component.

That capacitor is connected in a Wheatstone bridge powered with alternate current. The signal of the bridge is applied to an electronic circuitry to be amplified and rectified. The final signal is a DC from 0 up to 10 Volts.

That voltage is driven to the computer interface based on a A/D Converter (I.C. AD574A), that gives 4096 digital values. The interface also has a multiplexer that can control valves switching the sprinkler under test.

Experiences with the system showed 1 % accuracy. So the equipment is reliable.

1- INTRODUÇÃO

Os testes de distribuição da precipitação de aspersores são necessários para caracterizar o desempenho dos mesmos, oferecendo aos usuários e projetistas de sistemas de irrigação, subsídios necessários para projetar criteriosamente sistemas de irrigação por aspersão.

Atualmente os testes de desempenho de aspersores são realizados pelas próprias empresas fabricantes e também por algumas universidades como a Universidade de São Paulo, através da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pioneira nestes tipos de testes, sendo realizados desde a década de 60. A metodologia de ensaio utilizada pelos citados órgãos, consiste basicamente em distribuir pluviômetros em torno do aspersor a ser avaliado, e fazê-lo funcionar por algum tempo (geralmente 1 hora), e após este funcionamento procede-se a leitura dos pluviômetros por processo manual. A NBR 8988 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, estabelece como limite mínimo o número de 50 pluviômetros a utilizar em cada ensaio, porém na prática este número geralmente ultrapassa 80. A

leitura, anotação e digitação destes dados, é um trabalho repetitivo e sujeito a erros de coleta do operador, ou mesmo do digitador.

Considerando ainda que um único aspersor pode trabalhar com 12 jogos de bocais diferentes e a 5 níveis de pressão, gerando necessidade de uma avaliação para cada combinação bocal-pressão, o trabalho para avaliação de aspersores se torna laborioso.

A introdução de sensores computadorizados permitirá aos pesquisadores uma rápida e confiável avaliação dos resultados obtidos em campo, com a certeza de isenção de erros gerados entre as medições no campo até a digitação dos dados para obtenção dos resultados finais.

Com o avanço do setor de eletrônica e a facilidade de se encontrar componentes eletrônicos no mercado, torna-se fácil a automação desses trabalhos.

Este trabalho se propõe a desenvolver um sensor de precipitação automatizado para leitura e transferência das leituras para um microcomputador por meio de um software.

O projeto inclui a construção de um medidor de baixa variação de lâmina d'água através de um conjunto vidro-mercúrio simulando um capacitor variável, conversão da variação da capacitância em variação de tensão elétrica alternada, construção de retificador de corrente alternada em corrente

contínua, construção de um amplificador de sinal em tensão ajustável de 0 a 10 volts que alimentando um conversor analógico-digital fornece valores de 0 a 4095, lidos por um microcomputador, onde se encontra um sistema gerador de arquivos em valores convertidos para colunas d'água.

O módulo de conversão A/D é composto ainda de um sistema de acionamento de duas saídas de sinais de 24 linhas cada, podendo controlar até 576 válvulas solenóides de abertura e fechamento dos coletores para medição individual.

O sistema de conversão de variação de coluna de mercúrio em dados digitais está construído em um módulo integrado, que é conectado a um microcomputador onde será instalada uma interface para leitura desses valores, e um conjunto de saídas que controlarão os solenóides existentes em cada coletor onde estão as lâmina d'água a serem medidas.

Este projeto foi baseado no experimento montado por FISHER & WALLENDER (1988), visando a completa automação do sistema, com a construção do sensor de precipitação e do conversor Analógico Digital a baixo custo.

2-REVISÃO DA LITERATURA

2.1- Avaliação de aspersores.

As recomendações de aspersão, geralmente são realizadas com base na análise da uniformidade de distribuição, dentro de padrões de distribuição de água sobrepostos. Tais padrões são então comparados com outros, através de coeficientes calculados por meio dos dados de precipitação dos coletores.

Segundo CHRISTIANSEN (1942), os aspersores distribuem água em áreas circulares, não sendo possível obter uma aplicação com absoluta uniformidade. O grau de uniformidade vai depender do tipo de distribuição, que é função do vento, pressão de serviço, uniformidade de rotação dos aspersores, altura das hastes, diâmetro e tipo de bocal. A uniformidade depende também do espaçamento entre aspersores.

SATTO (1978) baseando-se num programa de computador para superposição de precipitações a partir de um aspersor desenvolvido por HART (1963), estudou a relação entre diversos coeficientes de uniformidade.

2.2- Ensaaios de campo.

SOLOMON (1984) conduziu estudos para analisar a variabilidade dos testes de uniformidade de aspersores. Segundo o autor, os resultados são alterados por medições imprecisas dos volumes de água coletados, da velocidade e direção dos ventos e da pressão; além das diferenças físicas de aspersores de um mesmo modelo (bocais, mecanismos de rotação, etc.) . O autor afirma que pequenas diferenças de fabricação, podem afetar significativamente as características do jato que deixa o aspersor, atuando na distribuição de água e nos coeficientes de uniformidade.

COELHO et al (1992) afirmam que a disposição retangular de coletores, prevista na norma da ABNT para ensaio de aspersores, leva a uma trabalhosa e cansativa mensuração de volumes coletados, dificultando bastante a realização de ensaios. Os autores realizaram estudos visando comparar os tipos de ensaio, com coletores em disposição retangular e radial, analisando valores de CUC dos testes. Concluíram que existe elevada correlação entre os resultados obtidos através das duas metodologias, o que credencia os ensaios radiais para testes em laboratório, pela facilidade de instalação e operacionalização, economicidade e possibilidade de extrapolar resultados.

2.3- Automação.

DODI (1990), construiu um sistema coletor automático para ensaio de microaspersores, utilizando transdutores em substituição aos coletores adicionais. Estes transdutores, quando alimentados por um circuito oscilador, geram um sinal elétrico proporcional à grandeza medida (nível líquido). O sinal fornecido a um sistema de aquisição de dados a partir do interfaceamento A/D possibilita a avaliação do perfil de distribuição bem como a uniformidade de distribuição de água aplicada por um microaspersor. A calibração desse sistema é bem abrangente, permitindo tanto o seu uso na avaliação da uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação como em qualquer outro sistema que necessite da leitura da lâmina d'água.

Em 1987, o Ministério da Indústria e Comércio em conjunto com o STI, financiaram um projeto desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Rural e pelo Centro de Informática na Agricultura, da USP em Piracicaba, desenvolvendo um microcomputador dedicado para aquisição de dados em campo para máquinas agrícolas, cuja discussão foi publicada na revista MAQUINARIA AGRÍCOLA (1991).

FISCHER & WALLENDER (1988), construíram um sistema para análise do tamanho do coletor e duração dos testes, em medidas de distribuição de água por aspersores, construindo para isso um sistema

composto de um condutor horizontal suportando vários coletores, e uma das extremidades conectada a um transdutor de pressão ligado a um sistema de coletor de dados. Em cada base dos coletores foi instalado uma válvula solenóide para abertura individual, fazendo consequentemente a leitura de cada coletor.

Seguindo os exemplos de SPIESS(1983) e FISCHER & WALLENDER (1988), SEGINER et Al (1992) construíram um sistema composto de tanque de água e bomba de pressão, alimentado continuamente um aspersor, cuja precipitação era recolhida em um conjunto receptores interligados a um transdutor de pressão, cujas leituras e acionamentos das válvulas solenóides eram controladas por um computador, o que permitia uma análise contínua da precipitação.

THONY & GEORGES (1979) procederam a leitura automática de pressão de água no solo, construindo um manômetro capacitivo, que consistia em um tensiômetro formado por um tubo de vidro revestido com óxido de índio (condutor de eletricidade) formando uma das placas do capacitor e o elemento dielétrico, a outra placa do capacitor era formada pelo mercúrio de altura variável conforme a pressão da água no solo. A capacitância era transformada em tensão através de um Circuito Integrado LM 2097 N8 (conversor de frequência em tensão), e lido através de um sistema conversor Analógico/Digital

3- MATERIAIS E MÉTODOS.

3.1 - Descrição do método.

O sistema completo é composto por um conjunto de coletores de dados de precipitação, medição e transferências, baseados em três módulos físicos, conforme mostra a Figura 1, um módulo de software para controle do sistema de medição.

FIGURA 1 - Esquema geral do Medidor de Precipitação

A precipitação do aspersor cairá sobre os funis coletores (1), ocupando diferentes alturas na haste de subida (2), sendo esta altura proporcional à precipitação coletada pelos funis. Para obter a leitura da precipitação, o microcomputador (10) comandará sequencialmente através do multiplexador (9), a abertura de válvulas solenóides, uma por vez, e fará a respectiva leitura da pressão através da capacitância produzida pela variação da altura da coluna de mercúrio (Figura 2). Essa pressão corresponde à altura da água no tubo de subida (2), sendo, por sua vez, proporcional à precipitação captada pelo funil. A válvula de drenagem (4) será acionada juntamente com as válvulas solenóides, no início da operação, para drenar a água coletada em todos os funis, e preparar o sistema para teste, deixando todos os coletores inicialmente com o mesmo nível de água.

O comando das operações de abertura das válvulas solenóides, e a leitura da pressão do mercúrio será feita pelo microcomputador, por intermédio da placa controladora e acionará os relês dos solenóides, efetuando a leitura e armazenamento dos dados obtidos, para posterior processamento dos mesmos.

FIGURA 2 -Capacitor variável de coluna de mercúrio.

A Figura 2 mostra o medidor de pressão, constituído de um tubo de vidro (1) contendo mercúrio, que terá seu nível definido pela pressão provocada pela coluna d'água existente na haste de subida (6). Internamente ao tubo de vidro se encontra um cilindro de PVC (2) com orifícios para interligação do mercúrio, funcionando basicamente como redutor do volume de mercúrio. Envolto ao tubo de vidro é colocado uma lâmina de cobre (3) funcionando como uma das paredes do capacitor. O mercúrio interno ao tubo atua como a outra parede do capacitor, usando como dielétrico o tubo de vidro. Ao lado do tubo de vidro (1) encontra-se interligado um recipiente de diâmetro bem maior ao do tubo (5) provocando pouca variação na altura do mercúrio, quando submetido à pressão da água proveniente da haste de subida pelo

orifício de entrada de água (6). Anexo ao conjunto, está o circuito conversor de capacitância em tensão.

A placa controladora, a ser instalada em um slot do microcomputador é composta de um decodificador de endereços acionado por meio de um software, um conjunto de circuitos integrados fazendo a leitura dos valores recebidos do conversor A/D, e também enviando dados para um integrado (PPI) de saída de 24 bits, que atuando num multiplexador composto de uma matriz 20 x 24, aciona os relês de comando das válvulas solenóides.

As Figuras 3 e 4 se referem ao projeto eletrônico do módulo do sensor e amplificador.

FIGURA 3 - Esquema Elétrico da Fonte de Alimentação e oscilador.

FIGURA 4 - Esquema Elétrico do Retificador e Amplificador.

3.2 - Descrição dos módulos

O diagrama abaixo representa os módulos construídos para o sistema.

FIGURA 5. - Diagrama de blocos do Sistema

3.2.1 - Fonte de Alimentação.

A alimentação do circuito é feita pela rede elétrica comercial, com tensão de 110 Volts, 60 Hz, num transformador que reduz a tensão para 16 Volts 60 Hz. Essa tensão é retificada, e através dos integrados LM358N, é reduzida para tensões de +12 e -12 Volts para alimentação de todo o circuito. A partir da tensão retificada foi construído um oscilador com um circuito integrado LM358N, gerando uma frequência alternada senoidal de 600 Hz e 12 Volts de tensão de pico.

A corrente alternada alimenta uma ponte de Wheatstone, onde um dos elementos é o capacitor variável formado pelo conjunto mercúrio, vidro e lâmina de cobre. A tensão produzida pelo desbalanceamento da ponte é ampliada 20 vezes através de amplificadores operacionais LM358M e retificada em meia onda por meio de um diodo. Após a retificação, o sinal passa por um filtro Pi para eliminar os sinais indutivos de 60 Hz, alimentando finalmente um amplificador, também construído com circuitos integrados LM358M, com ajustes de zero e de amplitude, podendo qualquer variação de coluna de mercúrio ser ajustada para tensões entre 0 a 10 Volts.

3.2.2 - Oscilador.

Para a alimentação da ponte de Wheatstone formada por capacitores, deve-se usar corrente alternada senoidal. Para eliminar possíveis variações de tensão da rede elétrica, foi construído um oscilador de 600 Hz, e tensão de pico de 12 Volts, a partir da fonte de alimentação, onde a tensão é estável.

3.2.3 - Ponte de Wheatstone.

A ponte de Wheatstone foi construída com 3 capacitores de 82 pF e o capacitor formado pelo conjunto cobre, vidro e mercúrio. O valor de 82pF foi determinado pelo menor valor da capacitância fornecida pelo capacitor variável.

O capacitor variável é constituído por dois cilindros condutores coaxiais separados por pequena distância a fim de que a indução seja praticamente total. O cilindro interno pode ser oco ou maciço.

A construção do capacitor foi implementada a partir de um tubo de vidro, usado como dielétrico, de 1,5 mm de parede e diâmetro interno de 25 mm. Internamente ao tubo de vidro é colocado um cilindro de PVC com diâmetro inferior ao diâmetro interno do tubo de vidro para reduzir o volume de mercúrio.

O valor da capacitância é dado por :

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot L}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

onde:

C - Capacitância, Farad;

ϵ_r - Constante relativa, (para o vidro vale de 1,6 a 5) adimensional;

ϵ_0 - Constante dielétrica. Vale $8,86 \cdot 10^{-12} \text{ A s / V m}$;

L - Altura do cilindro, m;

R_1 - Diâmetro interno do cilindro, m;

R_2 - Diâmetro externo do cilindro, m

Substituindo os valores na equação, teremos o valor da capacitância entre 1,53 a 4,77 pFarad por milímetro de mercúrio.

3.2.4 - Pré Amplificador/ retificador.

Como a tensão fornecida pelo desbalanceamento da ponte é muito baixa, foi necessário amplificar essa tensão antes de sua retificação.

3.2.5 - Amplificador.

Esse amplificador foi instalado no circuito, para produzir uma tensão de saída entre 0 e 10 Volts, sendo ajustável a tensão de 0 Volt para a menor coluna de mercúrio, e 10 Volts para a máxima coluna de mercúrio, tornando-se assim, o sensor, adaptável para grande faixa de medições.

3.2.6 - Conversor A/D.

As tensões fornecidas pelo amplificador alimentam um conversor Analógico/Digital, com saída de 12 bits, fornecendo-se assim uma variação de

4095 unidades de leituras para uma variação de 10 Volts, sendo que cada unidade lida corresponde a 0,0024 Volts.

3.2.7 - Placa Leitora/Controladora.

Esta placa, inserida em um "slot" do microcomputador e controlado pelo "software" desenvolvido se encarrega de fazer a leitura do conversor A/D e acionar as saídas do multiplexador.

Esse circuito consiste da combinação de vários integrados do tipo TTL, com portas lógicas, que combinam os valores dos bits recebidos do barramento do microcomputador, ativando as entradas e saídas do conversor A/D, fazendo com que o valor convertido seja armazenado no buffer e transferido para o software sendo executado.

Outra função deste circuito é também controlar duas PPIs (peripheral programable interface), de onde são emitidos os sinais de 24 bits cada uma delas, que associados de 2 em 2 podem controlar até 576 relês para acionamento dos solenóides.

3.2.8 - Microcomputador.

Pode ser um microcomputador da linha IBM PC ou AT, com configuração mínima, tendo livre pelo menos um "slot" de 8 bits.

3.2.9 - Multiplexador.

Esse multiplexador é um circuito acionado pela saída dos pinos da PPI, onde através de uma malha de 24 X 24 aciona simultaneamente ou individualmente os solenóides de abertura dos coletores. Esse multiplexador pode controlar até 576 solenóides.

3.2.10 - Vasos Comunicantes.

É o conjunto de vasos comunicantes constantes de coletores a serem medidos, acionados por solenóides. Este conjunto está representado na Figura 1.

3.3 - Softwares

Foi desenvolvido um software na linguagem Turbo Pascal, com rotinas em baixo nível, para controle do sistema, ou seja: acionamento da portas de saída para acionamento dos solenóides, controle e leitura dos dados convertido pelo A/D, calibração do conjunto, e geração de um arquivo texto com os dados lidos no conversor, cuja listagem vem a seguir:

```
Program Sensor ;
{$c-,v-}
```

```
type str78  = string[78];
    str8     = string[8];
    arr_str  = array[1..10] of str78;
    arr_str8 = array[1..5] of str8;
```

```

arr_real = array[1..20] of real;
arr_int  = array[1..20] of integer;

```

```

var
  P           : array [1..4] of char;
  opcoes_1    : arr_str;
  dado        ,
  pa, pb, pc  ,
  dado_in, dado_out : byte;
  xi, xj      ,
  porta       ,
  porta_ppi   ,
  ad_inic, ad_leit ,
  in_d0_d7, in_d8_d11 : integer;
  CorMnu      ,
  CorSay      ,
  CorGet      : integer;
  space       : string[80];
  cc          : char;
  a,b         : real;

```

{ Função para conversao da leitura do conversor em volts }

```
Function Ad_Volts(leit_ad : real) : real;
```

```

var
  Volts : real;
begin
  Volts := (9.940 / 4095.0) * leit_ad;
  Ad_Volts := Volts;
end;

```

{ Função para Leitura de Porta }

```
Function Input(porta:integer):byte;
```

```

begin
  inline($52/      { PUSH  DX          }
    $8B/$46/$04/   { MOV   AX,[BP+04]   }
    $89/$C2/       { MOV   DX,AX       }
    $EC/          { IN    AL,DX       }
    $30/$E4/       { XOR   AH,AH       }

```

```

$88/$46/$06/      { MOV    [BP+06],AL    }
$5A);              { POP     DX          }
end;

```

{ Função para escrita em Porta }

Procedure Output(porta : integer; dado : byte);

begin

```

inline($52/        { PUSH    DX          }
$8B/$46/$06/      { MOV     AX,[BP+06]  }
$89/$C2/          { MOV     DX,AX      }
$8A/$46/$04/      { MOV     AL,[BP+04]  }
$EE/              { OUT     DX,AL      }
$5A);              { POP     DX          }

```

end;

{ Definição das constantes usada pelo programa }

Procedure DefineConstantes;

begin

```

space := '          ';
space := space + '          ';
space := space + '          ';
space := space + '          ';
p[1] := 'E'; { Portas da PPI A definidas }
p[2] := 'E'; {                B como      }
p[3] := 'E'; {                C1 entrada   }
p[4] := 'E'; {                C2          }
CorMnu := $3475; { Cores      }
CorSay := $0707; { das        }
CorGet := $1771; { Telas      }
porta_ppi := $3EF; { Porta da PPI  }
ad_inic := $3E0; { Porta de inicializacao do Conversor }
ad_leit := $3E1; {          leitura do Conversor      }
in_d0_d7 := $3E8; { $3E9, 3EA, 3EB } { Porta de leitura os bits 0 a 7 }
in_d8_d11 := $3E4; { $3E5, 3E6, 3E7 } {                bits 8 a 11 }
pa := 0; pb := 0; pc := 0;
a:= 0.0; b := 1.0;

```

end;

{ Função para cálculo da média, eliminando os valores fora do desvio padrão}


```

Function Media(n : integer; x : arr_int) : real;
var
  i, j : integer;
  xmedia, desvio : real;
  y : arr_int;

{SUB} Function subMedia(sn : integer; sx : arr_int): real;
var smedia : real ;
begin
  smedia := 0.0;
  for i := 1 to sn do sMedia := smedia + sx[i];
  sMedia := sMedia / sn;
  SubMedia := Smedia;
end;

begin
  xmedia := SubMedia(n,x);
  desvio := 0;
  for i := 1 to n do desvio := desvio + sqr( xmedia - x[i] );
  desvio := sqrt(desvio);
  j := 0;
  for i := 1 to n do
    begin
      if abs(x[i] - xmedia) <= desvio then
        begin
          j := j + 1;
          y[j] := x[i];
        end;
      end;
  xmedia := SubMedia(j,y);
  Media := xmedia;
end;

```

{ Função para leitura do Teclado para teclas de movimento de cursor }

```

Function LeTeclado: char ;
var c : char;
begin
  Read(Kbd,C);
  if ( C = #27) and Keypressed then
    begin

```

```

read(kbd,c);
case C of
  #71 : C := ^W;
  #72 : C := ^E;
  #73 : C := ^R;
  #75 : C := ^S;
  #77 : C := ^D;
  #79 : C := ^Z;
  #80 : C := ^X;
  #81 : C := ^C;
  #82 : C := ^V;
  #83 : C := ^G;
else
  C := Char(Ord(C)+100);
end;
end;
LeTeclado := C;
end;

```

{ Função para colocar cores na tela }

```

Procedure SetColor(cor : integer);
var frente,fundo : integer;
begin
  frente := (cor and 255) mod 16;
  fundo := (cor and 255) div 16;
  textColor(frente);
  { textBackGround(fundo);}
end;

```

{ Função para mostrar mensagen no meio da tela }

```

Procedure Say(linha:integer;texto:str78);
var tam,pos : integer;
begin
  tam := length(texto);
  pos := (80 - tam ) div 2;
  gotoxy(pos,linha);write(texto);
end;

```

{ Função para mostrar e fazer a seleção de um item de menu }

```

Function Menus(qtd:integer;opcoes:arr_str) : char;
var
  i,j,tam,tmax : integer;
  x_opcao,x_help : arr_str;
  texto : string[78];
  cc : char;
  enter : boolean;
begin
  setcolor( CorMnu div 256);
  tmax := 1;
  for i := 1 to qtd do
    begin
      tam := 1;
      texto := opcoes[i];
      for j := 1 to length(texto) do
        begin
          if texto[j] = ',' then tam := j ;
          if tam > tmax then tmax := tam;
        end;
      x_opcao[i] := copy(texto, 1, tam -1) ;
      x_help[i] := copy(texto,tam + 1 ,length(texto) - tam );
      x_help[i] := x_help[i] + space;
    end;
  tmax := tmax - 1;
  for i := 1 to qtd do
    begin
      x_opcao[i] := copy(x_opcao[i] + space,1,tmax);
      gotoxy( 3 , 5+i ) ; write(x_opcao[i]);
    end;
  i := 1;
  enter := false;
  repeat
    setColor(CorMnu mod 256);
    gotoxy( 3 , 5+i ) ; write(x_opcao[i]);
    gotoxy( 2, 23); write(x_help[i]);
    cc := LeTeclado;
    SetColor(CorMnu div 256);
    gotoxy( 3 , 5+i ) ; write(x_opcao[i]);
    case Cc of
      ^E : if i = 1 then i := qtd else i := i-1;
      ^X : if i = qtd then i := 1 else i:= i + 1;
    end;
  until enter;
  return cc;
end;

```

```

^C : i := qtd;
^W : i := 1;
^R : i := 1;
^V : i := qtd;
#13 : enter := true;
#27 : enter := true;
end;
until enter;
if Cc = #27 then i := 0;
Menus := Char(i+ 48);
end;

```

```

Procedure LimpaTela;
var i : integer;
begin
  SetColor(CorSay);
  for i := 5 to 21 do
  begin
    gotoxy(1,i);clreol;
  end;
end;

```

{ Função para monstar a tela principal }

```

procedure tela;
var i : integer;
begin
  setColor(CorSay);
  clrscr;
  setcolor(CorMnu);
  gotoxy(1,1);
  write
  (
    '=====
    ');
  for i := 2 to 3 do
  begin
    gotoxy(1,i); write('');
    gotoxy(80,i);write('');
  end;
  write
  (
    '=====
    ');
  write
  (
    '=====
    ');

```

```
SAY(2,'UNIVERSIDADE DE SAO PAULO / DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA RURAL');
```

```
Say(3,'Sistema de Aquisicao de Dados e Controle de Avaliacao de
Aspersores');
```

```
gotoxy(1,22);
```

```
write
```

```
('E|||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
|||');
gotoxy( 1,23); write('');
gotoxy(80,23); write('');
```

```
write('|||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||||
|||||');
end;
```

{ Função para transformar um número de um byte em hexadecimal e mostrá-lo na tela }

```
Procedure Hexa(dado : byte);
```

```
var saida : string[2];
```

```
h : byte;
```

```
begin
```

```
h := dado shr 4;
```

```
if h > 9 then h := h+7;
```

```
h := h + 48;
```

```
saida := chr(h);
```

```
h := dado and 15;
```

```
if h > 9 then h := h+7;
```

```
h := h + 48;
```

```
saida := saida + chr(h);
```

```
write(saida);
```

```
end;
```

{ Função para transformar um número inteiro em hexadecimal e mostrá-lo na tela }

```
Procedure Hexa2(dado : integer);
```

```
var
```

```
meio_dado : byte;
```

```
begin
```

```
meio_dado := dado div 256;
```

```
Hexa(meio_dado);
```

```

meio_dado := dado mod 256;
Hexa(meio_dado);
end;

```

{ Função para determinar os coeficientes de uma equação linear }

```

Procedure DeterminaAB(n:integer;x,y : arr_real);

```

```

var

```

```

    sx,sx2,sy,sy2,s2x,s2y,sxy,xm,ym,r2 : real;

```

```

    i,j : integer;

```

```

begin

```

```

    sx := 0.0; sy := 0.0;

```

```

    sx2 := 0.0; sy2 := 0.0;

```

```

    s2x := 0.0; s2y := 0.0;

```

```

    sxy := 0.0;

```

```

    for i := 1 to n do

```

```

    begin

```

```

        sx := sx + x[i];

```

```

        sy := sy + y[i];

```

```

        s2x := s2x + x[i] * x[i];

```

```

        s2y := s2y + y[i] * y[i];

```

```

        sxy := sxy + x[i] * y[i];

```

```

    end;

```

```

    sx2 := sx * sx;

```

```

    sy2 := sy * sy;

```

```

    b := ( sxy - ( sx * sy ) / n ) / ( s2x - sx2 / n );

```

```

    a := sy / n - b * sx / n;

```

```

    xm := ( sxy - ( sx * sy ) / n ) * ( sxy - sx * sy / n );

```

```

    ym := ( s2x - sx2 / n ) * ( s2y - sy2 / n );

```

```

    r2 := xm / ym;

```

```

    xm := sx / n;

```

```

    ym := sy / n;

```

```

end;

```

{ Função para definir os pinos da PPI se Entrada ou Saída }

```

Procedure Programa_ppi;

```

```

var i : integer;

```

```

    opc : char;

```

```

begin

```

```

    dado_out := $80;

```

```

SetColor(CorSay);
gotoxy(29,11);write('Pinos 01 a 08 : ');
gotoxy(29,12);write('Pinos 09 a 16 : ');
gotoxy(29,13);write('Pinos 17 a 20 : ');
gotoxy(29,14);write('Pinos 21 a 24 : ');
setColor(CorGet mod 256);
for i := 1 to 4 do
begin
  gotoxy(45,10 + i);write(p[i]);
end;
i := 1;
repeat
  gotoxy(45,10 + i);
  setColor(CorGet div 256); write(p[i]);
  opc := LeTeclado;
  setColor(CorGet mod 256);
  gotoxy(45,10 + i); write(p[i]);
  case opc of
    ^E : if i = 1 then i := 4 else i := i - 1;
    ^X : if i = 4 then i := 1 else i := i + 1;
    'E','e' : begin
      p[i] := 'E';
      gotoxy(45,10 + i);write(p[i]);
      i := i + 1;
      if i > 4 then i := 1;
    end;
    'S','s' : begin
      p[i] := 'S';
      gotoxy(45,10 + i);write(p[i]);
      i := i + 1;
      if i > 4 then i := 1;
    end;
  end;
until (opc = #13 ) or ( opc = #27);
if p[1] = 'E' then dado_out := dado_out or $10
  else dado_out := dado_out and $EF;
if p[2] = 'E' then dado_out := dado_out or $02
  else dado_out := dado_out and $FD;
if p[3] = 'E' then dado_out := dado_out or $01
  else dado_out := dado_out and $FE;
if p[4] = 'E' then dado_out := dado_out or $08
  else dado_out := dado_out and $F7;
output(porta_ppi,dado_out);

```

```

LimpaTela;
end;

```

```

{ Função para leitura do Conversor A/D }

```

```

Function Le_AD: real;
var lido,loop,tenta,i :integer;
    ok : byte;
    x : arr_int;
    rlido : real;
begin
    tenta := 6;
    for i := 1 to tenta do
    begin
        repeat
            porta := ad_inic;
            OutPut(porta,dado_out);
            loop := 0;
            repeat
                dado_in := input(in_d8_d11);
                ok := (dado_in and $10) shr 4;
                loop := loop + 1;
            until (ok = 1 ) or ( loop > 20);
            until ok = 1;
            dado_in := input(in_d8_d11);
            lido := ( dado_in and $0F ) * 256;
            dado_in := input(in_d0_d7);
            lido := lido + dado_in;
            x[i] := lido;
        end;
        rlido := Media(tenta,x);
        Le_AD := rlido;
    end;
end;

```

```

{ Função para ativar saídas da PPI }

```

```

Procedure Saida_ppi(cporta:char; dado : byte);
begin
    cporta := upcase(cporta);
    porta := porta_ppi - 3;
    if cporta = 'B' then
        porta := porta + 1;
    if cporta = 'C' then

```



```

write(' 17 18 19 20 ');
setColor(CorGet div 256);
for j := 1 to 4 do
begin
  gotoxy(6 + j * 4 , 18);write(pinos[3,j]);
end;
end;
if p[4] = 'S' then
begin
  gotoxy(25,17);setColor(CorSay);
  write('21 22 23 24 ');
  setColor(CorGet div 256);
  for j := 5 to 8 do
  begin
    gotoxy(6 + j * 4 , 18);write(pinos[3,j]);
  end;
end;
indy := 1;
indx := 0;
repeat
  indx := indx + 1;
until ( p[indx] = 'S' ) or ( indx = 4);
repeat
  SetColor(CorGet mod 256);
  gotoxy(70,14);write(indx:3,indy:3);
  GotoXY( 6 + indy * 4 , indx * 2 + 12);write(pinos[indx,indy]);
  key := LeTeclado;
  SetColor(CorGet div 256);
  GotoXY( 6 + indy * 4 , indx * 2 + 12);write(pinos[indx,indy]);
  case key of
    ^E : repeat
      indx := indx - 1;
      if indx < 1 then indx := indx + 3;
    until p[indx] = 'S';
    ^X : repeat
      indx := indx + 1;
      if indx > 3 then indx := indx -3;
    until p[indx] = 'S';
    ^S : repeat
      indy := indy - 1;
      if indy < 1 then
        begin
          indy := 8;

```

```

        repeat
            indx := indx - 1;
            if indx < 1 then indx := indx + 3;
            until p[indx] = 'S';
        end;
until p[indx] = 'S';
^D : begin
    indy := indy + 1;
    if indy > 8 then
        begin
            indy := 1;
            repeat
                indx := indx + 1;
                if indx > 3 then indx := indx - 3;
                until p[indx] = 'S';
            end;
        end;
    'h','H' : pinos[indx,indy] := 'H';
    'L','l' : pinos[indx,indy] := 'L';
end;
until (key = #27) or (key = #13);
for indx := 1 to 3 do
begin
    if p[indx] = 'S' then
        begin
            pc := 0;
            for indy := 1 to 8 do
                begin
                    j := 0; if pinos[indx,indy] = 'H' then j := 1;
                    pc := pc or ( j shl (8 - indy));
                end;
            Saida_PPI(chr(64 + indx),pc);
        end;
        if indx = 1 then pa := pc;
        if indx = 2 then pb := pc;
    end;
    gotoxy(1,18);hexa(pa);hexa(pb);hexa(pc);
    LimpaTela;
end;

{ Função para leitura dos bits de Entrada da PPI }

Procedure Le_PPI;

```

```

var i , j, k : integer;
  cin : string[4];
  comparador : byte;
begin
  SetColor(CorGet div 256);
  gotoxy(1,14); write('Pinos : ');
  pa := 0; pb := 0; pc := 0;
repeat
  for i := 1 to 3 do
  begin
    if p[i] = 'E' then
    begin
      porta := porta_ppi - 4 + i;
      dado_in := input(porta);
      case i of
        1 : pa := dado_in;
        2 : pb := dado_in;
        3 : pc := dado_in;
      end;
      setColor(CorGet div 256);
      for j := 1 to 8 do
      begin
        gotoxy( 6 + j * 4, 12 + i * 2); write( ((i-1) * 8 + j) :4);
      end;
      gotoxy(10, 13 + i * 2);
      SetColor(CorSay);
      comparador := $80;
      for k := 1 to 8 do
      begin
        cin := ' L';
        if dado_in and comparador <> 0 then cin := ' H';
        write(cin);
        comparador := comparador shr 1;
      end;
    end;
  end;
  end;
  if keyPressed then cc := LeTeclado;
until cc = #27;
  LimpaTela;
end;

{ Função para efetuar a leitura do conversor e mostrar na tela }

```

```

Procedure Leitura_AD;
var lido,volts,valor : real;
begin
  lido := Le_AD;
  gotoxy(1,17);
  SetColor(CorGet mod 256);
  volts := (10.0 / 4095.0) * lido;
  volts := Ad_volts(lido);
  valor := A + B * lido;
  gotoxy(26,8); write(lido:7:1);
  gotoxy(35,8); Hexa2(trunc(lido));
  gotoxy(51,8);write(volts:10:4);
  gotoxy(71,8);write(valor:10:4);
end;

```

{ Função para leitura contínua do PPI }

```

procedure Leitura_cont;
var key : char;
    min, max : real;
    lido,volts,valor : real;
begin
  min := 4096;
  max := 0;
  repeat
    lido := Le_AD;
    if lido > max then max := lido;
    if lido < min then min := lido;
    gotoxy(1,17);
    SetColor(CorGet mod 256);
    volts := (10.0 / 4095.0) * lido;
    volts := Ad_volts(lido);
    valor := A + B * lido;
    gotoxy(26,8); write(lido:7:1);
    gotoxy(35,8); Hexa2(trunc(lido));
    gotoxy(51,8);write(volts:10:4);
    gotoxy(71,8);write(valor:10:4);
    gotoxy(1,9); write(min:10:2, max:10:2,max-min :10:2);
    key := #0;
    if KeyPressed then read(kbd,key);
    if key = #13 then
      begin
        min := lido; max := lido;

```

```

    end;
{ gotoxy(20,11); write(ord(key)); }
    until Key = #27;
    LimpaTela;
end;

```

{ Função para leitura do conversor e gravação em arquivo texto }

```

Procedure Gera_arq;
var  arq_saida      : text;
    volts, valor,lido : real;
    val             : array[1..5] of real;
    nome_arq        : string[80];
    indice,erro, qtd,ii : integer;
    key             : char;
    ok              : boolean;
    campos          : ARR_str8;
begin
    ok := false;
    val[1] := 0.0; val[2] := 0.0; val[3] := 0.0; val[4] := 0.0; val[5] := 0.0;
    repeat
        setColor(CorGet mod 256);
        gotoxy(1,10);Write('Nome do arquivo : ');
        setColor(CorGet div 256);
        gotoxy(19,10);Read(nome_arq);
        assign(arq_saida,nome_arq);
        {$I-}
        reset(arq_saida);
        erro := ioresult;
        {$I+}
        if erro = 0 then
            begin
                close(arq_saida);
                SetColor(CorSay);
                gotoxy(1,21);Write('Arquivo ja existe. Apaga Anterior : (S/N)');
                repeat
                    cc := LeTeclado;
                    SetColor(CorSay);gotoxy(1,21);clreol;
                    cc := upcase(cc);
                    if cc = 'S' then
                        ok := true;
                    until (cc= 'S') or ( cc = 'N');
                end
            end
        end
    end

```

```

else ok := true;
until ok;
erro := 0;
repeat
  erro := erro + 1;
  SetColor(CorGet mod 256);
  gotoxy(1,13+erro);write('Descricao da medida ',erro,' : ');
  SETCOLOR(CorGet div 256);
  gotoxy(25,13+erro);write(' ');
  gotoxy(25,13+erro);read(campos[erro]);
  campos[erro] := campos[erro] + ' ';
until campos[erro] = ' ';
setColor(CorSay);
for qtd := 1 to erro-1 do
begin
  setColor(CorSay);
  gotoxy(1,13 + qtd);clreol;
  SetColor(CorGet div 256);
  gotoxy(1,13 + qtd);writeln(campos[qtd]);
end;
setColor(corSay);clreol;
qtd := erro -1;
SetColor(CorSay);
gotoxy(1,10);write('Gravando Arquivo : ');
SetColor(CorGet div 256);write(nome_arq);
rewrite(arq_saida);
nome_arq := '#Ind.Digital   Volts C.   mm H2O c   ';
for erro := 1 to qtd do
  nome_arq := nome_arq+campos[erro]+' ';
writeln(arq_saida,nome_arq);
indice := 0;
SetColor(CorSay);
gotoxy(36,12);write('Indice : ');
gotoxy(1,12); write('Dado Lido do Conversor : ');
gotoxy(1,13);write('Volts           :           / Valor Ajustado : ');
SetColor(CorGet div 256);
repeat
  key := #0;
  lido := Le_AD;
  volts := (10.0 / 4095.0) * lido;
  volts := Ad_volts(lido);
  valor := A + B * lido ;
  gotoxy(26,12);write(lido:6:1);

```

```

gotoxy(26,13);write(volts:8:4);
gotoxy(54,13);write(valor:11:4);
if keyPressed then Read(kbd,key);
if Key = #13 then
begin
  indice := indice + 1;
  SetColor(CorGet div 256);
  gotoxy(44,12); write(indice :4);
  SetColor(CorGet mod 256);
  for ii := 1 to qtd do
  begin
    repeat
      gotoxy(10,13 + ii);write(' ');
      {$I-} gotoxy(10,13 + ii);read(val[ii]);
      erro := ioresult; {$I+}
    until erro = 0;
  end;
  writeln(arq_saida,indice:4,lido:12:2,volts:12:4,valor:12:4,
    val[1]:12:4,val[2]:12:4,val[3]:12:4,val[4]:12:4,val[5]:12:4);
  end;
until key = #27;
writeln(arq_saida,'#fim');
close(arq_saida);
LimpaTela;
end;

```

```

Procedure Calibra;
var x,y : arr_real;
    i,k : integer;
    key : char;
begin
  SetColor(CorGet div 256);
  gotoxy(1,7);Write('Tensao Lida:      Valor real:');
  SetColor(CorGet mod 256);
  i := 1;
  repeat
    key := #0;
    x[i] := round(Le_ad);
    gotoxy(1,8);write(i:2,x[i]:6:0);
    if keyPressed then
    begin
      key := leTeclado;
      if key = #13 then

```



```

begin
  gotoxy(21,8);write(' ');
  gotoxy(21,8);read(y[i]);
{   x[i] := 40.0 * i; }
  i := i + 1;
end;
end;
until key = #27;
k := i - 1;
if k > 1 then DeterminaAB(k,x,y);
  LimpaTela;
end;

```

```

{ Módulo Principal }
begin
  DefineConstantes;
  tela;
  OutPut(porta_ppi,$9B);
  opcoes_1 [1] := 'Programacao da PPI ,Define Entrada/Saida de controle';
  opcoes_1 [2] := 'Ativa Saidas ,Ativa os linhas de controle de Saidas ';
  opcoes_1 [3] := 'Entradas Digitais, Efetua Leitura das linhas de controle';
  opcoes_1 [4] := 'Leit. AD, Efetua a Leitura do Conversor';
  opcoes_1 [5] := 'Leitura Continua do AD ,Efetua Leitura Continua do
Conversor';
  opcoes_1 [6] := 'Calibracao do Conversor, Informa valores padroes para
valores lidos';
  opcoes_1 [7] := 'Grava Arquivo , Gera Arquivo de Dados Coletados';
  repeat
    LimpaTela;
    cc := Menus(7,opcoes_1);
    SetColor(CorSay);
    for xi := 5 to 21 do
      begin
        gotoxy(1,xi);clreol;
      end;
    Case cc of
      '1' : Programa_ppi;
      '2' : begin
        xj := 0;
        for xi := 1 to 4 do
          if p[xi] = 'S' then xj := 1;
          if xj > 0 then Sai_PPI;

```

```

    end;
'3' : Le_PPI;
'4' : begin
    SetColor(CorGet div 256);
    gotoxy(1,8);
    write('Dado Lido do Conversor : xxxxxx  xxxx  ');
    write('Volts: xxxx.xxx  Valor :  ');
    repeat
        Leitura_ad; cc := LeTeclado;;
    until cc = #27;
    LimpaTela;
    end;
'5' : begin
    SetColor(CorGet div 256);
    gotoxy(1,8);
    write('Dado Lido do Conversor : xxxxxx  xxxx  ');
    write('Volts: xxxx.xxx  Valor :  ');
    Leitura_cont;
    end;
'6' : Calibra;
'7' : Gera_Arq;
end;
if cc = '0' then begin
    gotoxy(1,21);write('Confirma Saidas do Sistema ? ( S/N) ');
    repeat
        cc := leTeclado;
    until (cc = 'S') or (cc = 's') or (cc = 'n') or (cc = 'N');
    if (cc = 'S') or ( cc = 's') then cc := '0';
    setColor(CorSay);
    gotoxy(1,21);clreol;
    end;
until cc = '0'
end.

```

4. CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO.

Para a construção do equipamento, foi utilizado inicialmente um circuito integrado LM 2917, conversor de frequência em tensão, cujo resultado é dado pela equação:

$$V_{out} = V_{in} * f_{in} * C * R$$

onde

V_{out} = Tensão de Saída, V;

V_{in} = Tensão de alimentação, V;

f_{in} = Frequência de entrada, Hz;

C = Capacitância (conjunto Vidro-Mercúrio-Cobre), Farad;

R = Resistor, Ohms.

O circuito foi alimentado com a tensão de 10 Volts, a frequência de 4 kHz foi fornecida por um circuito integrado NE555, a capacitância era variável, de acordo com a variação da altura de mercúrio, e o Resistor fixo.

Devido ao baixo valor da capacitância formada pelo conjunto mercúrio, vidro e cobre, a resposta do integrado LM 2917 era linear em alguns ensaios, porém não tinha repetibilidade. Nos ensaios efetuados por THONY & GEORGES (1979), a variação da coluna de mercúrio era em torno de 60 cm, ao passo que neste sensor a variação não ultrapassava 6 cm. Isso justifica a eficiência naquele ensaio e não em nossa experiência. Isso provocou o

abandono da construção deste tipo de sensor, partindo-se para outro projeto de construção do sensor.

Permanecendo a idéia da construção de um sensor capacitivo, partiu-se para se efetuar a leitura através de uma ponte de Wheatstone, alimentada por uma corrente alternada de 24 Volts pico a pico, e frequência de 600 Hz. Para se obter uma tensão de alimentação constante, foi construído um oscilador a partir das tensões de alimentação de todo o conjunto (+12 e - 12Volts), com tensão e frequência constantes.

Essa corrente alternada constante alimenta uma ponte de Wheatstone onde um dos braços da ponte é o capacitor variável de acordo com a altura da coluna de mercúrio, e os outros braços formados por capacitores de 56 pF, correspondentes ao menor valor de capacitância fornecido pelo conjunto mercúrio, vidro e cobre. A corrente fornecida pelo desbalanceamento da ponte foi amplificada em 20 vezes, através de um circuito integrado LM 358 M, e depois retificada, alimentando outro integrado LM 358 M, onde novamente foi amplificada. Esse amplificador foi construído de forma a se ajustar os valores de zero e de fundo de escala, para que a saída atingisse o valor de saída de 10 Volts. Com esses ajustes, é possível se efetuar quaisquer medições de variações de coluna d'água, ajustando-se o conversor para o valor mínimo de

coluna d'água para tensão de 0 Volts, e o valor máximo de coluna d'água para 10 Volts.

Pode-se também calibrar este sensor construindo-se coletores com funis de diâmetros diferentes, cuja relação entre esses diâmetros e as colunas de água e mercúrio é apresentada a seguir:

FIGURA 6 .Identificação dos elementos atuantes na pressão.

Considerando-se uma lâmina d'água de espessura L_a aplicada no funil de diâmetro D_f , o volume V_a da água coletada será :

$$V_a = \frac{L_a \cdot \pi \cdot D_f^2}{4} \quad (1)$$

Este volume sendo depositado no coletor de diâmetro D_c , proporcionará uma altura L_c que vale:

$$L_c = \frac{V_a \cdot 4}{\pi \cdot D_c^2} \quad (2)$$

Sendo os volumes V_a e V_c iguais, substituindo o valor de V_c da equação (1) em V_a de (2), tem-se:

$$L_c = L_a \cdot \left(\frac{D_f}{D_c} \right)^2 \quad (3)$$

Sendo as pressões nas superfícies dos líquidos em ambos os lados iguais, pode-se afirmar que:

$$13,6 \cdot H_i + L_0 + L_c = 13,6 \cdot (H_0 + L_g)$$

ou

$$L_g = \frac{L_c}{13,6} + \left(H_i - H_0 + \frac{L_0}{13,6} \right) \quad (4)$$

Sendo a segunda parte desta equação valores constantes em cada ensaio, e se pode fazer com que tenha o valor zero nos ajustes da tensão de saída do sensor, essa expressão pode ser resumida em :

$$L_g = \frac{L_c}{13,6}$$

Substituindo o Valor de L_c pelo valor obtido na equação (3) tem-se:

$$L_g = \frac{L_a}{13,6} \cdot \left(\frac{D_f^2}{D_c^2} \right) \quad (5)$$

Sendo, devido a construção, a variação máxima permitida na coluna de Mercúrio (L_g) de 60 mm, esta equação serve para determinar a relação entre os diâmetros do funil e dos coletores, em função da lâmina de água máxima fornecida durante o ensaio.

5. ENSAIOS.

Nos ensaios efetuados foram coletados os dados de altura de coluna d'água e tensão de saída do conversor, calibrando-se o aparelho com várias medidas de altura de coluna d'água, ajustando-se para cada ensaio os valores mínimos e valores máximos de tensão. Estes valores foram ajustados entre 0 e 10 Volts. Os valores obtidos são os seguintes:

5.1 - Intervalo da coluna de água entre 361 e 760 mm.

Neste intervalo de coluna de água, o sistema foi ajustado para tensões entre 0 e 9 Volts, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 1 - Intervalo da coluna de água entre 361 e 760 mm.

Coluna de água (mm)	Tensão gerada (Volts)	Coluna de água Calculada (mm)	Erro Absoluto	Erro Percentual
760	9.00	759.766	0.234	0.059
718	8.03	716.810	1.190	0.298
712	7.95	713.267	-1.267	0.317
643	6.33	641.525	1.475	0.370
628	6.02	627.797	0.203	0.051
619	5.86	620.712	-1.712	0.429
614	5.68	612.740	1.260	0.316
596	5.33	597.241	-1.241	0.311
589	5.14	588.827	0.173	0.043
570	4.70	569.341	0.659	0.165
565	4.65	567.127	-2.127	0.533
552	4.34	553.399	-1.399	0.351
537	3.96	536.571	0.429	0.108
527	3.73	526.385	0.615	0.154
520	3.58	519.742	0.258	0.065
509	3.32	508.228	0.772	0.193
500	3.13	499.814	0.186	0.047
495	3.00	494.057	0.943	0.236
491	2.96	492.286	-1.286	0.322
476	2.55	474.129	1.871	0.469
470	2.43	468.815	1.185	0.297
461	2.23	459.958	1.042	0.261
450	2.06	452.429	-2.429	0.609
432	1.64	433.830	-1.830	0.459
420	1.31	419.216	0.784	0.197
411	1.16	412.573	-1.573	0.394
409	1.07	408.588	0.412	0.103
407	1.00	405.488	1.512	0.379
399	0.89	400.616	-1.616	0.405
390	0.62	388.659	1.341	0.336
380	0.45	381.131	-1.131	0.283
370	0.17	368.731	1.269	0.318
361	0.00	361.203	-0.203	0.051

Coefficiente da regressão : 0,99986

Erro percentual médio : 0,271 %

5.2 - Intervalo da coluna de água entre 178 e 695 mm.

Neste intervalo de coluna de água, o sistema foi ajustado para tensões entre 0 e 7 Volts, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 2 - Intervalo da coluna de água entre 178 e 695 mm.

Coluna de água (mm)	Tensão gerada (Volts)	Coluna de água Calculada (mm)	Erro Absoluto	Erro Percentual
414	3.22	415.728	-1.728	0.334
382	2.74	380.300	1.700	0.329
358	2.46	359.633	-1.633	0.316
323	1.93	320.514	2.486	0.481
578	5.47	581.800	-3.800	0.735
695	7.01	695.467	-0.467	0.090
651	6.36	647.491	3.509	0.679
608	5.86	610.586	-2.586	0.500
521	4.62	519.062	1.938	0.375
465	3.86	462.967	2.033	0.393
412	3.18	412.776	-0.776	0.150
371	2.60	369.966	1.034	0.200
290	1.51	289.514	0.486	0.094
258	1.08	257.775	0.225	0.043
217	0.55	218.656	-1.656	0.320
178	0.00	178.061	-0.061	0.012
184	0.09	184.704	-0.704	0.136

Coefficiente da regressão : 0,99985

Erro percentual médio : 0,305 %

5.3 - Intervalo da coluna de água entre 161 e 733 mm.

Neste intervalo de coluna de água, o sistema foi ajustado para tensões entre 2 e 5 Volts, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 3 - Intervalo da coluna de água entre 161 e 733 mm.

Coluna de água (mm)	Tensão gerada (Volts)	Coluna da água Calculada (mm)	Erro Absoluto	Erro Percentual
194	2.17	193.638	0.362	0.063
281	2.64	283.447	-2.447	0.428
267	2.57	270.071	-3.071	0.537
235	2.38	233.765	1.235	0.216
639	4.51	640.772	-1.772	0.310
733	5.00	734.403	-1.403	0.245
702	4.83	701.918	0.082	0.014
709	4.85	705.740	3.260	0.570
192	2.17	193.638	-1.638	0.286
301	2.73	300.644	0.356	0.062
414	3.32	413.383	0.617	0.108
386	3.19	388.542	-2.542	0.444
358	3.02	356.058	1.942	0.339
347	3.00	352.236	-5.236	0.915
161	1.97	155.421	5.579	0.975
312	2.77	308.287	3.713	0.649
580	4.21	583.447	-3.447	0.603
699	4.80	696.186	2.814	0.492
651	4.53	644.594	6.406	1.120
604	4.30	600.644	3.356	0.587
521	3.91	526.122	-5.122	0.895
456	3.56	459.243	-3.243	0.567
412	3.34	417.205	-5.205	0.910
285	2.62	279.625	5.375	0.940
258	2.50	256.695	1.305	0.228
211	2.24	207.013	3.987	0.697
173	2.07	174.529	-1.529	0.267
188	2.15	189.816	-1.816	0.317

Coeficiente da regressão : 0,99969

Erro percentual médio : 0,474 %

5.4 - Intervalo da coluna de água entre 161 e 695 mm.

Neste intervalo de coluna de água, o sistema foi ajustado para tensões entre 0 e 9 Volts, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 4 - Intervalo da coluna de água entre 161 e 695 mm.

Coluna de água (mm)	Tensão gerada (Volts)	Coluna da água Calculada (mm)	Erro Absoluto	Erro Percentual
414	4.24	412.209	1.791	0.335
382	3.76	383.749	-1.749	0.327
358	3.36	360.032	-2.032	0.381
347	3.12	345.802	1.198	0.224
323	2.76	324.457	-1.457	0.273
161	0.00	160.812	0.188	0.035
312	2.52	310.227	1.773	0.332
578	7.06	579.411	-1.411	0.264
695	9.00	694.437	0.563	0.105
651	8.28	651.747	-0.747	0.140
608	7.52	606.685	1.315	0.246
521	6.05	519.526	1.474	0.276
465	5.12	464.385	0.615	0.115
412	4.26	413.394	-1.394	0.261
371	3.57	372.483	-1.483	0.278
290	2.17	289.475	0.525	0.098
258	1.62	256.865	1.135	0.213
215	0.94	216.546	-1.546	0.290
178	0.29	178.007	-0.007	0.001
184	0.37	182.750	1.250	0.234

Coeficiente da regressão : 0,99993

Erro percentual médio : 0,221

5.5 - Intervalo da coluna de água entre 190 e 712 mm.

Neste intervalo de coluna de água, o sistema foi ajustado para tensões entre 1 e 8 Volts, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 5 - Intervalo da coluna de água entre 190 e 712 mm.

Coluna de água (mm)	Tensão gerada (Volts)	Coluna da água Calculada (mm)	Erro Absoluto	Erro Percentual
712	8.00	711.675	0.325	0.062
700	7.82	698.287	1.713	0.328
621	6.77	620.190	0.810	0.155
656	7.22	653.660	2.340	0.448
635	6.96	634.322	0.678	0.130
622	6.79	621.678	0.322	0.062
599	6.52	601.596	-2.596	0.497
589	6.38	591.183	-2.183	0.418
562	6.01	563.663	-1.663	0.319
549	5.83	550.275	-1.275	0.244
536	5.66	537.631	-1.631	0.312
517	5.36	515.318	1.682	0.322
497	5.08	494.492	2.508	0.480
471	4.79	472.923	-1.923	0.368
458	4.61	459.535	-1.535	0.294
428	4.16	426.065	1.935	0.371
405	3.85	403.008	1.992	0.382
373	3.48	375.488	-2.488	0.477
364	3.35	365.819	-1.819	0.348
347	3.11	347.968	-0.968	0.185
329	2.83	327.142	1.858	0.356
301	2.49	301.854	-0.854	0.164
282	2.20	280.284	1.716	0.329
270	2.04	268.384	1.616	0.310
248	1.78	249.046	-1.046	0.200
220	1.40	220.782	-0.782	0.150
203	1.13	200.700	2.300	0.441
190	1.00	191.031	-1.031	0.198

Coeficiente da regressão : 0,99989

Erro percentual médio : 0,298 %

5.6 - Intervalo da coluna de água entre 390 e 643 mm.

Neste intervalo de coluna de água, o sistema foi ajustado para tensões entre 3 e 9 Volts, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 6 - Intervalo da coluna de água entre 390 e 643 mm.

Coluna de água (mm)	Tensão gerada (Volts)	Coluna da água Calculada (mm)	Erro Absoluto	Erro Percentual
643	9.00	642.759	0.241	0.095
628	8.63	627.167	0.833	0.329
619	8.41	617.896	1.104	0.436
614	8.35	615.368	-1.368	0.541
596	7.85	594.297	1.703	0.673
589	7.77	590.926	-1.926	0.761
580	7.55	581.655	-1.655	0.654
565	7.13	563.956	1.044	0.413
552	6.82	550.893	1.107	0.438
537	6.52	538.251	-1.251	0.494
527	6.27	527.715	-0.715	0.283
495	5.46	493.582	1.418	0.561
492	5.43	492.317	-0.317	0.125
476	5.06	476.725	-0.725	0.287
471	4.94	471.669	-0.669	0.264
461	4.65	459.448	1.552	0.613
433	4.04	433.742	-0.742	0.293
432	4.00	432.057	-0.057	0.022
420	3.68	418.572	1.428	0.565
411	3.53	412.251	-1.251	0.494
409	3.43	408.036	0.964	0.381
407	3.44	408.458	-1.458	0.576
399	3.20	398.344	0.656	0.259
390	3.00	389.916	0.084	0.033

Coeficiente da regressão : 0,99981

Erro percentual médio : 0,400 %

5.7 - Intervalo da coluna de água entre 288 e 760 mm.

Neste intervalo de coluna de água, o sistema foi ajustado para tensões entre 4 e 7 Volts, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 7 - Intervalo da coluna de água entre 288 e 760 mm.

Coluna de água (mm)	Tensão gerada (Volts)	Coluna da água Calculada (mm)	Erro Absoluto	Erro Percentual
288	4.02	289.828	-1.828	0.387
354	4.42	353.061	0.939	0.199
431	4.92	432.102	-1.102	0.234
468	5.14	466.881	1.119	0.237
502	5.34	498.497	3.503	0.742
493	5.30	492.174	0.826	0.175
555	5.70	555.407	-0.407	0.086
607	6.03	607.574	-0.574	0.122
670	6.46	675.550	-5.550	1.176
755	6.95	753.011	1.989	0.421
762	7.00	760.915	1.085	0.230

Coeficiente da regressão : 0,99976

Erro percentual médio : 0,364 %

5.8 - Intervalo da coluna de água entre 202 e 602 mm.

Neste intervalo de coluna de água, o sistema foi ajustado para tensões entre 2 e 8 Volts, obtendo-se os seguintes resultados:

Tabela 8 - Intervalo da coluna de água entre 202 e 602 mm.

Coluna de água (mm)	Tensão gerada (Volts)	Coluna da água Calculada (mm)	Erro Absoluto	Erro Percentual
575	7.60	574.431	0.569	0.142
570	7.54	570.440	-0.440	0.110
453	5.79	454.040	-1.040	0.260
400	4.94	397.503	2.497	0.624
348	4.18	346.952	1.048	0.262
278	3.16	279.108	-1.108	0.277
233	2.44	231.217	1.783	0.446
202	2.00	201.951	0.049	0.012
269	3.03	270.461	-1.461	0.365
351	4.28	353.604	-2.604	0.651
447	5.65	444.728	2.272	0.568
530	6.97	532.527	-2.527	0.632
602	8.00	601.037	0.963	0.241

Coefficiente da regressão : 0,99985

Erro percentual médio : 0,353 %

6 - CONCLUSÃO.

Baseado na metodologia apresentada e nos resultados obtidos dos ensaios pode-se concluir que:

- Existe uma relação linear entre a tensão em Volts e a altura da coluna de água sobre o sensor de pressão, onde a equação de ajuste apresentou correlação de 0,9999.

- Para os valores das amplitudes de variação de altura d'água utilizados em coleta de precipitação de aspersores o sensor de pressão pode ser ajustado para sinais de saída de 0 a 10 Volts.

- O sensor de pressão desenvolvido pode ser empregado para medir e registrar precipitação de aspersores de irrigação.

- A automação dos ensaios de aspersores é perfeitamente viável com a metodologia apresentada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

COELHO, R.D. Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas. Piracicaba, 1990. 141p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" / USP).

CHRISTIANSEN, J.E. The uniformity of application off water by sprinkler systems. **Agricultural Engineering**; St. Joseph, **22**(3) : 89-92, 1941.

DODI JUNIOR, C. Construção de um sistema coletor automático para Ensaio de microaspersores. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 1., Piracicaba, 1990. **Anais**. Piracicaba, SBEA, 1990. v1, p. 628.

FISHER G.R. & WALLENDER, W. W. Collector size and test duration effects on splinker water distribution measurements. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **31**(2):538-42, 1988.

BALASTREIRE L. A, **Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados em microcomputador**. Brasília, MIC/STI, 1990. 73 p.

NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. **Analog devices; data-acquisition data book 1982**. Sta.Clara, 1982, v.1.

NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. **Linear databook 1988**. Sta. Clara , 1988. v. 3.

SATTO, J. Avaliação do desempenho dos aspersores. São Carlos, 1978. 77p.
(Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos / USP).

SEGINER, I.; KANTS, D., NIR, D. ; BERNUTH, R. D. von. Indoor measurement of single-radius sprinkler patterns. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, **35**(2): 523-33, 1992.

SOLOMON, K. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. *Irrigation Science*, Ann Arbor, **5**: 161-72, 1984.

SPIESS M. Automated catchments for sprinkler testing. Internal report. Fresno, California State University / Center for Irrigation Technology, 1983.

THONY, J. L. & VACHAUD, G., Automatic measurement of soil-water pressure using a capacitance manometer, *Journal of Hydrology*, Amsterdam, **46**:189-96, 1980.

VICTORIA, F.R.B. Avaliação de aspersores com perspectiva de operação em baixa pressão, visando economia de energia e uso de energia

gravitacional para acionamento. Piracicaba, 1992 . 74p (Mestrado -
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz" / USP).