

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

Parecer.

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Jean Paulo Silva Ramos, e aprovada pela Comissão Julgadora em 16 de outubro de 1992. Campinas, 19 de outubro

ANÁLISE DE PERDA DE CARGA EM FILTROS DE TELA E DISCO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA UTILIZANDO UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

POR

JEAN PAULO SILVA RAMOS

Roberto Testezlaf
Presidente da Banca

Orientador :

Prof. Dr. ROBERTO TESTEZLAF

Dissertação apresentada em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola: Área de concentração: Água e Solos.

Campinas, SP

Outubro de 1992

Aos meus pais
Samuel e Maria Lina
dedico

À minha futura
esposa Marqueniz
ofereço

AGRADECIMENTOS

Agradeço à todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho, que de certa forma, são participantes tanto quanto o autor, e desta forma gostaria de dizer "muito obrigado" à :

Ao orientador e amigo Roberto Testezlaf pela paciência e confiança em nosso trabalho para que pudéssemos contribuir ao progresso da ciência e da agricultura.

À amiga Emilia Hamada pela ajuda na revisão bibliográfica sem a qual não seria possível o desenvolvimento do sistema.

Aos professores José Euclides Paterniani, Claudio Sverzut e Cheu Shau Chang da Faculdade de Engenharia Agrícola pela orientação durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Tarley Ariel Botrel do departamento de Engenharia Rural da Escola Superior Luiz de Queiroz pelas sugestões durante a elaboração do projeto.

À ISRATEC pela doação dos filtros de irrigação.

Ao técnico Gelson Espíndola de Souza, pela ajuda na

montagem do sistema.

Aos amigos Túlio Assunção Pires Ribeiro pelo apoio e demonstração de confiança, Ângelo Vieira dos Reis e Clovis Tristão pelo apoio em informática.

~~Às secretárias e amigas Ana Paula Montagner e Valdeci dos Santos Gonçalves pela paciência e amizade.~~

Ao pessoal do laboratório de protótipos do Departamento de Máquinas Agrícolas e ao amigo Valdir Aparecido da Silva pela ajuda na confecção do módulo de ensaio.

Ao CNPQ, FAPESP E FAEP pelo apoio financeiro.

SUMÁRIO

	PÁGINA
PÁGINA DE ROSTO	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ANEXOS	xi
RESUMO	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 Gerais	5
2.2 Especificos	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Irrigação localizada	6
3.1.1 Sistemas de Filtragem	10
3.1.2 Parâmetros de Projetos	13
3.2 Sistema de Aquisição e Análise de Dados ..	16
3.2.1 Hardware	18

3.2.2 Software	35
4 MATERIAL E MÉTODOS	38
4.1 Avaliação de Perda de Carga em Filtros ...	38
4.1.1 Local	38
4.1.2 Equipamentos	38
4.2 Sistema de Aquisição e Análise de Dados ...	43
4.2.1 Hardware	44
4.2.2 Software	58
4.2.3 Procedimento Operacional	60
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1 Análise de Perda de Carga nos Filtros	64
5.1.1 Filtros de Disco	65
5.1.2 Filtros de Tela	68
5.1.3 Comparação entre Mesh e Elementos Filtrantes	72
5.2 Hardware	74
5.3 Software	78
5.4 Avaliação Global do Sistema	79
6 CONCLUSÕES	81
7 RECOMENDAÇÕES	83
8 ANEXOS	85
9 SUMMARY	106
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1 Filtros de tela e de disco	12
2 Esquema do SAAD	18
3 Esquema da Ponte de Wheatstone	20
4 Esquema de um "strain gage"	20
5 Diagrama da distribuição de tensões na placa circular	23
6 Arranjo da Ponte de "strain gages" no transdutor	27
7 Esquema de Rotinas do SAAD	36
8 Detalhes do SAAD e do Módulo de Ensaio ..	39
9 Transdutor de Pressão	45
10 Diagrama de Barramento interno	53
11 Esquema de Montagem do SAAD	55
12 Esquema de funcionamento do SAAD	61
13 Curva de Perda de Carga para o Filtro de Disco - Mesh 120	66
14 Curva de Perda de Carga para o Filtro de Disco - Mesh 155	67

15	Curva de Perda de Carga para os Filtros de Disco - Mesh 120 x 155	68
16	Curva de Perda de Carga para o Filtro de Tela - Mesh 120	70
17	Curva de Perda de Carga para o Filtro de Tela - Mesh 155	70
18	Curva de Perda de Carga para os Filtros de Tela - Mesh 120 x 155	71
19	Curva de Perda de Carga para os Filtros de Tela e de Disco - Mesh 120 x 155 ...	72
20	Curva de Calibração do Transdutor 1	75
21	Curva de Calibração do Transdutor 2	75

LISTA DE TABELAS

TABELA

1	Diagrama de Ensaios	41
2	Diagrama de sinais elétricos da placa A/D	56
3	Análise de Água - Filtro Disco - Mesh 120	86
4	Análise de Água - Filtro Disco - Mesh 120	87
5	Análise de Água - Filtro Disco - Mesh 155	87
6	Análise de Água - Filtro Disco - Mesh 155	88
7	Análise de Água - Filtro Tela - Mesh 120	88
8	Análise de Água - Filtro Tela - Mesh 120	89
8	Análise de Água - Filtro Tela - Mesh 155	89
10	Análise de Água - Filtro Tela - Mesh 155	90
11	Análise de Variância da curva de calibra- ção do transdutor 1	91
12	Análise de Variância da curva de calibra- ção do transdutor 2	91
13	Resultados de Aferição dos Transdutores . de Pressão	92
14	Análise de Variância para a equação de perda de carga para o Filtro de Disco	

TABELA

	Mesh 120	93
15	Análise de Variância para a equação de perda de carga para o Filtro de Disco- Mesh 155	93
16	Análise de Variância para a equação de perda de carga para o Filtro de Tela - Mesh 120	94
17	Análise de Variância para a equação de perda de carga para o Filtro de Tela - Mesh 155	94
18	Resultado dos ensaios do Filtro de Disco - Mesh 120	95
19	Resultado dos ensaios do Filtro de Disco - Mesh 155	96
20	Resultado dos ensaios do Filtro de Tela - Mesh 120	97
21	Resultado dos ensaios do Filtro de Tela - Mesh 155	98
22	Características dos Filtros AMIAD	99
23	Diagrama de Mesh dos Filtros AMIAD	100

LISTA DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
I ANÁLISES DE ÁGUA	86
II TRANSDUTORES DE PRESSÃO	91
III ANÁLISE DE VARIÂNCIAS	93
IV RESULTADO DOS FILTROS	95
V CARACTERÍSTICAS DOS FILTROS	99
VI SOFTWARE DE AQUISIÇÃO	101
VII LAY-OUT DO SAAD	105

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar como se comporta hidraulicamente, em termos perda de carga e vazão, filtros de tela e disco instalados no cabeçal de controle de uma instalação de irrigação localizada, para tal utilizou-se de um Sistema de Aquisição e Análise de Dados, com sensores de pressão e vazão. Este sistema constitui-se basicamente de transdutores de pressão e vazão, condicionadores de sinal e conversores Analógico/Digital, acoplados a um micro-computador tipo IBM-PC.

Desenvolveu-se também os transdutores de pressão utilizados no sistema, que tiveram suas características de funcionamento avaliadas através da determinação das curvas de calibração.

O sistema desenvolvido apresentou bom funcionamento durante os ensaios não apresentando defeitos ou falhas que comprometessem a operação de aquisição e análise de dados.

Através dos resultados obtidos pode se afirmar que a perda de carga em função da vazão para os filtros de tela e

de disco, pode ser descrito matematicamente pelo modelo alométrico linear do tipo $H_f = aQ^b$, para o filtro limpo.

Verificou-se também que o filtro de disco apresentou valores de perda de carga superiores ao filtro de tela, para os mesh 120 e 155. Por outro lado, os elementos filtrantes com mesh 155 provocaram uma perda de carga superior aos de mesh 120 para os filtros de disco enquanto, para o filtro de tela esta diferença do valor de perda de carga não foi significativa.

1 - INTRODUÇÃO

A agricultura atual requer a adoção de diferentes técnicas para permitir maiores produções, garantindo bom rendimento por unidade de área. Neste caso a irrigação contribui decisivamente no sentido de obter melhor rendimento agrícola, quer por permitir a implantação de uma agricultura racional em zonas de clima árido ou semi-árido, quer por propiciar um melhor desenvolvimento das culturas em outras regiões.

Dentre os sistemas de irrigação atualmente utilizados no Brasil, a irrigação localizada é um dos sistemas que apresenta maior eficiência. Esta eficiência está associada ao tipo de equipamento utilizado na distribuição da água à planta. Este sistema de irrigação caracteriza-se basicamente, pela aplicação de água numa fração do volume do solo explorada pelas raízes da planta, de forma pontual ou em faixas contínuas, com distribuição pressurizada, através de pequenas vazões e curtos intervalos de rega, mantendo níveis ideais de umidade para a cultura.

A aplicação da água no solo com baixa vazão e alta frequência, condicionam aos emissores uma pequena secção de saída para o volume a ser aplicado. A restrição da área de

fluxo confere aos emissores uma alta sensibilidade ao entupimento, podendo este ser causado por partículas orgânicas ou inorgânicas suspensas na água de irrigação. A obstrução da passagem da água, nos emissores, feita por tais partículas interfere no comportamento hidráulico do equipamento afetando a vazão e a uniformidade de aplicação de água pelo sistema, aumentando os custos de operação e manutenção, necessitando inspecionar, substituir ou consertar emissores ruins. O entupimento está relacionado com a qualidade da água em termos do carregamento de sólidos suspensos, composição química e atividade biológica.

Na maioria dos casos a minimização de ocorrência de entupimento é possível através de uma filtragem efetiva das partículas em suspensão na água. A filtragem pode ser realizada através de vários tipos de filtros usados individualmente, ou agrupados, de forma a se obter uma melhor eficiência. Dentre os vários tipos de filtros utilizados destacam-se os filtros de tela e de disco, filtram ou reteêm a passagem de partículas sólidas inorgânicas, suspensas na água de irrigação.

A instalação de filtros, em sistemas de irrigação localizada, com o objetivo de evitar o entupimento dos emissores nas linhas de irrigação, faz com que ocorra uma variação do comportamento hidráulico do sistema ao longo do tempo. À medida que a vazão, fornecida ao sistema, atravessa os filtros, esta provoca a diminuição da área efetiva do filtro,

visto que o material sólido em suspensão se agrega ao corpo do elemento filtrante, formando uma superfície de partículas sólidas na parede da tela e do disco, acarretando a elevação da perda de pressão e a redução da vazão disponível no filtro, influenciando na altura manométrica e vazão do sistema.

A altura manométrica, vazão, tipo de filtro e qualidade de água utilizados no sistema são parâmetros de projeto intimamente ligados que justificam a necessidade do conhecimento hidráulico de filtros para irrigação localizada, visto que influenciam diretamente na eficiência do sistema, devendo-se portanto limitar esta perda de pressão a um valor que não cause a variação excessiva da vazão de projeto.

O conhecimento das curvas características de perda de carga em função da vazão através de ensaios experimentais, permite o dimensionamento correto do filtro para cada condição de projeto apresentado. Entretanto um dos principais problemas que ocorrem em ensaios hidráulicos que analisam estas variáveis é a baixa precisão e resolução apresentada pelos medidores, como manômetros de Bourdon e diferenciais de água e mercúrio, devido a instabilidade do sistema hidráulico.

O uso de Sistemas de Aquisição de Dados em ensaios hidráulicos está se difundindo rapidamente, principalmente pela difusão simultânea do uso de micro-computadores, tendo como objetivo de facilitar a obtenção dos dados e aumentar a confiabilidade dos ensaios.

Estes Sistemas de Aquisição e Análise de Dados permitem o monitoramento de variáveis físicas como pressão, vazão, temperatura e qualquer outra variável, que possa interessar, reduzindo significativamente o tempo de leitura, aumentando a precisão, confiabilidade, reduzindo também, os custos com mão de obra, possibilitando o estudo do comportamento hidráulico, dos componentes que compoem um sistema de irrigação localizada, de forma mais eficiente.

O presente trabalho pretende determinar como se comporta hidraulicamente, em tērmos de perda de carga e vazão, filtros de tela e disco no cabeçal de controle de uma instalação de irrigação localizada, utilizando-se de um Sistema de Aquisição e Análise de Dados computadorizado (SAAD), com sensores de pressão e vazão.

2 - OBJETIVOS

2.1 - GERAIS

Caracterizar hidraulicamente, em termos de perda de carga em função da vazão, filtros de tela e disco utilizados em sistemas de irrigação localizada.

2.2 - ESPECÍFICOS

a) Determinar e comparar o desempenho de filtros de tela e de disco, através da curva de perda de carga em função da vazão, sobre as mesmas condições experimentais, para diferentes mesh.

b) Desenvolver o protótipo de um transdutor de pressão de acordo com o modelo proposto por CHANG et al (1992) para funcionamento no SAAD.

c) Desenvolver e analisar o funcionamento de um Sistema de Aquisição e Análise de Dados computadorizado (SAAD).

3 - REVISÃO DE LITERATURA

3.1 - Irrigação Localizada

A irrigação localizada teve o início de sua utilização comercial em Israel no princípio da década de 70, expandindo-se rapidamente por todo o mundo. Em 1974 haviam 85000 ha de áreas utilizando-se deste tipo de irrigação, sendo que 42000 ha estavam nos Estados Unidos. A expansão do uso de tal técnica aconteceu principalmente devido a redução do custo, mediante o emprego de materiais mais baratos e pelo aumento significativo dos índices de uniformidade e eficiência de aplicação, JUAN (1985).

O mesmo autor define irrigação localizada como aquela que fornece à planta pequenas doses de água e com alta frequência, nas proximidades da zona radicular, proporcionando níveis ideais de umidade a cultura. A maneira racional com que a água é fornecida à planta, tanto evita que ocorram influências de alguns fatores externos, aumentando assim a uniformidade de aplicação, como não permite a existência de excessos ou desperdícios, proporcionando aumentos significativos de eficiência.

O conhecimento das características operacionais de tais sistemas, proporciona um melhor gerenciamento dos escassos recursos naturais disponíveis garantindo o uso racional destes.

Abbot, apud ZEIER, HILLS (1987) afirma que para os usuários de irrigação localizada o entupimento dos emissores é o maior problema.

NAKAYAMA, BUCKS (1981); Bralts et al, apud ZEIER, HILLS (1987) afirmam que a qualidade da água é crítica para a irrigação localizada, sendo que impurezas podem conduzir a obstruções de origem química, física e biológica nos emissores, resultando em uma aplicação desigual.

Segundo NAKAYAMA, BUCKS (1981) o maior problema relacionado com o entupimento parcial ou total dos emissores é a variação na vazão do sistema e como este efeito afeta a aplicação de água por todo o campo. A implicação básica é que o entupimento afeta não somente a adequação da irrigação para a planta, mas também a uniformidade de aplicação d'água. Estes autores afirmam que o entupimento pode causar sobre e sub-irrigação, isto é, os emissores entupidos não estarão aplicando às plantas sua parte de água, ao passo que aqueles não entupidos estarão aplicando mais do que sua parte adequada. O aumento no entupimento de 1 a 5% resulta nas mais drásticas trocas de vazões. Neste caso, 10% dos emissores com as menores vazões estarão aplicando aproximadamente a metade da vazão média.

Para MEYER (1985) além de areia, silte e argila, podemos ter como causas mais comuns de entupimento precipitados de carbonato de cálcio, compostos de fosfatos de cálcio, óxidos de ferro, limo bacteriano e crescimentos de algas.

De acordo com PADMAKUMARI, SIVANAPPAN (1985) o entupimento ocorre principalmente devido a presença de materiais orgânicos, carbonatos de cálcio precipitados e sais de magnésio encontrados na água de irrigação. Isto acontece devido a ação química causada pela mudança de temperatura e aumento do valor de PH da água.

Segundo VERMEIREN, JOBLING (1984) os materiais encontrados em emissores entupidos são os mais diversos, como: partículas de solo (areia fina e silte), carbonatos (principalmente CaCO_3), fagulhas metálicas, fragmentos de plásticos, algas, precipitados de fertilizantes, ferrugem (limo de ferro) e lodo de enxofre (sulfetos).

Os mesmos autores encontraram que fagulhas metálicas podem entrar nas linhas de irrigação através da corrosão de tubos metálicos usados na condução da água. O entupimento também pode ser causado por algas que se desenvolvem em reservatórios ou canais abertos, onde se proliferam quando há condições adequadas de luz e nutrientes.

Ferrugem (limo ferroso) pode desenvolver-se pela ação de bactérias ferruginosas que infectam a água, mesmo que o conteúdo de ferro na água seja baixo (menos de 1 ppm), sendo

comum poços estarem contaminados por estas bactérias.

Sulfetos (lôdo de enxofre), podem ocorrer da mesma maneira que ferrugem, em águas que contenham sulfetos, principalmente sulfeto de hidrogênio. Em águas superficiais geralmente não trazem problemas, podendo ocorrer com maior frequência em águas subterrâneas.

NAKAYAMA, BUCKS (1986) confirmam a presença de fagulhas de plástico em alguns gotejadores entupidos, as quais foram originadas de perfurações descuidadas, cortes e montagem do sistema.

ENGLISH (1985) descreveu os vários problemas de qualidade de água encontrados em sistemas de irrigação localizada. Em algumas situações, dois ou mais destes problemas podem estar presentes, dando aumento a procedimentos mais complexos. Dentre os principais encontramos:

a - presença de grandes partículas no suprimento de água;

b - presença de grandes carregamentos de silte e argila transportados no suprimento de água;

c - crescimento de limo bacterial no sistema;

d - crescimento de alga dentro do suprimento de água ou do sistema e;

e - precipitação de ferro, sulfato ou carbonato de cálcio;

O mesmo autor afirma em seu trabalho que bactérias podem produzir um lodo orgânico sulfuroso quando a água contém mais do que 0.1 mg/l de total de "sulfitos". Estas bactérias produzem massas de lodo branco os quais podem bloquear completamente os emissores.

3.1.1. - Sistemas de Filtragem

Estudiosos de sistemas de irrigação localizada e fabricantes de equipamentos tem escolhido dois caminhos para resolver os problemas de entupimento. Segundo Wilson, (1972); Solomon, apud BUCKS et al, (1979) o primeiro é desenvolver emissores que requeiram menos ou o mínimo possível de manutenção. De acordo com Ford, Tucker (1974); Mcelhoe, Hilton (1974) Nakayama et al (1977), apud BUCKS et al, (1979) um segundo caminho é a melhoria da qualidade da água antes de chegar aos emissores.

Em um sentido mais amplo, o sistema de filtragem é constituído pelo conjunto de tratamentos e operações efetuadas para limpar a água que será fornecida aos emissores de forma a evitar o entupimento dos mesmos.

Pode-se estabelecer 3 tipos principais de filtros :

Elementos de Pré-Filtragem

Realizam uma primeira limpeza da água de irrigação,

estão colocados sempre antes do cabeçal de controle, tendo como princípio básico a ação da gravidade, isto é, baseiam-se na sedimentação para a separação das partículas em suspensão na água.

Filtros de Tela e de Disco

Dispositivos que possuem como elemento filtrante um ou mais cilindros concêntricos de malhas, destinados a filtração física de partículas inorgânicas em suspensão na água de irrigação (Fig. 1). Possuem sua ação baseada no diâmetro de partículas suspensas na água e no mesh dos filtros de tela ou do filtros de disco, fazendo com que as partículas que tiverem seu diâmetro superior a do diâmetro do mesh fiquem retidas neste.

Quanto maior for o número de furos por polegada linear, menor será o diâmetro das partículas que passarão pelo filtro, porém seu custo será mais elevado, devido a maior dificuldade de fabricação. As malhas mais densas são mais susceptíveis ao entupimento, portanto, são sujeitas a um período menor entre operações de limpeza.

O material que se emprega na construção das malhas devem ser de aço inoxidável ou produtos plásticos, para evitar que sejam atacadas por substâncias corrosivas contidas principalmente nos fertilizantes.

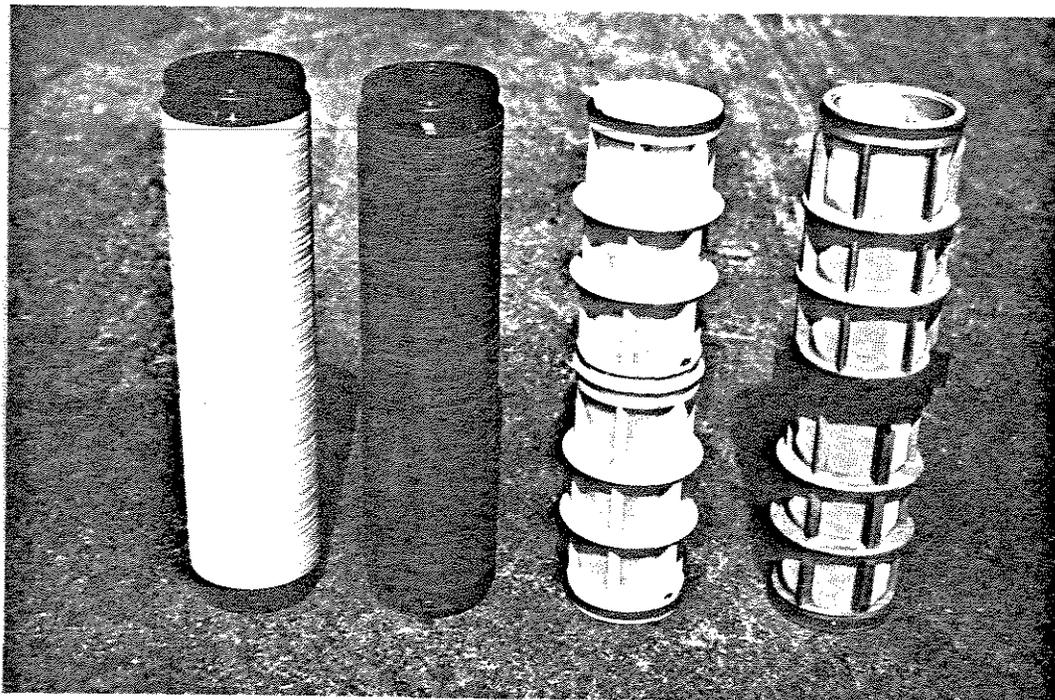


Fig. 1 - Filtros de tela e de disco

Filtros de Areia

Consiste de um depósito metálico, geralmente de forma cilíndrica e recoberta interiormente de uma capa anti-corrosiva. Em seu interior se colocam camadas de cascalho fino e areia de vários diâmetros sobrepostas entre si.

O fluxo através do interior deste filtro permite que fenômenos físico-químicos ocorram retendo partículas de silte, areia fina e principalmente partículas orgânicas, como algas.

Filtros Hidrociclone

Filtros utilizados na separação de partículas mais densas da água de irrigação. A separação é causada pela alta aceleração centrífuga gerada pela injeção tangencial da suspensão dentro do filtro hidrociclone, usados principalmente para filtragem de partículas inorgânicas.

3.1.2 - Parâmetros de Projetos

Segundo ZEIER, HILLS (1987) as seguintes considerações são necessárias para se obter um funcionamento adequado do sistema: a) selecionar um filtro que permita uma boa eficiência energética para uma dada vazão e para as características de perda de carga; b) localizar corretamente os filtros de tela ou disco no sistema para que ele retenha somente partículas inorgânicas; c) selecionar o filtro com capacidade de armazenamento de partículas suficientemente elevado para minimizar as operações de limpeza.

Na irrigação localizada os filtros de tela ou de disco estão geralmente instalados após os filtros de areia e dos injetores de fertilizantes, retendo assim as partículas não dissolvidas. Entretanto, estes filtros são ineficazes na retenção de matéria orgânica, microorganismos e partículas finas ou coloidais.

ADIN, ALON (1986) construíram um sistema experimental

simulando cuidadosamente condições de campo e manipulando parâmetros de campo como concentração de sólidos suspensos, velocidade de filtração, vazão, diâmetro do mesh. Os mesmos autores explicam o mecanismo de filtração em filtros de tela, utilizando a lei de Boucher para definir uma expressão matemática do crescimento exponencial da perda de carga em função do volume filtrado em uma tela de aço.

Esta lei assume a forma da seguinte equação:

$$H = H_0 \cdot e^{IV} \quad (1)$$

onde : H = perda de carga após filtrado um volume "v"

H₀ = perda de carga no filtro limpo

I = índice de filtrabilidade

(função características do filtro)

V = volume filtrado

Estes autores encontraram que apesar da maioria das partículas terem sido menores dentro de uma ordem de magnitude que o menor diâmetro do mesh da tela, mesmo assim ocorreu entupimento do filtro. Descrevendo que o fenômeno de entupimento é um resultado de mecanismos de "ponte" e de cimentação das partículas. Afirmando também que o tempo decorrido até o completo entupimento é função da concentração de sólidos suspensos na água, velocidade de filtração, e o diâmetro do mesh da tela.

NAKAYAMA et al, (1979) afirmam que a filtração em

filtros de tela com um diâmetro do mesh de um décimo da menor abertura do diâmetro dos gotejadores pode ser usado para prevenir a possibilidade de agrupamento ou ponte de partículas e diminuir a tendência das partículas inorgânicas de depositar-se nos emissores.

De acordo com FINKEL, (1982), os filtros de tela podem ser caracterizados pela relação efetiva de área, que é definida como a relação entre a área total das aberturas e a área total do filtro. Este valor está geralmente compreendido entre 0.25 e 0.40 assumindo geralmente o valor igual a 0.35. Este mesmo autor, recomenda que a área de abertura das telas deve ser igual a 1/4 da área de abertura dos emissores, e que a área requerida do filtro de tela pode ser calculada empiricamente, pela relação entre a área total das aberturas e a área transversal da tubulação de saída do filtro, devendo esta relação ser igual ou preferencialmente maior que 2 (dois).

ZEIER, HILLS (1987) afirmam que o diâmetro das partículas de areia presente na água é o fator determinante do entupimento dos filtros de tela, sendo que as partículas e areia fina são as que causam uma queda de pressão mais rápida no sistema, porque bloqueiam diretamente a área dos furos, enquanto as partículas de areia grossa necessitam preencher todo o volume do elemento filtrante para realizar o mesmo efeito.

A necessidade de limpeza dos filtros será sempre determinada pela queda de pressão entre extremos do filtro,

ou então por um tempo pré-determinado. A instalação de medidores de pressão na entrada e saída dos filtros não só permite a determinação do momento da limpeza como também são indicadores das condições de funcionamento da tela.

Alguns autores divergem com relação ao momento exato da limpeza dos filtros de tela. Enquanto KELLER, KARMELI (1974) afirmam que esta deve ocorrer quando a perda de carga no filtro de tela exceder a 20 KPa (2 mca) a perda de carga do filtro limpo, ZEIER, HILLS (1987) sugere que perdas de carga acima de 39.2 KPa (3.92 mca) devem ser evitadas, partindo da informação dos fabricantes, de que a perda de carga para filtros limpos é de 13.7 KPa (1.37 mca). Por outro lado NAKAYAMA, BUCKS (1986) recomendam que a limpeza é necessária para valores de perda de carga excedente a 35 KPa (3.5 mca) nos filtros de telas.

3.2 - Sistemas de Aquisição de Dados (SAAD)

A montagem de um Sistema de Aquisição e Análise de Dados (SAAD) através de micro-computador, em um primeiro momento pode-se demonstrar complexo, porém em uma análise sistemática o problema se transforma em componentes simples que formam um conjunto complexo.

Pode-se dizer que aquisitar dados e enviá-los ao micro-computador, nada mais é que a transformação de medidas de grandezas físicas em medidas de grandezas elétricas capazes

de serem decodificadas por um micro-computador, isto é, o interfaceamento entre variáveis físicas externas e variáveis lógicas internas ao micro-computador.

De uma forma mais simples "Aquisição de Dados" é a coleção de informações que descreve uma situação dada, obtida através do micro-computador, dentro de um intervalo de tempo apropriado.

Para que se possa captar estas grandezas e transportá-las quantitativamente para um micro-computador é necessário o uso de sensores e interfaces capazes de transformar as grandezas físicas em sinais digitais denominados bytes que podem ser compreendidos pelos circuitos lógicos de um micro-computador.

Para que o Sistema de Aquisição e Análise de Dados funcione é necessário a integração de inúmeros dispositivos que serão acoplados ao conjunto, responsáveis individualmente pela medida das variáveis, e que a soma das variáveis individuais aquisitadas pelo micro-computador permitirá a aquisição em tempo real e posterior processamento dos dados.

O Sistema de Aquisição e Análise de Dados de pressão e vazão, pode ser subdividido em partes menores, responsáveis pela aquisição e processamento da informação, tais como apresentadas na Fig. 2, onde pode-se observar que o SAAD pode ser dividido basicamente em duas partes : "Hardware" e "Software".

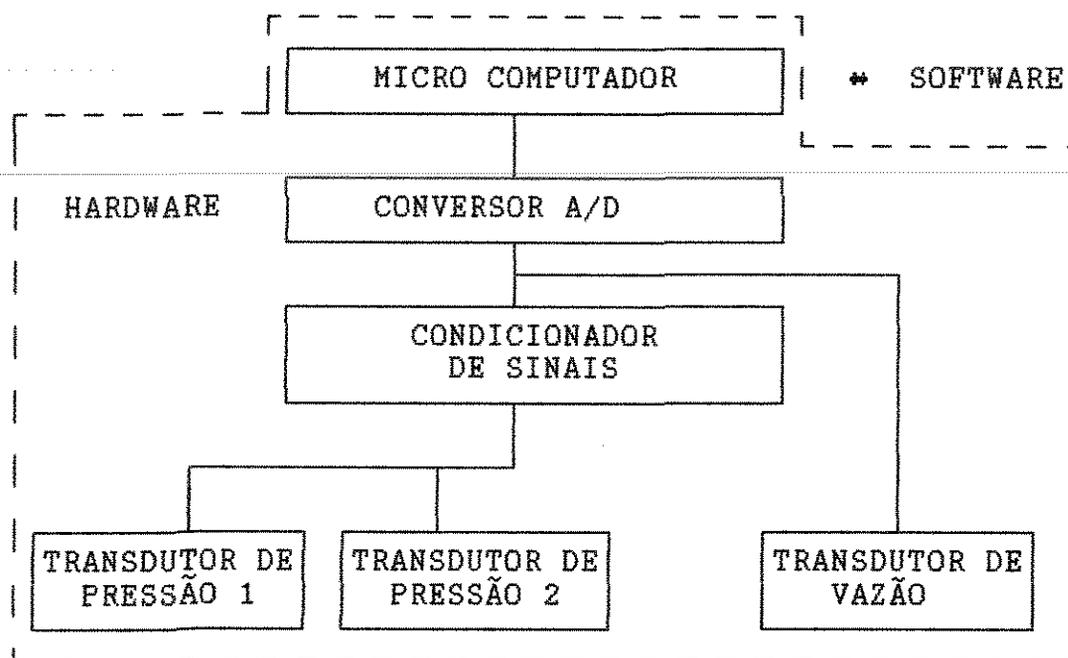


Fig. 2 - Esquema do SAAD

3.2.1 - Hardware

De maneira simples define-se o termo "Hardware" como sendo todos os equipamentos ou dispositivos físicos presentes em um sistema de computador. Este conceito pode ser ampliado à todas as partes físicas que compoem o SAAD. Desta forma o SAAD pode ser dividido em diversos componentes físicos, detalhados individualmente à seguir.

Transdutor de Pressão

Com o objetivo de medir a variável física pressão e enviá-la ao micro-computador é necessário o uso de um dispo-

sitivo que consiga medir a pressão e transformar esta variável hidro-mecânica em uma variável elétrica capaz de ser lida pelo micro-computador.

Segundo ZOERB (1964), pode-se definir transdutor como um dispositivo eletromecânico o qual produz uma saída elétrica proporcional ao fenômeno medido, por exemplo pressão. Em outras palavras, este converte qualquer forma de energia dentro de um equivalente elétrico de corrente ou voltagem.

O mesmo autor afirma que transdutores de pressão com saída de sinal elétrico tem uma considerável vantagem sobre transdutores de pressão com saída mecânica, particularmente para medidas de pressões que variam rapidamente (dinâmica).

Os transdutores de pressão com saída de sinal elétrico comumente utilizados são do tipo diafragma que se utilizam da deformação causada pela pressão em um disco circular engastado, que quando sofre um carregamento, provoca a deformação do disco. Sobre o disco é montada uma ponte de Wheatstone (Fig 3) que se utiliza de elementos sensitivos de tensão, denominados "strain gages".

Extensômetros ou "strain gages" são elementos sensitivos compostos de resistências elétricas que quando deformados provocam uma variação do sinal elétrico de sua saída (Fig. 4).

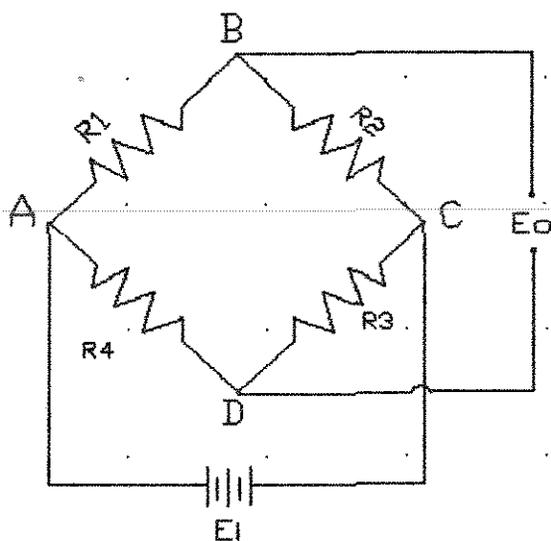


Fig. 3 - Esquema da Ponte de Wheatstone

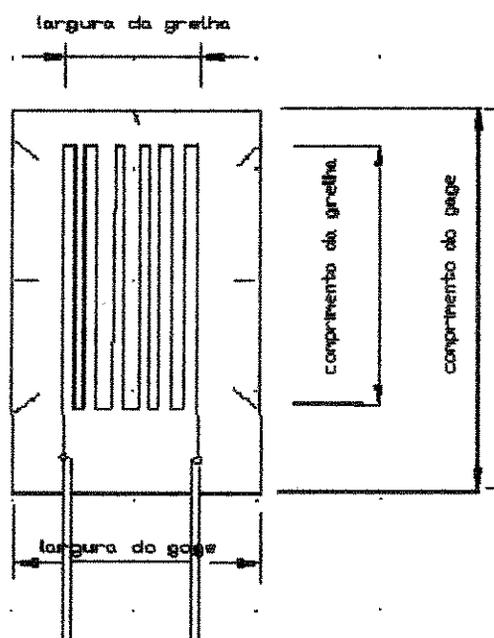


Fig. 4 - Esquema de um "strain gage"

A pressão atuante na parte inferior do disco dos transdutores provoca a deformação do mesmo e dos "strain gages". Estes convertem a variação de pressão em uma variável elétrica que após uma filtragem de ruídos e amplificação por um condicionador de sinais, transfere as variáveis de pressão para um conversor de sinais analógico/digital que converte o valor analógico contínuo em um valor digital discreto capaz de ser lido pelo micro-computador.

Os extensômetros devem ser colados solidariamente ao disco como uma peça única, capaz de captar as menores deformações e desta forma a mudança do estado de tensões do disco é capaz de sensibilizar os "strain gages", provocando uma variação na saída elétrica proporcional à deformação do disco.

A colagem dos extensômetros deve possibilitar que os mesmos possuam alta sensibilidade a variação de tensões no disco, desta maneira deve-se utilizar uma montagem em ponte completa, isto é com os quatro braços da ponte de Wheatstone ativos, capaz de captar a variação de tensão em todas as direções.

HAMADA (1989) desenvolveu uma metodologia de projeto de transdutores de pressão que utilizam extensômetros. Esta autora demonstrou que os princípios de resistência dos materiais regem o dimensionamento destes tipos de transdutores, visto que as deformações variam em função do tipo de material utilizado na confecção dos mesmos. Segundo

Roark (1965), apud HAMADA (1989) no projeto de transdutores tipo diafragma devem ser feitas as seguintes hipóteses:

1 - A placa deve ser plana, de espessura uniforme e de material isotrópico homogêneo

2 - A espessura não deve ser maior que um quarto da menor dimensão transversal e a deflexão máxima não deve ser maior que um quarto da menor dimensão transversal e nem maior que a metade da espessura.

3 - Todas as forças, cargas e reações, são normais ao plano da placa.

4 - Qualquer ponto da placa deve estar sujeito a tensão abaixo do limite de elasticidade.

Baseado no projeto desenvolvido por HAMADA, (1989); CHANG et al (1992) desenvolveram um protótipo de transdutor tipo diafragma. Estes autores afirmam que existem dois tipos de deformação envolvidos no carregamento do diafragma, eles são deformação radial (ϵ_r) e deformação tangencial (ϵ_t), sendo que para fins de dimensionamento do transdutor apenas a deformação radial é usada. Para uma distribuição de pressão uniforme, a deformação radial (ϵ_r) é dada por:

$$\epsilon_r = \frac{3P(1-\nu^2)}{8Et^2} (R_o^2 - 3r^2) \quad (2)$$

onde: P = pressão aplicada (N/mm²)

R_o = raio do diafragma (mm)

r = distância do ponto central a qualquer
ponto do disco (mm)

t = espessura do disco (mm)

ν = coeficiente de Poisson (adimensional)

E = módulo de elasticidade (Pa)

ε_r = deformação radial (μM/M)

Em r=0 existe uma máxima tensão-deformação atuando no centro do diafragma (Fig. 5) o qual é dado por:

$$\epsilon_{rt} = \frac{3PR_o^2(1-\nu^2)}{8Et^2} \quad (3)$$

ε_{rt} = máx. tensão-deformação da deformação radial(μM/M)

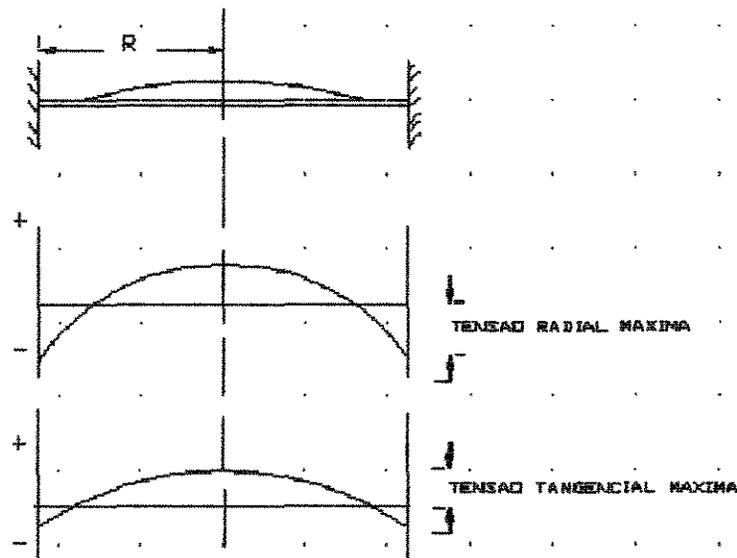


Fig. 5 - Diagrama de distribuição de Tensões na placa circular

Em $r = R_0$ existe uma tensão de compressão máxima na borda do disco, como segue:

$$\epsilon_{rc} = \frac{3PR_0^2(1-\nu^2)}{4Et^2} \quad (4)$$

ϵ_{rc} = máx. compressão-deformação da
deformação-radial ($\mu\text{M}/\text{M}$)

O ponto de tensão crítica a ser considerado é na borda do disco onde a tensão de compressão de ϵ_{rc} é máxima. A tensão aplicada (S_a) pode ser dada por:

$$S_a = \frac{-6PR_0^2}{8t^2} \quad (5)$$

O fator de segurança é dado por :

$$N = \frac{S_u}{S_a} \quad (6)$$

onde:

N = fator de segurança do diafragma projetado

S_u = tensão máxima admissível do material de
construção (N/mm^2)

S_a = máxima tensão aplicada nas bordas do
diafragma de disco (N/mm^2)

Segundo CHANG et al (1992) o fator de segurança para um carregamento estático é usualmente tomado ao redor de 3; para um carregamento dinâmico este pode ser de 5 a 10 dependendo da frequência aplicada envolvida. Com o objetivo de não se danificar o instrumento, a frequência de ressonância do material envolvido deve ser 3 a 5 vezes maior do que a máxima frequência aplicada no sistema de pressão dinâmica.

DALLY, RILEY (1984) afirmam que a frequência de ressonância para um diafragma projetado pode ser expressa pela equação seguinte, que possui suas variáveis definidas pelo Sistema Inglês de Unidades:

$$f_r = \frac{10.21}{a^2} \frac{\sqrt{GcEt^2}}{\sqrt{12(1-\nu^2)\rho}} \quad (7)$$

onde:

f_r = frequência de ressonância em (hertz)

Gc = constante gravitacional

(385.9 Lbm-in/lbf-s²)

t = espessura (in)

a = raio do diafragma (in)

ρ = unidade de peso do material de construção (lb/in³)

E = modulo de elasticidade (psi)

ν = coeficiente de poisson

A voltagem de saída e sua sensibilidade podem ser calculadas por :

$$\Delta V = \frac{V_o}{4} F (\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4) \quad (8)$$

ou

$$\Delta V = V_o F (\epsilon_{xt} + \epsilon_{xo}) \quad (9)$$

onde $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$ são tensões tomadas pelos "strain gages" R_1, R_2, R_3, R_4 , respectivamente.

F = fator do "strain gages" (para propósitos gerais $F=2$)

V_o = fonte de voltagem mV ou μV Corrente Contínua DC (pode ser 5,6,10,12)

ΔV = voltagem saída em mV or μV

A equação (8) mostra através do denominador que o arranjo da ponte de "strain gages" é uma ponte completa com quatro braços ativos e dá uma compensação de temperatura completa.

Através da colagem dos "strain gages" no ou próximo dos pontos de máxima deformação de tensão e compressão, os quatros braços sensitivos da ponte de Wheatstone podem ser arranjados de acordo com a Fig. 6.

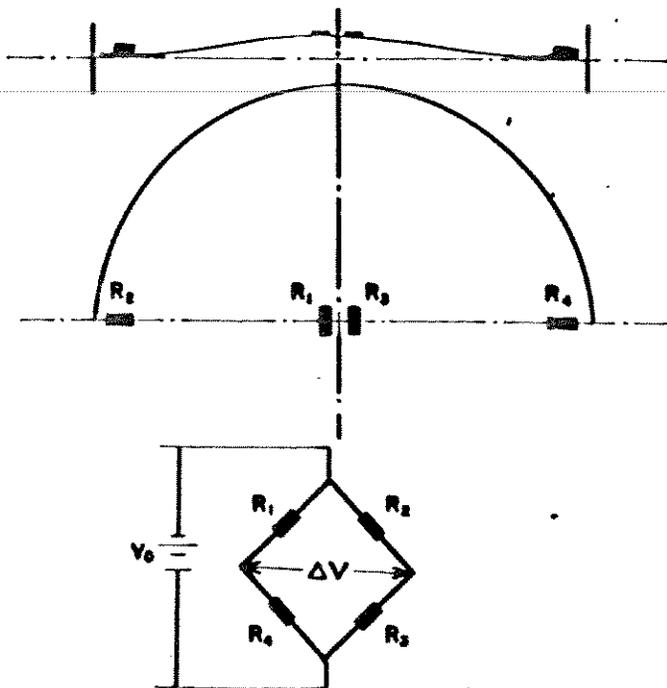


Fig. 6 - Arranjo da Ponte de Strain Gages no Transduto

A escolha deste tipo de transdutores deve-se basicamente as características apresentadas, tais como capacidade de registro e a rapidez de leitura do sinal lido.

Transdutor de Vazão

Assim como a variável pressão, a variável vazão tem extrema importância na análise do comportamento hidráulico de

que estas interagem entre si. Portanto, para aplicação no SAAD, é necessário quantificar a vazão através de um transdutor que a transforme em um sinal elétrico proporcional, que possa ser captado por um micro-computador.

Neste caso, o uso de transdutores magnéticos indutivos de vazão possibilita a transformação da grandeza física em um sinal elétrico. CONAUT¹ (1991) afirma que estes sistemas funcionam baseado na lei de Faraday: " Num condutor com uma velocidade "V" cortando a linha de indução de um campo magnético "B", é induzida uma tensão "U" proporcional à velocidade e ao comprimento do condutor". No caso do medidor magnético, é gerado um campo magnético através da passagem de corrente nas bobinas e o condutor é o fluido de medição, onde o comprimento do condutor é o diâmetro do tubo. A tensão induzida é medida através de dois eletrodos, situados (diâmetralmente opostos) no tubo de medição.

O campo magnético resulta na aplicação de corrente nas bobinas do medidor, proveniente do gerador de pulsos de corrente. O sinal gerado pela velocidade do fluido no tubo é captado através de dois eletrodos em contato permanente com o fluido. Este sinal é acoplado capacitivamente a um amplificador diferencial de alta impedância. A seguir passa através de um circuito de "sample and hold", o qual é excitado por pulsos de amostragem provenientes do gerador de pulsos. O

¹ - As marcas comerciais referenciadas neste trabalho não indicam recomendação do autor

sinal resultante em tensão contínua, é então aplicado ao conversor de tensão/corrente, resultando em um sinal de tensão/frequência. Estes pulsos são então divididos, resultando em saídas de pulsos diretamente na forma de frequência.

Condicionador de Sinais

Segundo DOEBELIN (1983) o sinal elétrico produzido pela maioria dos transdutores são de uma ordem de magnitude muito baixa de tensão para serem captados por um micro-computador. Os micro-computadores trabalham com circuitos lógicos, os quais são alimentados com tensões da ordem de 0 a 5V, desta forma faz-se necessário o uso de um dispositivo que trate os sinais que saem dos transdutores e os transformem a níveis aceitáveis pelo computador.

Segundo ZUCH (1977) os transdutores produzem um sinal de saída de baixo nível, os quais devem ser amplificados antes de qualquer processamento. Cada saída do amplificador é filtrada para remover ruídos do sinal e prevenir erros no processo de amostragem.

Para que se possa trabalhar com o sinal fornecido pelos transdutores é necessário o uso de um condicionador de sinais que é um sistema projetado de forma a realizar o processamento dos sinais elétricos liberados pelas células extensométricas, filtrando e amplificando os mesmos. Os circuitos des-

tes condicionadores de sinais se baseiam principalmente em componentes denominados amplificadores operacionais, que fazem o processamento do sinal elétrico de uma dada frequência de sinal.

MITCHELL, McLURE (1975) definem o termo "Condicionamento de Sinais" como qualquer operação que manipule um sinal elétrico. Isto inclui filtragem, amplificação, computação, simulação e circuitos de controle

Estes equipamentos devem ter balanceamento de zero para obter o equilíbrio da ponte de extensômetros, isto é, deve-se fazer com que o sinal de saída da ponte seja nulo quando não houver nenhuma carga sobre os transdutores e ganho ajustável ou fator de amplificação, independente para cada canal, visto que as sensibilidades das células podem não ser as mesmas.

DOEBELIN (1983) define o ganho como o fator de amplificação do sinal de saída em relação ao sinal de entrada (Equação 9), isto é, os sinais elétricos gerados por alguns transdutores possuem pequena amplitude e frequentemente não estão apropriados para serem aplicados diretamente ao dispositivo de leitura e gravação, neste caso utiliza-se de um amplificador para aumentar a magnitude do sinal de entrada sendo especificado pelo ganho que o sinal deve ter.

$$\theta_o = G \cdot \theta_i \quad (10)$$

onde: θ_o = sinal de saída (mV)

G = ganho do amplificador

θ_i = sinal de entrada (mV)

MITCHELL, McLURE (1975) afirmam que os filtros são usados para atenuar ruídos indesejáveis ou componentes de sinal que tem um conteúdo de frequência diferente daquele sinal de interesse.

O sinal de saída de cada canal, pode ser visualizado em voltímetros incorporados ao circuito e também devem estar disponíveis na forma de saída analógica de tensão, onde será transferido para o sistema conversão analógico/digital e posteriormente transmitido para o micro-computador.

Antes que os sinais dos extensômetros sejam transferidos para o micro-computador, deve-se proceder a operação de calibração do sinal de saída dos extensômetros e da pressão de entrada dos transdutores, confeccionando uma curva de calibração tanto a nível estático quanto dinâmico.

Conversor de Sinais Analógico/Digital

Segundo FUNDAÇÃO DE PESQUISA E ASSESSORAMENTO À INDÚSTRIA (FUPAI) (1988) os conversores analógico-digitais são circuitos ou componentes que excitados por uma corrente ou tensão produzem um código digital equivalente.

Os conversores Analógico/Digitais (CAD) produzem uma saída codificada a qual muda de 1 "bit" menos significativo (LSB) representando algum incremento ou decremento tensão ou corrente de entrada. Os CAD's são usados para compatibilizar o interfaceamento entre instrumentos digitais ou com-

putadores com o mundo analógico.

O sistema de interface analógico/digital possibilita a um micro-computador realizar todas as funções de um grande sistema de controle e instrumentação, por pequena fração de seu custo. O elo de ligação entre os sinais elétricos analógicos (voltagem) para o formato de sinais digitais, capazes de serem lidos pelo micro-computador, deverá ser fornecido por um conversor analógico/digital que fará a ponte entre os dois sinais. Estes sistemas oferecem baixo custo e alto desempenho através de técnicas de utilização simples.

Em virtude de um significativo grau de padronização entre fabricantes de computadores pessoais e de sistemas de aquisição de dados e controle, não existem problemas de compatibilidade na implementação de um sistema de aquisição e controle de dados, usando uma fração de tempo e dinheiro anteriormente necessários.

ZUCH (1977) afirma que a maioria dos conversores A/D utilizados, especialmente para controle de sistemas, é do tipo de aproximações sucessivas, com precisão e tem um tempo de conversão suficiente para manipular um grande número de canais, e para aplicações em sistemas de medida de alta velocidade.

De acordo com DOEBELIN (1983), os conversores A/D na maioria das aplicações práticas empregam um dos dois tipos de conversão usuais: sucessivas aproximações ou integração. A conversão através do método de sucessivas aproximações tem a

vantagem de rapidez sobre a conversão por integração.

Segundo FUPAI (1988) o conversor A/D do tipo aproximações sucessivas é a técnica mais comumente utilizada possuindo a vantagem de poder ser implementada por software. A operação deste conversor é baseada em n comparações sucessivas entre a entrada analógica, V_{in} , e a tensão de realimentação, V_f . Este processo é igual ao processo de pesagem em uma balança na qual o peso desconhecido é comparado um peso padrão. A primeira comparação determina se V_{in} é maior ou menor que $1/2 V_{msx}$, onde V_{msx} é a máxima tensão possível na entrada do conversor A/D. A seguir determina-se se V_{in} é maior ou menor do que $1/4$ do intervalo em que V_{in} se encontra; cada passo executado estreita a faixa do resultado por um fator de dois.

DOEBELIN (1983) descreve que a conversão por sucessivas aproximações inicia-se quando um comando de início de conversão é aplicado ao conversor A/D, este coloca o "bit" mais significativo (MSB) para comparação com o sinal de entrada analógico. Se a entrada for maior que o MSB, este permanece ligado, isto é (o valor 1 é assumido no registrador de saída) e então o "bit" menor mais próximo é testado; se a entrada é menor do que MSB, o MSB é então desligado (o valor 0 é assumido no registrador de saída) e então o "bit" menor mais próximo é testado. Se o segundo "bit" não adiciona um peso suficiente para exceder a entrada, este é deixado ligado e o terceiro "bit" é testado. Se o

segundo "bit ultrapassa a escala" em muito, o valor então é levado a zero e o terceiro "bit" é testado. Este processo é contínuo, em ordem descendente de peso de "bit", até que o último "bit" tenha sido testado, onde neste ponto a linha de estado muda e indica que o conteúdo do registrador de saída constitui uma conversão válida.

Segundo FUPAI (1988) existem duas maneiras diferentes para se conectar qualquer sistema de aquisição de dados à um computador hospedeiro ("Host"): conexão direta ao barramento do computador pessoal (produtos com barramento interno) ou conexão via um canal de comunicação Standard tal como RS-232, RS-422 ou IEEE-488 (produtos com barramento externo).

Segundo os mesmos autores cada método apresenta vantagens e desvantagens em relação ao outro. No caso do uso de produtos com barramento externo o Sistema de Aquisição de Dados e Controle pode ser colocado remotamente do computador "Host", próximo aos sinais de campo, podendo ser interfaceado a qualquer micro-computador que possua a comunicação com padrões do tipo RS-232, RS-422 e IEEE-488, porém necessitam ter caixas com fontes próprias além de seu próprio micro-processador.

Os produtos com barramento interno obrigam que o computador "Host" esteja próximo aos sinais de campo, dispensando fontes e micro-processador próprios, visto que se utilizam do sistema do próprio micro-computador a que estão acoplados economizando espaço e dinheiro. Estes sistemas evi-

tam o uso de protocolos dos canais de comunicação, tornando-se assim rápidos em consideração aos produtos com barramento externo.

As placas conversoras A/D, acopladas ao barramento do micro através de uma interface adaptadora, necessitam a seleção de um "PORT" disponível dentro do micro-computador, capaz de informar ao sistema que existe um novo periférico acoplado ao mesmo. Todos os computadores PC possuem endereços de entrada e saída, denominados "PORTS", que são responsáveis pelo controle de um dispositivo periférico que esteja acoplado ao micro-computador. O número de "PORTS" existentes dentro do micro-computador é bem superior ao número de ports ocupados, necessitando então apenas descobrir um bloco de "PORTS" consecutivos disponíveis dentro do micro-computador, variando o tamanho do bloco em função da arquitetura de cada placa.

3.2.2 - Software

O "Software" ou programa pode ser descrito como um conjunto de instruções, ordenadas segundo uma lógica, capaz de informar aos circuitos integrados de um micro-computador, como obter os dados, processar as informações e posteriormente armazená-las dentro de um sistema.

O conversor A/D é um circuito eletrônico, anexado ao barramento (bus) do micro-computador através do "slot" e seu funcionamento esta submetido as instruções contidas dentro do

"Software".

Uma vez o "Software" carregado dentro da parte interna da memória volátil do micro-computador (RAM) é possível, através de instruções específicas, ler os sinais fornecidos pelo condicionador. O programa determina quais são os canais a serem lidos e qual a frequência de leitura dos mesmos.

O "Software" pode ser considerado como um conjunto de rotinas independentes capazes de realizar funções específicas. Na aquisição dos dados podemos descrever como rotina principal de obtenção de dados, aquela que faz a multiple-xagem de canais, ou seja, aquela que define os canais à serem lidos.

As rotinas complementares auxiliam a rotina principal na aquisição dos dados e no seu processamento definindo a estrutura do programa. Em uma análise simplificada, a Fig. 7, demonstra as rotinas de um sistema de aquisição de dados.

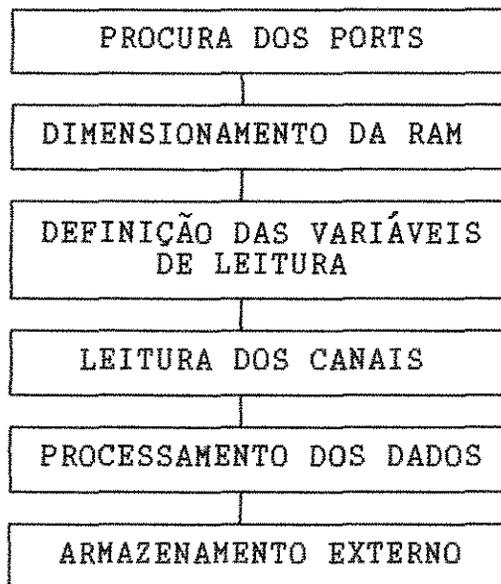


Fig. 7 - Esquema de rotinas do SAAD

O "Software" faz a leitura dos canais e endereça os respectivos dados de cada canal às matrizes vetoriais, as quais seguram os dados, para posterior armazenamento em disquetes magnéticos.

O armazenamento dos dados em arquivos, dentro de disquetes magnéticos, tem como objetivo principal a otimização das operações de tratamento de dados dos ensaios, diminuindo o tempo de análise dos mesmos, assim como a verificação posterior dos dados em caso de dúvida das respostas.

4 - Material e Métodos

4.1 - Avaliação de Perda de Carga em Filtros

4.1.1 - Local

No campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas foi montada uma bancada de ensaios utilizando-se de um cabeçal de controle de um sistema de irrigação localizada e instrumentos de medição de variáveis físicas acoplados ao SAAD, conforme Fig. 8 e lay-out apresentado no Anexo VII.

Os ensaios preliminares e finais foram realizados durante os meses de agosto a setembro de 1992.

4.1.2 - Equipamentos

O sistema de filtragem, parte essencial da bancada de ensaios, foi composto de um filtro de areia, com a função de reter parte do material orgânico em suspensão, e à jusante deste um filtro de tela, tendo como elementos filtrantes tela cilíndrica ou de discos, revezando-se em função do tipo de

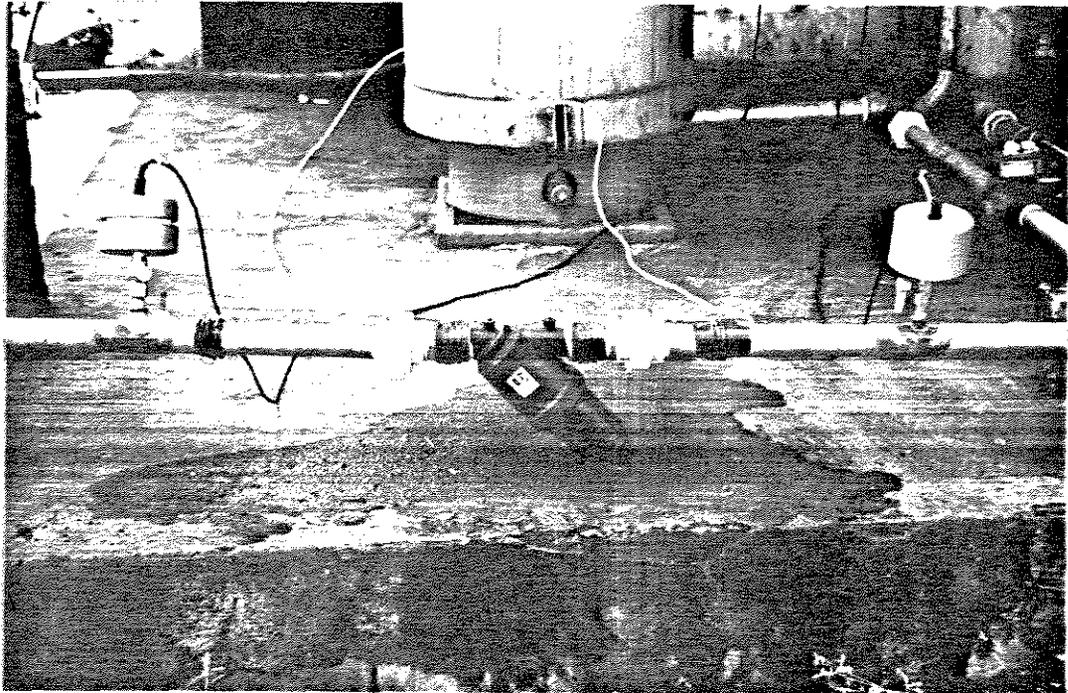


Fig. 8 - Detalhes do SAAD e do Módulo de Ensaio

ensaio.

Para pressurizar o sistema foi utilizado um conjunto moto-bomba composto de uma bomba centrífuga da marca Worthington tipo D820 2X1X6 acoplada a um motor elétrico de 5 cv bipolar da marca Kohlbach a 3500 rpm.

A água utilizada nos ensaios era proveniente de um reservatório de 2500 m³/h revestido com lona plástica abastecido por um lago.

Ensaio dos Filtros

Os ensaios foram realizados utilizando-se do SAAD, onde variou-se a vazão, o elemento filtrante e o mesh destes. Foram ensaiados, no mesmo corpo do filtro, dois tipos de elementos filtrantes, disco e tela cilíndrica, e cada um com dois diâmetros de malha diferentes, mesh 120 e mesh 155.

O uso elementos filtrantes com números de mesh 120 e 155 ocorreu unicamente em função das facilidades de obtenção destes "meshs" no mercado comercial.

Cada ensaio foi repetido três vezes de forma a reduzir os erros experimentais. O esquema de ensaios realizados está apresentado na tabela 1.

As especificações dos filtros utilizados, de acordo com AMIAD (1991) encontram-se no anexo VI.

Tabela 1 - Diagrama de Ensaio

DIAGRAMA DE ENSAIOS			
FILTROS DE TELA		FILTROS DE DISCOS	
MESH 120	MESH 155	MESH 120	MESH 155
REPETIÇÃO 1	REPETIÇÃO 1	REPETIÇÃO 1	REPETIÇÃO 1
REPETIÇÃO 2	REPETIÇÃO 2	REPETIÇÃO 2	REPETIÇÃO 2
REPETIÇÃO 3	REPETIÇÃO 3	REPETIÇÃO 3	REPETIÇÃO 3

Afim de facilitar a troca do elemento filtrante, utilizou-se de duas (2) uniões, visto que quando se trocava do tipo de elemento filtrante era necessário a inversão do corpo do filtro pois o sentido do fluxo que atravessa o elemento é contrário para os elementos de disco e tela.

A vazão foi regulada à jusante do filtro de areia através de um registro de gaveta e seus valores monitorados através da saída analógica do transdutor de vazão. O registro de gaveta foi posicionado para a vazão inicial de 2 m³/h e ajustado em cada ponto de vazão de modo a incrementar de 1 m³/h até uma vazão final de 17 m³/h.

O SAAD foi ligado 30 minutos antes da realização dos ensaios para estabilização térmica dos componentes eletrônicos que fazem parte do sistema. Antes de cada ensaio foi realizado a retrolavagem do filtro de areia, o ajuste de zero do condicionador de sinais dos transdutores de pressão assim como o ajuste de ganho, visto que a curva de calibração serve para um valor de referência de 300 mV de saída no

terminal de saída.

Durante os ensaios entre cada ponto de vazão foi utilizado um tempo de estabilização do regime hidráulico de cinco minutos.

O "software" fez a leitura dos três canais, de pressão e vazão, com uma diferença não significativa de tempo de leitura entre os canais. Em cada ponto de vazão era verificada 30 vezes cada canal, constituindo assim uma amostra com 90 dados dos três canais, dois de pressão e um de vazão, fazendo-se então a média aritmética dos valores lidos em cada canal.

Ao término de cada leitura dos canais era feito o armazenamento dos dados em disquetes magnéticos, permitindo o interfaceamento com qualquer software que se queira.

Os dados experimentais armazenados nos ensaios foram ajustados à uma curva através do programa de regressão denominado "Ajuste" do Centro de Ensino e Pesquisa em Agricultura da Universidade Estadual de Campinas, utilizando-se a média aritmética dos 30 dados de cada canal de pressão e vazão.

Durante a realização dos ensaios observou-se que a primeira repetição dos ensaios apresentaram valores diferentes das demais repetições indicando, um erro sistemático. Este comportamento ocorre em virtude de um tempo inicial de acomodação do sistema às condições de ensaio, fazendo-se necessário que haja o descarte da primeira repetição de cada tratamento.

Antes e depois de cada ensaio foram retiradas amostras de água, em dois pontos de coleta, antes do filtro de areia e após o filtros de tela, os quais estão indicados no "lay-out" apresentado no anexo VII. A coleta da água dos ensaios para análise visou verificar se houve variação da qualidade da água durante os ensaios. Foram analisados quatro parâmetros de qualidade de água, condutibilidade elétrica, turbidez, ph e temperatura e os resultados encontram-se no anexo I.

4.2 - Sistema de Aquisição e Análise de Dados

O Sistema de Aquisição e Análise de Dados (SAAD) pode ser descrito como um sistema eletro-mecânico que faz a transformação das variáveis físicas de interesse em variáveis lógicas, possíveis de serem armazenadas dentro de um micro-computador.

Cada componente do SAAD tem um objetivo específico, que integrados, são capazes de colocar as informações disponíveis ao processamento. O sistema desenvolvido pode ser dividido em duas partes: "Hardware" e "Software".

O "Hardware" é composto dos seguintes componentes físicos: transdutores de pressão e de vazão, condicionador de sinais, conversor analógico e digital e micro-computador tipo IBM-PC.

O "Software" pode ser definido como um conjunto de

instruções que devidamente dispostas, formarão um conjunto extra do sistema, denominado comumente de programa de computador.

A caracterização dos componentes permitirá a visualização da forma de definição de cada parte e o funcionamento global do sistema.

4.2.1 - Hardware

Transdutor de Pressão

Foi projetado e contruído, no Laboratório de Protótipos da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), um transdutor de pressão do tipo diafragma, Fig. 9, segundo HAMADA (1989) e, CHANG et al (1992). O transdutor, composto de três partes distintas, tem como elemento ativo o disco intermediário (diafragma) que engastado às duas outras partes formam um cilindro sensor de pressão. Sobre o disco é montada uma ponte de Wheatstone completa, com os quatros braços ativos, podendo medir a deformação em todas as direções.

A colagem dos extensômetros foi realizada seguindo as especificações técnicas do fabricante do adesivo, de modo a proporcionar a melhor aderência e garantir a solidariedade entre o disco e a ponte de "strain gages", e a sensibilidade do transdutor. Os "strain gages" foram colados a 5 e 35 mm do centro do disco, conforme mostra a figura 8.

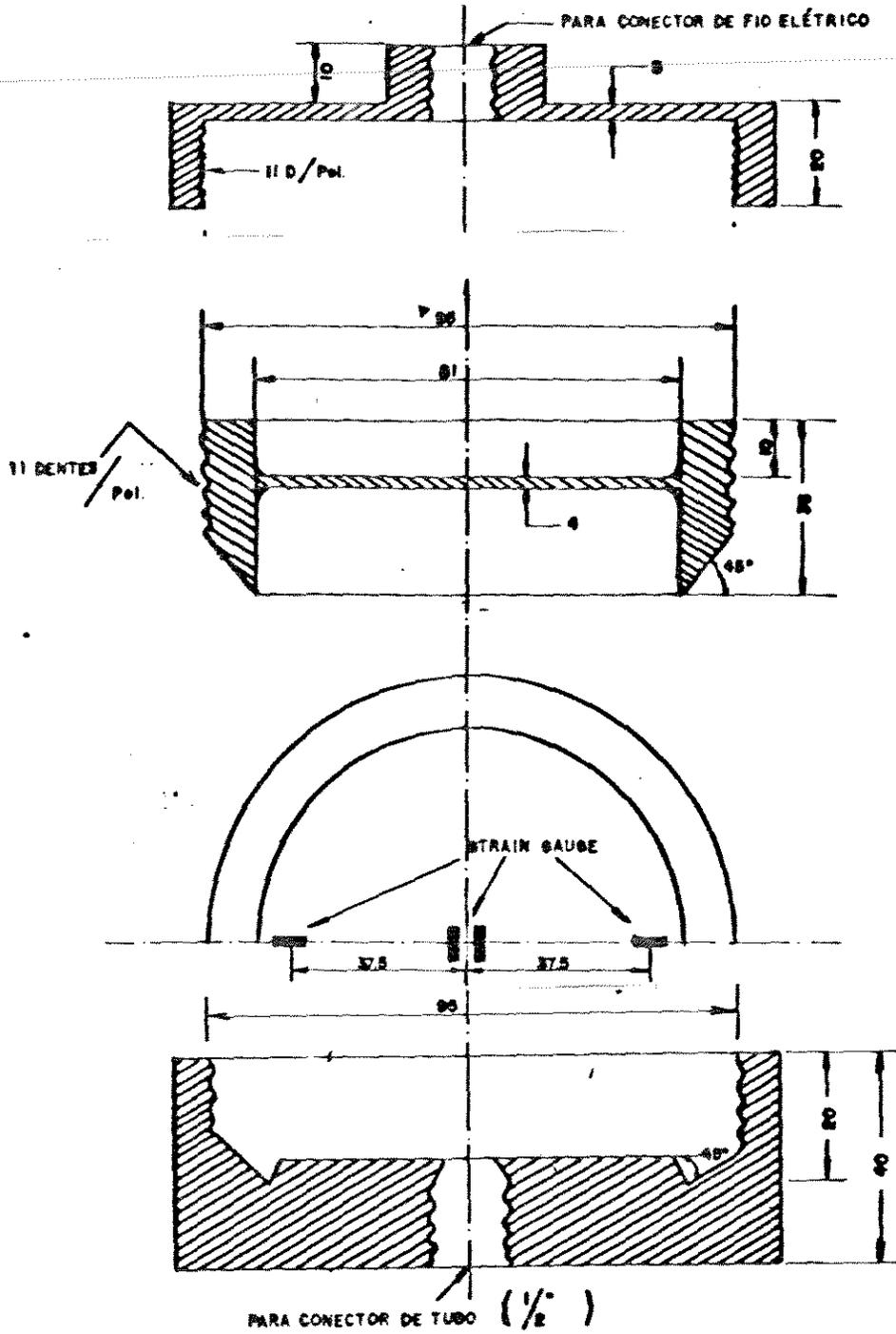


Fig. 9 - Transdutor de Pressão

O dimensionamento do transdutor de pressão foi baseado nos princípios de resistência dos materiais. O material utilizado na confecção do corpo e disco sensitivo do transdutor de pressão foi o alumínio 6351-T6, cujas propriedades mecânicas são :

limite de resistência a tração : $\sigma_{rt} = 290 \text{ N/mm}^2$

limite de escoamento $\sigma_e = 255 \text{ N/mm}^2$

e as constantes físicas do material são :

Módulo de Elasticidade , $E = 71 \text{ GPA}$

Módulo de Rigidez , $G = 26.2 \text{ GPA}$

Coefficiente de Poisson , $\nu = 0.334$

Para fins de dimensionamento considerou-se de 700 KPa (70 mca) a pressão máxima aplicada ao transdutor, o que justifica o uso do alumínio na confecção do mesmo, visto que este valor é insuficiente para deformar outros tipos de materiais e consequentemente sensibilizar a ponte de Wheatstone.

Para a escolha da geometria da peça utilizou-se de dois critérios:

O primeiro critério baseou-se na tensão admissível onde utilizando-se de um coeficiente de segurança igual a 5 obtivemos uma tensão radial máxima igual a 52.5 N/mm^2 próxima da tensão admissível de 51 N/mm^2 para o mesmo coeficiente de

segurança.

O segundo critério utilizado foi a máxima deformação vertical onde para um carregamento máximo de 700 KPa (70 mca) por projeto encontrou-se uma deformação de 0.066 mm, portanto menor que a quarta parte da espessura de 4 mm do diafragma.

Na ponte de Wheatstone foram utilizados "strain gages" da marca Kyowa - Eletronic Instruments Co. com as seguintes características :

TIPO : KFC - 3 - C1 - 23

RESISTÊNCIA DE 120 OHMS

FATOR DE GAGE : 2.1

DIMENSÕES : COMPRIMENTO DO GAGE : 3 mm

LARGURA DA GRADE: 2.2 mm

COMP x LARGURA DA BASE : 8 x 4 mm

A frequência natural do transdutor foi calculada pela equação (6) quando obteve-se o valor de 39572,18 hertz, para as dimensões de 40 mm de raio e 4 mm de espessura do diafragma, a qual atende às condições de projeto evitando o dimensionamento inadequado que possa conduzir a uma frequência de ressonância que danifique o instrumento.

Aferição e Calibração dos Transdutores de Pressão

Os transdutores de pressão fazem indiretamente a relação

entre a deformação do disco de diafragma, consequência da aplicação de uma pressão, com a saída de um sinal elétrico proporcional à pressão aplicada. Para se descobrir a relação existente entre estas duas variáveis é necessário fazer uma curva de calibração.

A curva de calibração dos transdutores de pressão foi realizada segundo o método de ensaios de manômetros (ABNT:-05.09-004) apud ZUZARTE, (1991), utilizando-se de uma bomba de aferição de manômetros, que possui um manômetro padrão como referência para aferição. Os pontos de ensaio foram distribuídos ao longo do fundo de escala, aplicando a pressão nos referidos pontos e aguardando o tempo de cinco minutos de estabilização, executando no sentido crescente e decrescente do fundo de escala, com o objetivo de analisar o efeito de histerese.

Os cabos e cada transdutor de pressão foram numerados e ligados aos canais do condicionador de sinais com número correspondente, de forma a garantir a calibração do conjunto, assim como definido os canais de leitura do conversor analógico/digital para cada transdutor.

A curva de calibração foi obtida utilizando um valor de referência de 300 mV, isto significa por exemplo: um valor de saída de 2000 mV de tensão para uma entrada de pressão de 590 KPa (59mca).

A regressão linear da relação Pressão x Tensão obtida segundo DOEBELIN (1983) para os dois transdutores:

$$Y = m X + b \quad (11)$$

onde :

Y = sinal elétrico de saída (mV)

(variável dependente)

X = pressão de entrada (mca)

(variável independente)

m = inclinação da reta (mV/mca)

b = interceptação da reta com eixo o vertical(mV)

Transdutor de Vazão

Para obter a variável vazão conectou-se um transdutor magnético indutivo ao SAAD de forma a adquirir os valores de vazão durante a realização dos ensaios hidráulicos.

O transdutor de vazão, de linha comercial, modelo 473 da empresa Conaut Controles Automáticos S.A. possui diâmetro de uma e meia polegada, podendo medir vazões até 50 m³/h e precisão de ± 1% do valor medido e ± 0.1% do fim de escala. O transdutor está dividido em duas partes: medidor e conversor. O medidor composto de um carcaça confeccionada em ferro fundido, está acoplado à tubulação da bancada de ensaios, posicionado à uma distância equivalente de dez vezes o diâmetro da tubulação de qualquer conexão hidráulica que

possa causar turbulência no fluxo que atravessa o medidor, garantindo assim o estabelecimento do regime de escoamento.

A carcaça do medidor, flangeada segundo a norma ANSI 150 fornecida pelo fabricante, foi conectada à tubulação por rosqueamento da flange à tubulação e aterrada à mesma, tendo-se o cuidado de centralizar o furo da flange de forma a não causar turbulência.

O conversor, alimentado com tensão de linha de 220 V, está conectado ao medidor, através de dois cabos tipo HF com blindagem individual e conduítes independentes com código 2 x 18 AWG-T com o comprimento de 6 m cada um. Estes cabos transferem o sinal elétrico, captado pelos eletrodos em contato com o fluido, ao circuito "Sample e Hold" do conversor. Após a entrada do sinal no conversor, este processa o sinal e coloca a disposição dos terminais de saída um sinal de tensão de 0 a 5V proporcional à vazão que atravessa o medidor. Este sinal é fornecido diretamente ao conversor A/D, visto que os circuitos do conversor já condicionaram os sinais.

Condicionador de Sinais

Adquiriu-se o condicionador de sinais da empresa de Sistemas de Instrumentação e Automação Agroindustriais Ltda (SIAGRO), que foi utilizado como o sistema de filtragem e amplificação para processar o sinal elétrico proveniente da ponte de Wheatstone montada nos transdutores de pressão.

Os sinais fornecidos pelos "strain gages", que chegam ao condicionador de sinais, estão referenciados ao terra e são transmitidos por cabos trançados quadripolares blindados com malha metálica e aterrados com o comprimento de seis metros.

O condicionador de sinais pode processar os sinais elétricos de até duas células extensométricas, podendo ser alimentado com tensão de linha de 110 ou 220 Vac, fornecendo aos "strain gages" elétricos uma tensão de 5V cc.

Este instrumento fornece uma saída analógica na faixa de 0 a 2V para um dado valor de entrada de pressão, sendo necessário o ajuste a cada ensaio, do balanceamento de zero da ponte de Wheatstone e o ajuste de ganho de cada canal, através da regulagem dos respectivos potenciômetros.

O ajuste do condicionador de sinais garante o uso da curva de calibração feita para cada transdutor individualmente, proporcionando ao computador a relação existente entre o sinal lido na forma de tensão (mV) e a pressão medida no transdutor na forma de metro de coluna de água (mca).

O condicionador possui as seguintes dimensões o que pode ser considerado como um sistema portátil:

- Largura: 255 mm
- Altura: 105 mm
- Comprimento: 220 mm

Conversor de Sinais Analógico/Digital

O conversor de sinais A/D utilizado no SAAD, foi adquirido da empresa Moldaço Com. e Ind. Ltda o qual possui as seguintes especificações:

- Tipo de conversão: Sucessivas Aproximações
- Alimentação: 5 e 12 V, 100 mA
- Linearidade: ± 1 LSB
- Tensão de referência: 5.1 V
- Tempo de conversão: 10 μ S
- Resolução: 12 "bits"
- Separação entre Canais: 50 dB
- Endereçamento: programável
- Nº de canais: 8 multiplexados
- Escala útil: 0 - 5.1 V

Na montagem do Sistema de Aquisição e Análise de Dados optou-se por uma interface acoplada ao barramento (bus) interno do micro-computador em virtude de suas vantagens: Alta Velocidade, Baixo Custo, Tamanho Reduzido.

O custo é reduzido por que o sistema de conversão não necessita ter sua caixa própria ou fontes. A fonte é obtida do PC, via barramento. A alta velocidade é conferida ao sistema visto que o sistema serial de interface RS-232C possui uma faixa de aquisição de dados de 9600 bauds limitando a cerca de 20 canais por segundo, e para o sistema com o barramento interno consegue-se obter taxas de 10000 canais por

segundo. Desta forma é possível medir fenômenos transientes em tempo real. A Fig. 10 mostra um diagrama simplificado do sistema com barramento interno.

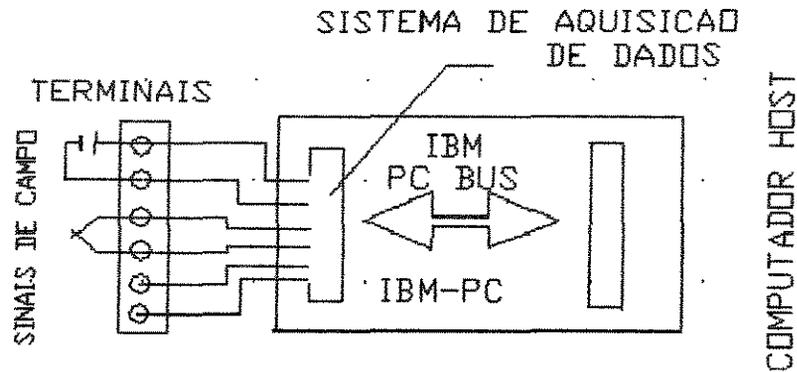


Fig. 10 - Diagrama Barramento Interno

O Sistema de Aquisição e Análise de Dados, particularmente o conversor analógico/digital, foi projetado para obter uma resolução de uma parte em 4096 (2^{12}) ou aproximadamente 0.025% do fundo de escala, utilizando-se do tipo de conversão de sucessivas aproximações e com linearidade de ± 1 "bit" menos significativo (LSB) e tempo de conversão de $10\mu\text{S}$ o que significa um tempo adequado para a nossa aplicação, este sistema deve ser conectado a um micro IBM-PC, com 2

drives de disco e 640 Kbytes de memória RAM, com no mínimo um "slot" Livre para adaptação da placa.

Especificamente o SAAD tem um conversor A/D com 8 canais e 12 "bits", dos quais 3 estão ocupados, 2 por variáveis de pressão e um por variável de vazão, possibilitando também a expansão de leitura de mais 5 canais.

Afim de que a placa conversora A/D seja reconhecida pelo micro-computador faz-se necessário que se defina um bloco de 64 "PORTS" consecutivos disponíveis dentro do micro-computador, visto que a placa adaptadora pré-decodifica um grupo de 64 "PORTS" e a placa conversora completa a decodificação dos "PORTS", selecionando dois "PORTS".

Um exemplo de "Software" de leitura dos "PORTS" disponíveis dentro de um micro-computador IBM-PC feito em BASIC, pode ser:

```
10 FOR I=1 TO 2048
20 PORT=INP(A)
30 IF PORT=255 THEN "PORT ";I;" ESTA LIVRE"
40 NEXT I
```

Após a seleção do bloco de 64 "PORTS" disponíveis através de "Software" é necessário ser feita a seleção dos "PORTS" através de "Hardware", ou seja, deve-se modificar o endereçamento da placa adaptadora, através dos "Jumpers", que são pequenas "chaves" que podem ser colocados na posição ON e OFF, ajustando o endereçamento das placas ao micro-computador de forma que não haja choque de endereços entre o sistema.

A placa conversora foi instalada em uma caixa metálica, devidamente isolada para evitar curtos-circuitos e aterrada. Esta placa está ligada, através de um cabo flexível de 50 vias, à placa adaptadora que por sua vez se encontra instalada dentro de um "Slot" do barramento do micro-computador. A Fig. 11 apresenta um esquema de ligação do SAAD aos transdutores

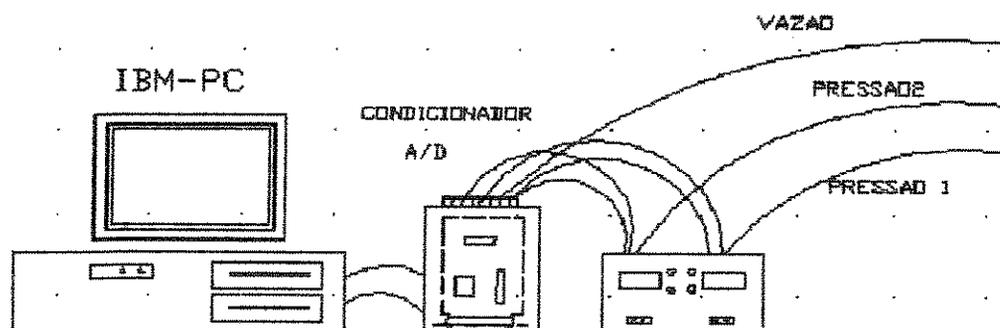


Fig. 11 - Esquema de montagem do SAAD

A placa conversora de face simples usa apenas 25 vias e o cabo flexível usa os sinais abaixo para controlar o cartão de entradas analógicas.

Tabela 2 - Diagrama de sinais elétricos da placa A/D

Pino	Sinal	Observação
1	+ 12 Volts	
2	+ 12 Volts	
3	TERRA	
4	+ 5 Volts	
5	INTERRUPT	interrupção
6	Não Usada	
7	DATA 1	dado 1
8	DATA 2	dado 2
9	DATA 3	dado 3
10	DATA 4	dado 4
11	DATA 5	dado 5
12	DATA 6	dado 6
13	DATA 7	dado 7
14	ADRESS 0	endereço 0
15	ADRESS 1	endereço 1
16	ADRESS 2	endereço 2
17	ADRESS 3	endereço 3
18	IN	Pulso de entrada ativo em "Baixo"
19	OUT	Pulso de entrada ativo em "Baixo"
21	ENABLE 0	habilitado 0
22	ENABLE 1	habilitado 1
23	ENABLE 2	habilitado 2
24	ENABLE 3	habilitado 3
25	TERRA	

A placa conversora pode ser considerada como um periférico acoplado à Unidade de Processamento Central (UCP), visto que existe dois "PORTS" de entrada e saída definidos especificamente para a placa, sendo esta alimentada com a própria tensão fornecida pelo barramento.

Todos os transdutores fornecem à placa de conversão um sinal de tensão proporcional à grandeza medida e possuem o sinal em relação a um terra comum. A placa possui 8 canais e

um terra como referência e todos os canais possuem o valor de leitura em relação a este terra. Afim de se evitar ruídos espúrios, que podem provocar a variação dos sinais de leitura, fez-se a ligação de todos os canais, que não estavam sendo lidos, também ao terra, tentando evitar a interferência nas leituras das variáveis, assim como, fez-se o aterramento em ponto comum de todos os equipamentos eletrônicos conectados no sistema utilizando-se de fios de cobre, isolados por fita.

Através do "Software" desenvolvido, é possível fazer a multiplexagem dos canais e a leitura dos sinais, bastando para isto se utilizar das instruções INP e OUT do BASIC como exemplo. Estas instruções ou similares de outra linguagem de programação fazem com que o micro esteja apto a ler os sinais de uma entrada externa ao barramento, ou seja elas disparam a conversão de dados analógicos para digitais na placa conversora.

Quando disparada a conversão, a placa faz o armazenamento do sinal e o dado lido esta na forma de um byte de 8 "bits" e um "nibble" de 4 "bits". Cabe ao "Software" fazer a conversão deste formato em um número capaz de representar o valor de voltagem fornecido na saída do condicionador de sinais e na entrada da placa conversora A/D.

Devido a velocidade de conversão da placa conversora A/D, existem a presença de sinais indesejáveis, que podem ser filtrados tanto a nível de "Software" quanto de "Hardware".

Através do "Software" fez-se a leitura de uma série de 30 dados do mesmo canal tirando-se a média aritmética dos dados. A nível de "Hardware", fez-se a filtragem através do acoplamento de capacitores de 1 μ F nos canais 2,4 e 7 para formar um filtro Resistivo-Capacitivo de entrada filtrando assim sinais com frequência acima de 100 KHertz.

4.2.2 - Software

O "Software" desenvolvido para atuar no SAAD foi programado em linguagem BASIC, cuja listagem é apresentada no Anexo VI. O BASIC é uma linguagem de alto nível, que além de possuir todas as ferramentas para uso neste tipo de aplicação, também é conhecida pela maior parte dos usuários de sistemas de aquisição de dados, sendo portanto de fácil adaptação a diferentes usos do sistema.

Uma vez o "Software" carregado dentro da parte interna da memória volátil do micro-computador(RAM) é possível, através de instruções específicas, ler os sinais fornecidos pelo condicionador, determinando quais são os canais a serem lidos e qual a frequência de leitura destes.

O SAAD possui como software de leitura uma rotina descrita em um algoritmo simplificado, representativo da rotina principal de aquisição de dados.

```

ALGORITMO
AQUISIÇÃO/ARMAZENAMENTO DE DADOS
INÍCIO
    DEFINIR o número dos ports
           número de pontos
           número de séries
           tempo de espera
    PARA T=1 ATÉ NÚMERO DE SÉRIES
        PARA J=1 ATÉ NÚMERO DE PONTOS
            PARA I=0 ATÉ 7
                LER CANAL I (OUT)
                AUX10(CC) = VALOR LIDO
                MOSTRAR AUX10(CC)
                ARMAZENAR VARIÁVEL AUX10 (CC)
            FIM PARA
            DELAY TEMPO ESPERA
            CC = CC + 1
            CONDIÇÃO DE TERMINO DE ENSAIO
        FIM PARA
    FIM PARA

    PARA CC=1 ATÉ N.PONTOS x N.SÉRIES
        SALVAR AUX10 (CC)
    FIM PARA
FIM

```

O algoritmo desenvolvido faz a varredura (multiplexagem) dos 8 canais do conversor A/D, possibilitando o acompanhamento visual na tela dos sinais, lidos de todos os canais. Isto permite, que possíveis ruídos que possam estar sendo induzidos nos cabos de transmissão venham a ser detectados visualmente.

O "Software" faz a leitura dos canais e endereça os respectivos valores de pressões e vazão a matrizes vetoriais, as quais seguram os dados, para posterior armazenamento em disquetes magnéticos.

O "Software" possui a capacidade de variação do número de séries lidas em cada ensaio, assim como o número de pontos

lidos em cada série, podendo também ser variável o tempo de leitura entre cada série.

A aquisição de dados pelo "Software" pode se encerrar com tempo ou condições pré-determinadas, onde após finalizados os ensaios, os dados armazenados na memória volátil do micro-computador (RAM) são então armazenados dentro de disquetes magnéticos, onde possuem a propriedade de serem retornados à memória com o simples acionamento de subrotina apropriada, permitindo então o processamento em qualquer instante dos dados ensaiados.

O armazenamento dos dados em arquivos, dentro de disquetes magnéticos, tem como objetivo principal a otimização das operações de tratamento de dados dos ensaios, fazendo com que se diminua o tempo de análise dos mesmos, assim como a verificação posterior dos dados em caso de dúvida das respostas.

Optou-se por armazenar os arquivos de dados dos ensaios de forma randômica, o que permite maior flexibilidade e rapidez de acesso, entretanto, no caso de utilização de programas que exijam formatos de arquivos diferentes, é necessário o uso de interfaces para a transformação dos formatos.

4.2.3 - Procedimento Operacional

Basicamente o SAAD realiza seu objetivo através das

fases descritas na Fig. 12.

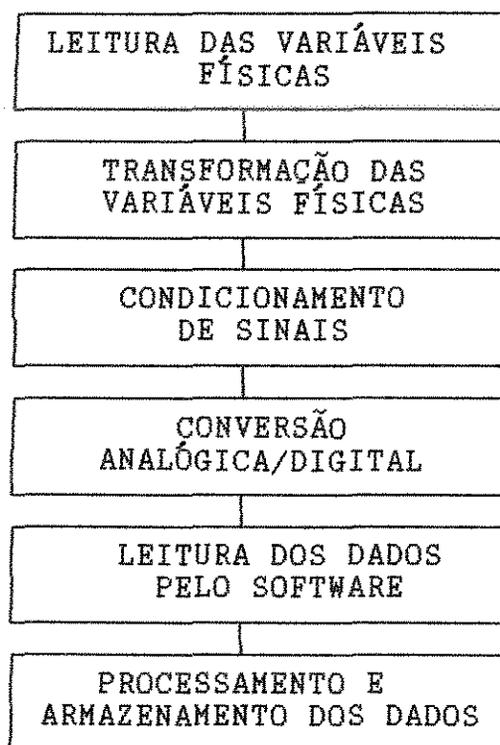


Fig. 12 - Esquema de funcionamento do SAAD

Após a leitura das variáveis, a fase primária faz a transformação das variáveis físicas pressão e vazão em sinais elétricos contínuos, proporcionais a grandeza física medida. Os transdutores de pressão medem a variação da pressão ocorrida na linha através da deformação do disco e consequentemente variação da resistência elétrica da ponte de Wheatstone. Já o transdutor de vazão mede a variável através da variação da velocidade do fluido.

Ocorrida a transformação primária existe outra transformação dos sinais, onde se filtra e amplifica os mesmos, dita fase de condicionamento de sinais. No caso dos trans-

dutores de pressão estes liberam os sinais elétricos ao condicionador de sinais que vai amplificar o sinal dos mesmos, visto que, a magnitude do sinal liberado pela ponte de Wheatstone é muito pequena e possui ruídos induzidos por sinais adversos que devem ser eliminados para que se possa amplificar efetivamente apenas os sinais relativos à pressão.

O transdutor de vazão possui um circuito individual que faz a mesma operação realizada pelo condicionador de sinais para os transdutores de pressão, filtrando e amplificando o sinal relativo ao campo entre os eletrodos do transdutor de vazão, fornecendo um sinal elétrico proporcional à vazão que passa pelo tubo entre os dois eletrodos.

Após os sinais passarem pelos condicionadores, ocorre a fase de transformação dos sinais analógicos contínuos em digitais discretos, feito pelo conversor analógico/digital, que faz o interfaceamento entre o mundo analógico externo ao e o mundo digital interno ao micro-computador.

O SAAD possui um conversor A/D com 8 canais e 12 "bits" de resolução, dos quais o canal 2, 4 e 7 estão ocupados com o transdutores de pressão 1, 2 e vazão, respectivamente. A separação entre canais de leitura por canais sem leitura tem como objetivo evitar a presença de ruídos que possam causar influência entre os mesmos. O conversor A/D faz a transformação dos sinais elétricos que chegam à entrada dos seus bornes em sinais elétricos digitais capazes de serem entendidos pelo micro-computador e decodificados assim em dados

compostos de "bits".

O "Software" ,responsável pela aquisição de dados, faz a multiplexagem, isto é, a escolha dos canais de leitura direcionando respectivamente o sinal lido de cada canal a matrizes linha que tratam de armazenar os dados na memória do micro-computador. Após a fase de leitura os dados se encontram disponíveis a qualquer processamento e posteriormente armazenamento em disquetes magnéticos. Os dados são armazenados na forma original de leitura, isto é, na forma de voltagem e podem ser processados através das curvas de calibração específica de cada transdutor.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Análise da Perda de Carga nos Filtros

Os dados experimentais dos ensaios realizados nos filtros de tela e disco se encontram no Anexo IV.

Através da avaliação dos parâmetros de qualidade de água apresentados no Anexo I, foi possível observar que não houve variação significativa da qualidade da água durante os ensaios, permitindo, assim, uma comparação entre os filtros.

As tabelas de análise de água apresentadas no Anexo I, demonstram através do parâmetro de turbidez que houve baixa quantidade de sólidos suspensos na água utilizada nos ensaios. Os ensaios foram realizados para perda de carga em função da vazão, visto que a quantidade de sólidos em suspensão presentes na água não era suficiente para provocar entupimentos no elemento filtrante, ocasionando tempos de ensaios significativamente longos para ensaios do tipo de perda de carga em função do tempo. Ensaios de longa duração podem acarretar danos aos instrumentos de medidas, destruindo a confiabilidade dos dados ensaiados.

5.1.1 - Filtros de Disco

Com os valores experimentais de perda de carga em função da vazão apresentados na tabela 18 e 19 (Anexo IV) procedeu-se um ajuste de curvas procurando um modelo que melhor explicasse o fenômeno físico e que demonstrasse um valor significativo de correlação entre as variáveis.

Este procedimento demonstrou que o modelo alométrico linear descreve o comportamento de crescimento de perda de carga em função da vazão. Portanto, as equações ajustadas apresentaram os seguintes valores, para filtros limpos.

Disco Vermelho (mesh 120)

$$H_f = 0.0681 Q^{1.58} \quad (12)$$

$$r^2 = 0.990$$

onde : $Q =$ Vazão (m^3/h)

$H_f =$ Perda de Carga (mca)

Disco Amarelo (mesh 155)

$$H_f = 0.138 Q^{1.327} \quad (13)$$

$$r^2 = 0.986$$

onde: $Q =$ Vazão (m^3/h)

$H_f =$ Perda de Carga (mca)

As figuras 13, 14 apresentam os valores experimentais e as curvas ajustadas para os valores de perda de carga dos filtros de disco com mesh 120 e 155, respectivamente.

Através dos quadros de Análise de variância apontados nas tabelas 14 e 15 (Anexo III), observa-se que as equações explicam o comportamento hidráulico dos filtros a um nível de significância de 1%, comprovando sua validade.

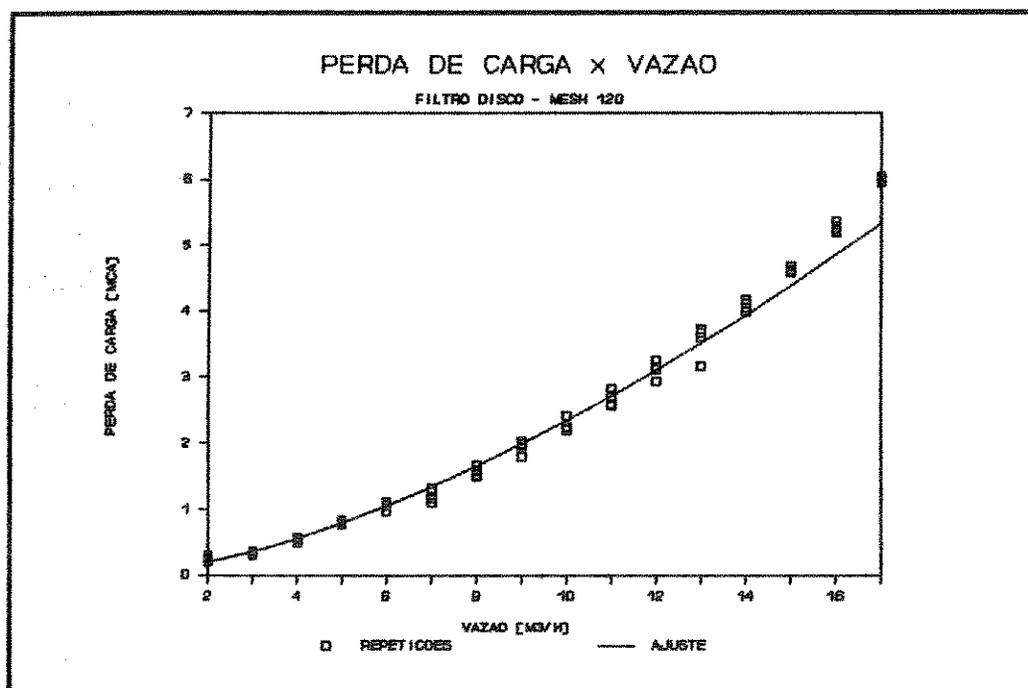


Figura 13 - Filtro de Disco - Mesh 120

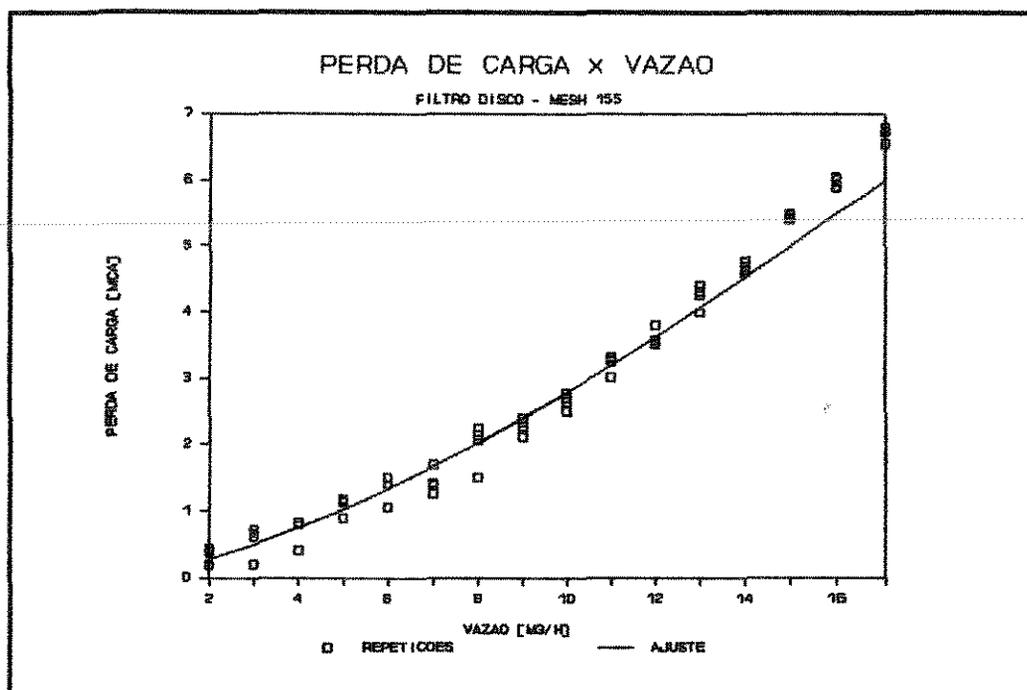


Figura 14 - Filtro de Disco - Mesh 155

Nota-se a existência de uma tendência de dispersão dos dados à curva, para todos os filtros a partir da vazão de 15 m³/h, onde exatamente se verifica o ponto de máxima vazão recomendada para uso dos Filtros segundo AMIAD (1991).

A Fig. 15 apresenta uma comparação entre o comportamento hidráulico do filtro de disco para os dois mesh avaliados em função da perda de carga, sendo que o filtro com mesh 155 apresentou valores de perda de carga superiores aos do filtro com mesh 120.

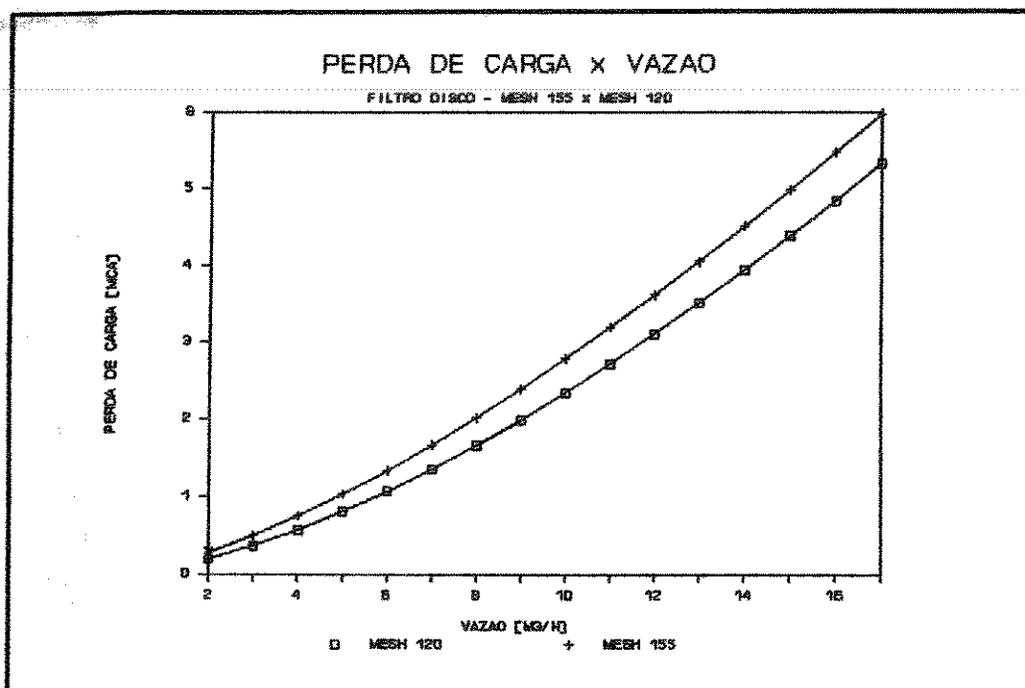


Figura 15 - Filtros de Disco - Mesh 120 x Mesh 155

5.1.2 - Filtros de Tela

Com os valores experimentais de perda de carga em função da vazão apresentados na tabela 20 e 21 (Anexo IV) procedeu-se um ajuste de curvas utilizando o modelo alométrico linear.

As equações ajustadas apresentaram os seguintes valores, para os filtros limpos.

Tela Vermelho (mesh 120)

$$H_f = 0.0859 Q^{1.37} \quad (14)$$

$$r^2 = 0.962$$

onde : Q = Vazão (m^3/h)

H_f = Perda de Carga (mca)

Tela Amarelo (mesh 155)

$$H_f = 0.099 Q^{1.33} \quad (15)$$

$$r^2 = 0.972$$

onde : Q = Vazão (m^3/H)

H_f = Perda de Carga (mca)

Através dos quadros de Análise de variância apontados nas tabelas 16 e 17 (Anexo III), pode-se observar que as equações conseguem explicar o comportamento hidráulico dos filtros a um nível de significância de 1%, comprovando sua validade.

As figuras 16, 17 apresentam os valores experimentais e as curvas ajustadas para os valores de perda de carga dos

Filtros de Tela com mesh 120 e 155, respectivamente.

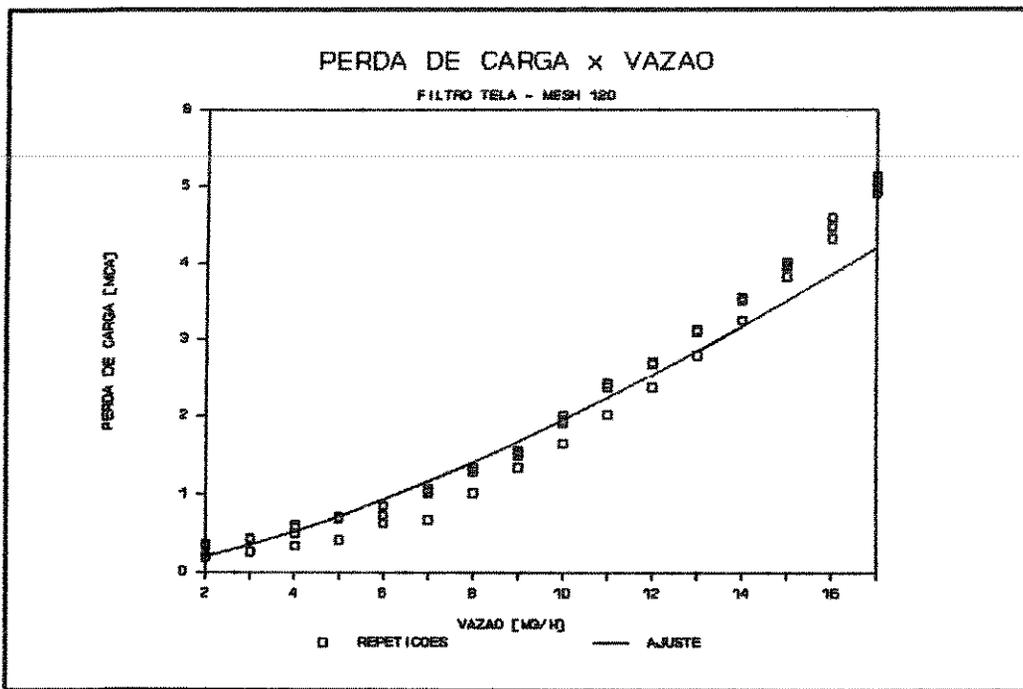


Figura 16 - Filtro de Tela - Mesh 120

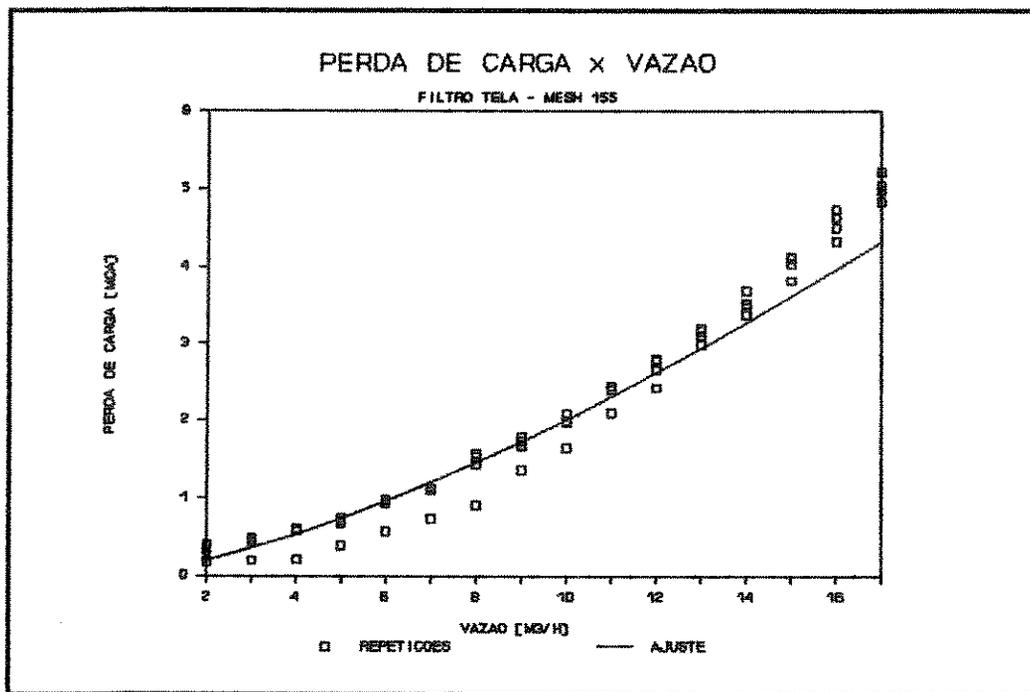


Figura 17 - Filtro de Tela - Mesh 155

A figura 18 apresenta uma comparação entre o comportamento hidráulico a nível de perda de carga do filtro de tela para os dois mesh avaliados.

Analisando a figura 18 observa-se que os filtros de Tela de mesh 120 e mesh 155 possuem comportamento análogo, não apresentando variações significativas dos valores de perda de carga para os valores de vazão correspondentes.

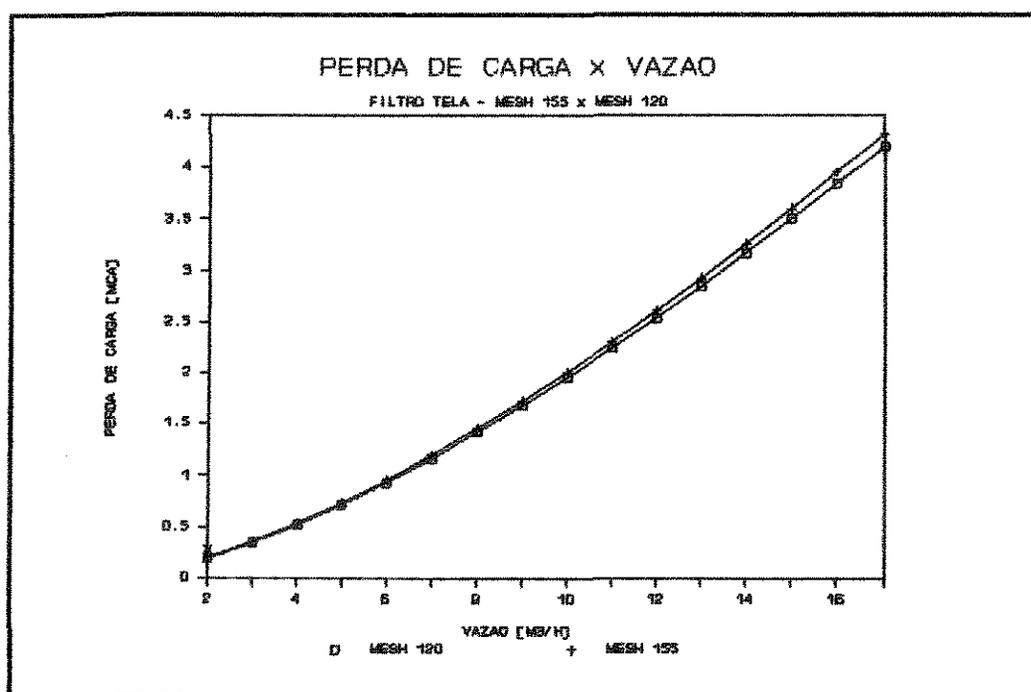


Figura 18 - Filtros de Tela - Mesh 120 x Mesh 155

5.1.3 - Comparação entre Diâmetros de abertura e dos Elementos Filtrantes

A figura 19 apresenta uma comparação entre o comportamento hidráulico a nível de perda de carga dos filtros de tela e de disco, para os dois mesh avaliados.

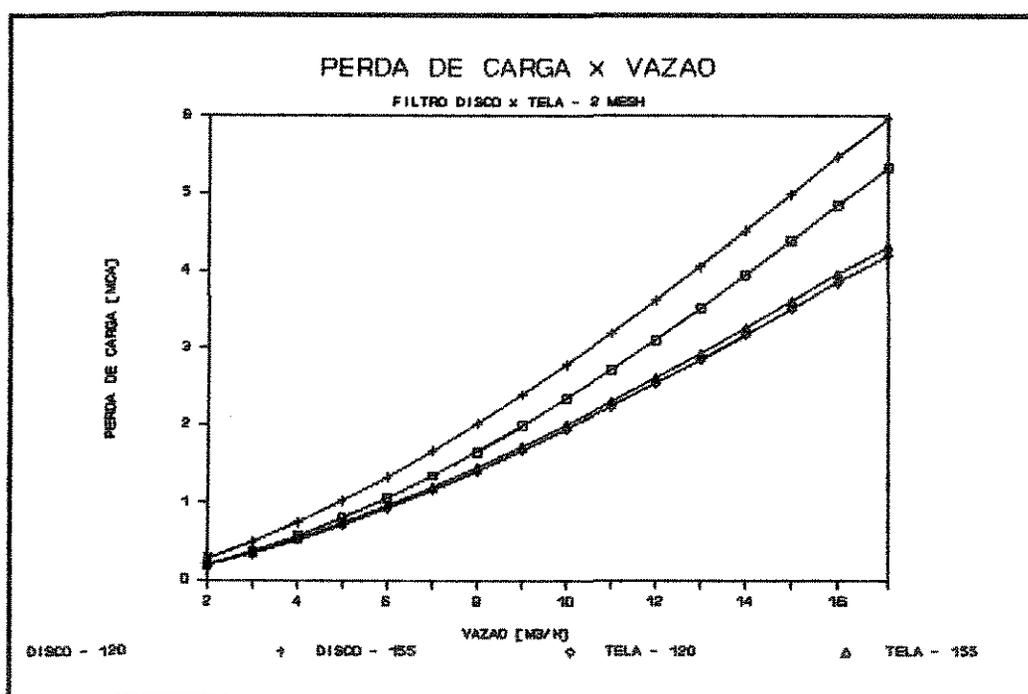


Figura 19 - Filtro de Tela x Disco
Mesh 120 x mesh 155

Quando se analisam os quatro filtros em conjunto pode-se observar que os filtros de disco possuem perda de carga superior aos filtros de tela, para um mesmo valor de vazão, e o filtro de tela de mesh 155 provoca uma perda de carga inferior ao do filtro de disco de mesh 120.

Durante ensaios preliminares, observou-se que os

filtros de discos possuem sistema de retrolavagem mais eficiente do que os de tela e que para o caso destes filtros deve-se fazer a retro-lavagem imediatamente após o uso, visto que as impurezas que se agregam a malha do elemento filtrante, tornando mais difícil o processo de remoção das impurezas.

O valor de perda de carga superior nos filtros de disco em relação aos de filtros de tela deve-se ao fato de o comprimento do elemento filtrante nos filtros de disco ser maior do que os dos filtros de tela, isto é, a espessura da parede do elemento filtrante de disco é maior que a espessura do elemento filtrante de tela.

Os orifícios dos discos podem ser comparados a tubos capilares de diâmetros igual ao diâmetro do mesh, e para o caso do elemento filtrante tela, a vazão passa através do orifício do mesh.

A analogia anterior explica a diferença dos valores de perda de carga existentes entre os dois "meshs", visto que para os filtros de disco o diâmetro do tubo capilar para o mesh 155 é inferior ao mesh 120, provocando maior turbulência no escoamento e conseqüentemente maior valor de perda de carga para o filtro de mesh 155. No caso do filtro de tela a influência do diâmetro do orifício não é significativa, ocasionando pequena diferença entre os dois valores de mesh.

A análise matemática das equações não permitem que se façam inferências, visto que os coeficientes se modificam

entre si dificultando qualquer conclusão.

5.2 - Hardware

Transdutores de Pressão

Os dados experimentais obtidos nas curvas de calibração para os transdutores 1 e 2 estão apresentados no Anexo II.

As fig. 20,21 representam os valores experimentais das curvas de carregamento e descarregamento para ambos os transdutores.

A equação linear proposta por DOEBELIN (1983) foi ajustada aos dados obtidos e produziram as seguintes curvas.

Transdutor 1

$$Y = 0.3392 X - 0.0001 \quad (16)$$

$$r^2 = 0.99$$

Transdutor 2

$$Y = 0.3365 X + 0.0027 \quad (17)$$

$$r^2 = 0.99$$

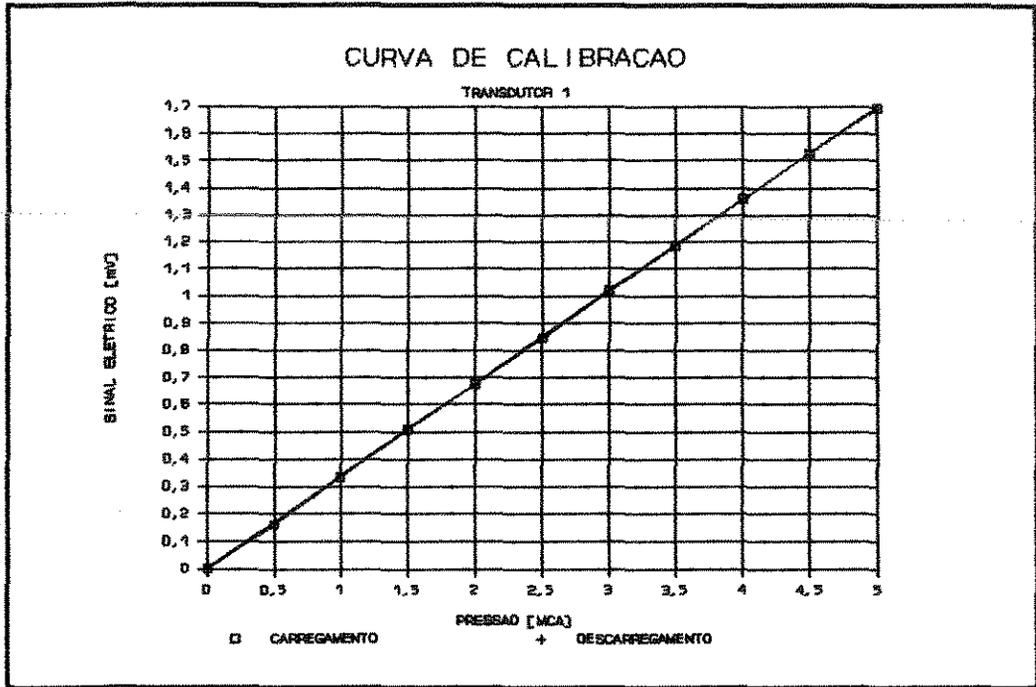


figura 20 - Curva de Calibração do Transdutor 1

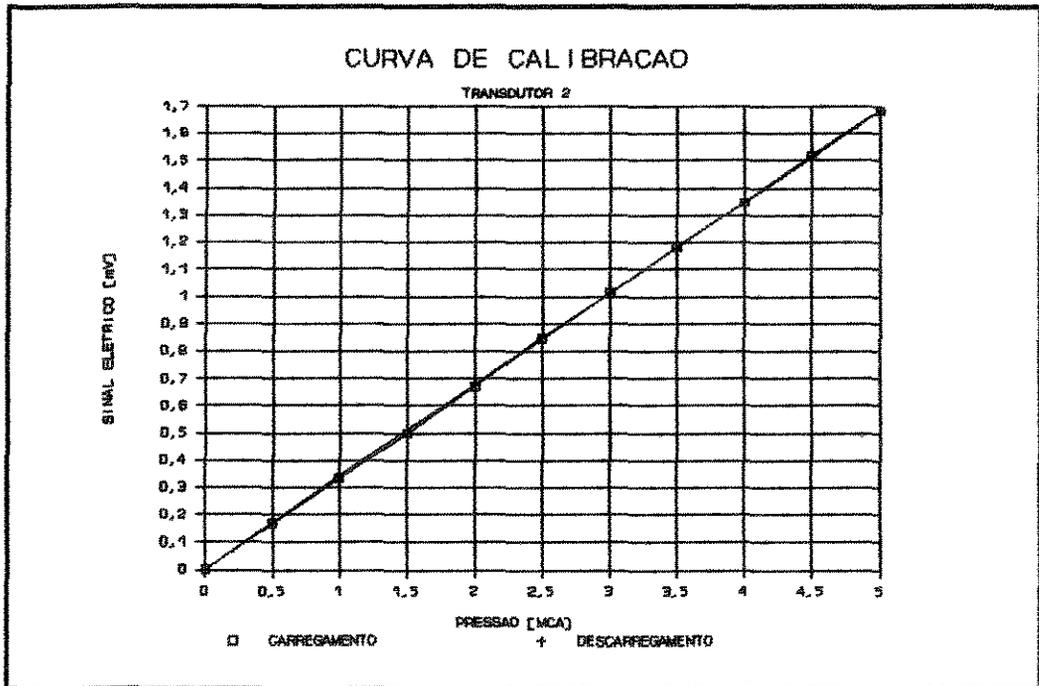


Figura 21- Curva de Calibração do Transdutor 2

Os quadros de análise de variância apresentados no Anexo II demonstram que as curvas regredidas se ajustam aos dados com um nível de significância superior a 1% e demonstram a linearidade dos equipamentos

As curvas de calibração dos transdutores 1 e 2 que aparecem nas figuras 20, 21 respectivamente, demonstraram coeficientes de regressão próximos e valores de saída idênticos para a mesma entrada de pressão, o que possibilitou o uso do mesmo valor do ganho no condicionador de sinais.

O valor de histerese, isto é da máxima diferença entre as leituras ascendentes e descendentes em qualquer ponto da escala, foi de 0.0065 % e 0.0083% para os transdutores 1 e 2, respectivamente, calculados em função do fundo de escala.

O erro de linearidade ou máximo desvio entre a leitura real e a curva ajustada foi igual para os dois transdutores ficando na ordem de 0.005 % .

O alcance, diferença entre o valor superior e inferior da faixa de medida dos transdutores, atinge 590 KPa (59mca), visto que o máximo valor de saída do condicionador de sinais é de 2000 mV.

O dispositivo possui resposta rápida do sinal de saída à variação do sinal de entrada, registrando dinamicamente às variações da pressão na linha.

Transdutor de Vazão

O transdutor de vazão apresentou pequena variação do sinal de saída para um mesmo ponto de vazão nos ensaios como pode ser observado nos resultados dos ensaios apresentados no Anexo IV, demonstrando a precisão do sistema.

A variação da vazão, durante os ensaios, para um mesmo ponto, pôde ser observada através do mostrador digital do condicionador do transdutor de vazão e não foi superior a 0.1% do fundo de escala que era 50 m³/h, demonstrando ser um sistema confiável.

Condicionador de Sinais

O condicionador de sinais apresentou uma mudança no sinal de saída devido basicamente a variação do sinal elétrico de entrada, fornecido pelos transdutores de pressão, os quais mudaram em função da variação da pressão atuante na tubulação.

Não houve desvio significativo do valor de referência, visto que este retornou ao valor inicial, quando cessada a pressão exercida pelo fluido, nos diafragmas dos transdutores, não apresentando o desvio de "offset", isto é o deslocamento da curva de calibração devido a problemas do equipamento.

O aterramento comum dos terminais possibilitou que fosse minimizado a atividade de ruídos no instrumento. Não foi detectado nenhum problema de funcionamento do sistema.

Conversor Analógico/Digital

Através do acompanhamento visual da multiplexagem na tela, verificou-se que o conversor A/D apresentou valores máximos de 0.0004% nos canais abertos, ou seja, naqueles sem nenhum sinal acoplado, apresentando níveis de ruídos não significativo entre canais.

O mesmo equipamento não apresentou falhas de funcionamento durante a realização dos ensaios.

5.3 - Software

Durante a realização dos ensaios preliminares de perda de carga em função do tempo, detectou-se uma falha significativa na rotina de armazenamento de dados, visto que o micro-computador permaneceu funcionando por 24 horas ininterruptamente e quando solicitado, ao armazenamento em disquetes, apresentou falha de dimensionamento da matriz de dados, além de não detectar quando o disco estava sem espaço disponível para armazenamento. Em virtude desse problema a rotina de armazenamento foi modificada de forma a armazenar os dados em disquetes magnéticos a cada final de leitura de

dados, corrigindo o erro.

O uso do SAAD em ensaios de séries temporais obriga ao usuário o preparo de rotinas específicas de armazenamento que armazenem os dados de cada série imediatamente a cada leitura, prevenindo desta forma a perda de dados, causada por qualquer fator que interrompa o funcionamento do sistema como super-aquecimento ou falta de alimentação.

A operação com "Software" não compilado, isto é, uso de programas editáveis, permite que o usuário mude dinamicamente "in loco" a condição de ensaio assim como a temporização do mesmo, através da alteração e inclusão de novas instruções ao programa original.

5.4 - Análise Global do Sistema

O SAAD se mostrou bastante versátil, possibilitando a sua aplicação em ensaios de outros equipamentos hidráulicos de irrigação. A facilidade de operação e programação do sistema possibilita o acompanhamento mais eficiente dos ensaios, permitindo a reprodução destes e a variação dos componentes acoplados ao SAAD, visto que, a aquisição de dados é automatizada e a temporização é ajustada por "Software".

A nível hidráulico, durante a realização de ensaios preliminares, verificou-se que a variação da perda de carga ocorria, não somente em função da vazão, mas também da

pressão de entrada dos filtros testados, o que é inconcebível teoricamente. Uma verificação da montagem física do sistema demonstrou que a presença de um registro de gaveta, instalado à uma distância equivalente a dez diâmetros de tubulação, à jusante do transdutor de pressão 2, induzia esta variação ao sistema.

Desta forma, após a transferência do registro para uma posição junto ao reservatório, aumentando o comprimento da tubulação à jusante do ponto de tomada de pressão 2, procurou-se evitar a ocorrência de turbulência e garantir a estabilidade do regime. Assim a perda de carga nos filtros deixou de variar com a pressão de entrada, demonstrando então a necessidade do aumento do comprimento do cano ou o monitoramento da pressão de saída à uma distância que não provoque alteração no regime hidráulico da tomada de pressão 2.

Outro ponto a salientar foi a necessidade de se descartar a primeira repetição de cada ensaio de perda de carga, pois devido ao tempo aproximado de 40 minutos requerido para a estabilização do equipamento no início do funcionamento do sistema, esta apresentou valores estatisticamente diferentes das demais repetições.

6 - CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos foi possível fazer as seguintes conclusões:

- Os filtros de tela e de disco, podem ter seu comportamento hidráulico, de perda de carga em função da vazão que atravessa estes, descritas por um modelo alométrico linear do tipo $H_f = aQ^b$, para filtros limpos.

- Para os filtros de disco, o elemento filtrante com mesh 155 apresentou uma perda de carga superior ao de mesh 120. Enquanto que para os filtros de tela não houve diferença significativa entre os valores de perda de carga para os dois mesh analisados.

- O SAAD apresentou bom funcionamento durante os ensaios não apresentando defeitos que comprometessem a operação de aquisição e análise de dados.

- Os transdutores de pressão construídos apresentaram curvas de calibração idênticas e demonstraram um funcionamento confiável, com alta correlação entre a variação do sinal físico de pressão e a variável de resposta elétrica, possuindo velocidade de resposta rápida, registrando dinamicamente as variações da pressão na linha.

- As equações encontradas demonstraram que os filtros de disco são mais sensíveis do que os filtros de tela, a nível de perda de carga, à variações dos valores de vazão.

- Observou-se que os filtros de disco possuem valor de perda de carga superior aos filtros de tela, para ambos os mesh.

- Os ensaios demonstraram que o filtro de tela de mesh 155 provoca uma perda de carga inferior ao do filtro de disco de mesh 120.

7 - RECOMENDAÇÕES

Objetivando o aprimoramento de futuros trabalhos a serem desenvolvidos na área, recomenda-se:

- A fim de melhorar o desempenho e confiabilidade do sistema é recomendado que se utilizem em trabalhos futuros uma placa conversora A/D de 12 "bits" de entrada diferencial, minimizando assim os possíveis efeitos de ruídos indesejáveis, induzidos ao sistema.

- Visando minimizar o efeito de qualquer turbulência atuante próxima aos pontos de tomada de pressão recomenda-se utilizar um comprimento equivalente superior a dez diâmetros de tubulação à jusante e à montante do mesmo, evitando-se também a colocação de qualquer acessório hidráulico, como registros, válvulas ou qualquer outro dispositivo, que possa causar perturbação no fluxo.

- Para que se aumente a confiabilidade dos ensaios deve-se utilizar um tempo mínimo de 30 minutos de estabilização dos componentes elétricos e também do sistema, fazendo a coleta de dados após o funcionamento pleno do sistema.

- Observar o comportamento da primeira repetição da série de dados, analisando a hipótese de descarte da série em caso de uma dispersão significativa em relação às demais séries.

- Recomenda-se um estudo mais aprofundado dos fenômenos hidráulicos que regem o escoamento nos elementos filtrantes estudados afim de fornecer maiores subsídios para um melhor entendimento do comportamento dos filtros.

- Para futuros trabalhos de pesquisa relacionados a este tipo de elemento filtrante seja utilizada água com quantidades significativas de sólidos suspensos.

ANEXOS

 ANEXO I - ANÁLISES DE ÁGUA

Tabela 3 - Análise de Água - Filtro Disco - Mesh 120

ANÁLISES DA ÁGUA DOS ENSAIOS			
DISCO VERMELHO	INÍCIO	TEMPERATURA	ANTES : 23°C
			DEPOIS : 23°C
		TURBIDEZ	ANTES : 11 FTU
			DEPOIS : 10 FTU
		PH	ANTES : 6.68
			DEPOIS : 7.05
		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	ANTES : 51.6 μ S
			DEPOIS : 49.5 μ S

ANTES DO FILTRO DE AREIA

DEPOIS DO FILTRO DE TELA

Tabela 4 - Análise de Água - Filtro Disco - Mesh 120

ANÁLISES DA ÁGUA DOS ENSAIOS			
DISCO VERMELHO	FINAL	TEMPERATURA	ANTES : 22°C
			DEPOIS : 22°C
		TURBIDEZ	ANTES : 12 FTU
			DEPOIS : 10 FTU
		PH	ANTES : 6.98
			DEPOIS : 7.28
		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	ANTES : 51 μ S
			DEPOIS : 48.3 μ S

Tabela 5 - Análise de Água - Filtro Disco - Mesh 155

ANÁLISES DA ÁGUA DOS ENSAIOS			
DISCO AMARELO	INÍCIO	TEMPERATURA	ANTES : 22°C
			DEPOIS : 22°C
		TURBIDEZ	ANTES : 12 FTU
			DEPOIS : 10 FTU
		PH	ANTES : 6.98
			DEPOIS : 7.28
		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	ANTES : 51 μ S
			DEPOIS : 48.3 μ S

Tabela 6 - Análise de Água - Filtro Disco - Mesh 155

ANÁLISES DA ÁGUA DOS ENSAIOS			
DISCO AMARELO	FINAL	TEMPERATURA	ANTES : 22°C
			DEPOIS : 22°C
		TURBIDEZ	ANTES : 12 FTU
			DEPOIS : 9 FTU
		PH	ANTES : 7.05
			DEPOIS : 7.30
		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	ANTES : 51.3 μ S
			DEPOIS : 50.8 μ S

Tabela 7 - Análise de Água - Filtro Tela - Mesh 120

ANÁLISES DA ÁGUA DOS ENSAIOS			
TELA VERMELHA	INÍCIO	TEMPERATURA	ANTES : 22°C
			DEPOIS : 22°C
		TURBIDEZ	ANTES : 12 FTU
			DEPOIS : 9 FTU
		PH	ANTES : 7.05
			DEPOIS : 7.30
		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	ANTES : 51.3 μ S
			DEPOIS : 50.8 μ S

Tabela 8 - Análise de Água - Filtro Tela - Mesh 120

ANÁLISES DA ÁGUA DOS ENSAIOS			
TELA VERMELHA	FINAL	TEMPERATURA	ANTES : 23.5°C
			DEPOIS : 23.5°C
		TURBIDEZ	ANTES : 11 FTU
			DEPOIS : 9 FTU
		PH	ANTES : 6.83
			DEPOIS : 7.34
		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	ANTES : 51.8 μ S
			DEPOIS : 51.5 μ S

Tabela 9 - Análise de Água - Filtro Tela - Mesh 155

ANÁLISES DA ÁGUA DOS ENSAIOS			
TELA AMARELA	INÍCIO	TEMPERATURA	ANTES : 23.5°C
			DEPOIS : 23.5°C
		TURBIDEZ	ANTES : 11 FTU
			DEPOIS : 9 FTU
		PH	ANTES : 6.83
			DEPOIS : 7.34
		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	ANTES : 51.8 μ S
			DEPOIS : 51.5 μ S

Tabela 10 - Análise de Água - Filtro Tela - Mesh 155

ANÁLISES DA ÁGUA DOS ENSAIOS			
TELA AMARELA	FINAL	TEMPERATURA	ANTES : 23°C
			DEPOIS : 23°C
		TURBIDEZ	ANTES : 11 FTU
			DEPOIS : 10 FTU
		PH	ANTES : 6.78
			DEPOIS : 7.10
		CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	ANTES : 51.9 μ S
			DEPOIS : 49.4 μ S

 ANEXO II - TRANSDUTORES DE PRESSÃO

Tabela 11 - Análise de Variância da curva de calibração do transdutor 1

ANÁLISE ESTÁTISTICA				
TRANSDUTOR PRESSÃO 1 $Y = 0.3392 X - 0.0001$				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M	F
REGRESSÃO	1	6.3301	6.3301	507926.09
RESÍDUO	20	0.0002	0.0001	
TOTAL	21	6.3304		

Tabela 12 - Análise de Variância da curva de calibração do transdutor 2

ANÁLISE ESTÁTISTICA				
TRANSDUTOR PRESSÃO 2 $Y = 0.3365 X + 0.0027$				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M	F
REGRESSÃO	1	6.2268	6.2268	418566.47
RESÍDUO	20	0.0003	0.0001	
TOTAL	21	6.2271		

Tabela 13 - Resultados de Aferição dos Transdutores de Pressão

RESULTADOS DA AFERIÇÃO DOS TRANSDUTORES PRESSÃO							
TRANSDUTOR 1				TRANSDUTOR 2			
PRESSÃO [MCA]	VOLTAGEM [mV]		EQUAÇÃO AJUSTE	PRESSÃO [MCA]	VOLTAGEM [mV]		EQUAÇÃO AJUSTE
	R ₁	R ₂			R ₁	R ₂	
0	0	2	0	0	0	0	0
5	162	173	170	5	170	173	169
10	335	340	339	10	334	344	337
15	509	513	509	15	500	514	505
20	675	675	678	20	673	679	673
25	854	854	848	25	849	850	841
30	1021	1023	1018	30	1013	1010	1010
35	1186	1191	1187	35	1183	1182	1178
40	1358	1358	1357	40	1347	1348	1346
45	1527	1528	1528	45	1517	1512	1514
50	1694	1693	1696	50	1685	1685	1683

R₁ = ASCENDENTE

R₂ = DESCENDENTE

 ANEXO III - ANÁLISE DE VARIÂNCIAS

Tabela 14 - Análise de Variância para a equação de perda de carga para o Filtro de Disco - Mesh 120.

ANÁLISE ESTÁTISTICA				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M	F
REGRESSÃO	1	7.859	7.859	4815.41
RESÍDUO	46	0.075	0.001	
TOTAL	47	7.934		

Tabela 15 - Análise de Variância para a equação de perda de carga para o Filtro de Disco - Mesh 155.

FILTRO DE DISCO - MESH 155				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M	F
REGRESSÃO	1	5.906	5.906	3264.04
RESÍDUO	46	0.083	0.001	
TOTAL	47	5.989		

Tabela 16 - Análise de Variância para a equação de perda de carga para o Filtro de Tela - Mesh 120.

ANÁLISE ESTÁTISTICA				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M	F
REGRESSÃO	1	6.306	6.306	1188.81
RESÍDUO	46	0.244	0.005	
TOTAL	47	6.550		

Tabela 17 - Análise de Variância para a equação de perda de carga para o Filtro de Tela - Mesh 155.

ANÁLISE ESTÁTISTICA				
F.V.	G.L.	S.Q.	Q.M	F
REGRESSÃO	1	5.930	5.930	1556.32
RESÍDUO	46	0.175	0.003	
TOTAL	47	6.105		

ANEXO IV - RESULTADO DOS ENSAIOS

Tabela 18 - Resultado dos ensaios do Filtro de Disco - Mesh 120

RESULTADO DOS ENSAIOS FILTRO DE DISCO VERMELHO - MESH 120							
PERDA DE CARGA [MCA]				VAZÃO [M ³ /H]			
Hf ₁	Hf ₂	Hf ₃	Hf ₄	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄
0.203	0.267	0.293	0.255	1.97	2.10	2.09	2.07
0.315	0.370	0.320	0.357	3.01	3.09	3.06	3.08
0.570	0.512	0.543	0.561	3.97	4.00	4.03	4.04
0.773	0.803	0.827	0.840	5.07	5.06	5.06	5.07
1.070	0.970	1.130	1.097	6.08	6.02	6.13	6.12
1.100	1.170	1.320	1.283	7.01	7.03	7.05	7.04
1.493	1.582	1.657	1.520	8.00	8.04	8.06	8.04
1.793	1.983	1.933	2.035	9.03	9.07	9.04	9.03
2.245	2.203	2.197	2.423	10.04	10.03	10.03	10.04
2.573	2.707	2.830	2.593	11.03	11.09	11.11	11.04
2.937	3.114	3.152	3.253	12.07	12.01	12.03	12.03
3.171	3.613	3.673	3.728	13.01	13.04	13.04	13.05
4.005	4.181	4.123	4.050	13.99	14.05	14.05	14.02
4.610	4.619	4.670	4.597	15.08	15.08	15.05	15.08
5.300	5.205	5.370	5.247	16.04	16.04	16.05	16.03
5.981	6.015	5.953	6.043	17.08	17.08	17.07	17.08

Tabela 19 - Resultado dos ensaios do Filtro de Disco - Mesh 155

RESULTADO DOS ENSAIOS FILTRO DE DISCO AMARELO - MESH 155							
PERDA DE CARGA [MCA]				VAZÃO [M ³ /H]			
Hf ₁	Hf ₂	Hf ₃	Hf ₄	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄
0.187	0.395	0.430	0.410	1.92	2.03	2.03	2.02
0.200	0.618	0.670	0.715	3.00	3.05	3.07	3.07
0.403	0.830	0.821	0.790	4.06	4.01	4.03	3.99
0.890	1.150	1.132	1.180	5.01	5.03	5.02	5.04
1.052	1.505	1.400	1.400	6.00	6.06	6.05	6.04
1.253	1.413	1.688	1.395	7.03	7.05	7.09	7.02
1.506	2.070	2.250	2.130	7.98	8.03	8.11	8.07
2.117	2.330	2.398	2.270	9.03	9.04	9.01	8.99
2.503	2.770	2.701	2.650	10.00	10.05	10.04	10.01
3.013	3.263	3.293	3.315	10.98	11.03	11.04	11.04
3.507	3.571	3.801	3.522	12.04	12.05	12.08	12.04
3.997	4.251	4.315	4.400	13.05	13.03	13.04	13.06
4.603	4.770	4.630	4.692	14.01	14.03	14.02	14.04
5.390	5.473	5.467	5.423	15.07	15.09	15.08	15.06
5.873	5.997	6.050	6.032	15.99	15.99	15.98	15.98
6.553	6.780	6.733	6.793	17.06	17.02	17.04	17.05

Tabela 20 - Resultado dos ensaios do Filtro de Te -
la - Mesh 120

RESULTADO DOS ENSAIOS FILTRO DE TELA VERMELHO - MESH 120							
PERDA DE CARGA [MCA]				VAZÃO [M ³ /H]			
Hf ₁	Hf ₂	Hf ₃	Hf ₄	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄
0.190	0.343	0.325	0.350	1.99	2.05	2.06	2.05
0.253	0.403	0.420	0.432	2.99	3.03	3.03	3.03
0.330	0.602	0.495	0.570	4.07	4.13	4.09	4.11
0.403	0.703	0.698	0.683	4.98	5.02	5.01	5.03
0.621	0.851	0.732	0.723	6.04	6.09	6.09	6.08
0.671	1.015	1.032	1.070	7.04	7.04	7.01	7.03
1.023	1.350	1.298	1.330	8.05	8.06	8.04	8.04
1.341	1.539	1.557	1.503	9.13	9.12	9.09	9.09
1.653	1.921	1.959	1.998	10.10	10.02	10.12	10.13
2.019	2.370	2.427	2.435	11.01	11.08	11.08	11.08
2.378	2.701	2.681	2.673	11.98	12.05	12.04	12.05
2.798	3.132	3.126	3.101	13.03	13.06	13.06	13.05
3.250	3.523	3.543	3.503	14.01	14.03	14.03	14.02
3.823	3.657	3.973	4.007	15.00	15.04	15.05	15.03
4.317	4.482	4.473	4.595	16.01	16.02	16.03	16.03
4.923	5.131	4.973	5.070	17.01	17.09	17.03	17.04

Tabela 21- Resultado dos ensaios do Filtro de Te -
la - Mesh 155

RESULTADO DOS ENSAIOS FILTRO DE TELA AMARELA - MESH 155							
PERDA DE CARGA [MCA]				VAZÃO [M ³ /H]			
Hf ₁	Hf ₂	Hf ₃	Hf ₄	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄
0.173	0.371	0.327	0.398	2.01	2.03	2.03	2.05
0.191	0.450	0.432	0.480	3.07	3.05	3.05	3.08
0.203	0.597	0.573	0.605	4.01	4.07	4.07	4.08
0.381	0.705	0.740	0.670	4.99	5.01	5.02	5.02
0.567	0.930	0.976	0.955	6.04	6.06	6.06	6.05
0.730	1.130	1.121	1.095	7.09	7.03	7.04	7.05
0.901	1.570	1.523	1.440	8.05	8.08	8.08	8.07
1.358	1.780	1.730	1.673	8.99	9.05	9.08	9.07
1.641	1.993	1.973	2.070	10.03	10.13	10.16	10.16
2.092	2.393	2.432	2.382	11.04	11.05	11.05	11.04
2.413	2.650	2.770	2.789	12.01	12.05	12.07	12.07
2.975	3.098	3.152	3.189	13.09	13.09	13.10	13.11
3.376	3.470	3.513	3.687	14.03	14.04	14.04	14.07
3.815	4.103	4.123	4.030	15.01	15.03	15.04	15.04
4.323	4.731	4.500	4.623	16.04	16.09	16.07	16.08
4.827	4.973	5.207	5.038	17.01	17.03	17.06	17.05

ANEXO V - CARACTERÍSTICAS DOS FILTROS

Tabela 22 - Características dos Filtros AMIAD

CARACTERISTICAS DOS FILTROS AMIAD - 1 ½ "		
CARACTERISTICAS	TELA	DISCOS
DIAMETRO ENTRADA	40 mm 1 ½ "	40 mm 1 ½ "
DIAMETRO SAÍDA	40 mm 1 ½ "	40 mm 1 ½ "
VAZAO MÁXIMA	15 M ³ /H	15 M ³ /H
DIREÇÃO DO FLUXO	DENTRO→FORA	FORA→DENTRO
DIAMETRO DA CAMARA DE FILTRAGEM	112 mm	112 mm
DIAMETRO DO ELEMENTO FILTRANTE	85 mm	50 mm
COMPRIMENTO ELEMENTO FILTRANTE	255 mm	255 mm
AREA DO FILTRO	463 cm ²	354 cm ²
AREA EFETIVA DE FILTRAGEM	28.8 cm ²	86 cm ²
MATERIAL DO ELEMENTO FILTRANTE	Polietileno Alta Dens.	Polyester

Tabela 23- Diagrama de Mesh dos Filtros AMIAD

DIAGRAMA DE MESH DOS FILTROS				
ELEMENTO	FILTRO TELA		FILTRO DE DISCO	
COR	VERMELHO	AMARELO	VERMELHO	AMARELO
MICRON	130	100	130	100
MM	0.13	0.10	0.13	0.10
MESH	120	155	120	155

ANEXO VI - SOFTWARE DE AQUISIÇÃO

```
CLEAR
DIM NUMPT(5000),PRESS1(5000),PRESS2(5000)
DIM VAZAO(15000)
CLS
  LOCATE 12,10:PRINT "FAZER NOVO ENSAIO 1"
  LOCATE 14,10:PRINT "LER ENSAIO FEITO 2"
1 INPUT "OPCAO";OP
IF OP<>1 OR OP<>2 THEN GOTO 1
IF OP=2 THEN GOTO 400
INPUT "NOME DO ARQUIVO:";ARQ$
INPUT "NUMERO DE PONTOS:";NP
INPUT "NUMERO DE SERIE:";NPC
INPUT "TEMPO DE ESPERA";TEMPO
GOSUB 500
  AUX10=0
  NPT=1
  COUNT=1
  FOR TIME=NENS TO NPC
  P=640
  CLS
  GOSUB 200
    INPUT "ENTRA",XZ
    FOR TIME2=1 TO NP
      FOR I=0 TO 7
        OUT P,I:D=INP(P)
        T=5+(I*2)
        LOCATE T,30:print "CANAL : ";I
        H=INP(P+1)
        L=INP(P)
        AUX10=((L+(H*256))*5/4095)
        ' CANAL 2 -> ANTES DO FILTRO
        IF I=2 THEN PRESS1(TIME2)=AUX10
        ' CANAL 4 -> DEPOIS DO FILTRO
        IF I=4 THEN PRESS2(TIME2)=AUX10
        ' CANAL 7 -> VAZAO
        IF I=7 THEN VAZAO(TIME2)=AUX10
        NUMPT(NPT)=AUX10
        LOCATE T,45:PRINT USING "#.###";AUX10
        SUM(I)=SUM(I)+AUX10
        LOCATE T,55:print CHR$(17)
        locate t,55:print " "
      
```

```

        NEXT I
        NPT=NPT+1:
        LOCATE 22,28:PRINT "SERIE  :";TIME
        LOCATE 22,40:PRINT "PONTO  :";TIME2
NEXT TIME2
GOSUB 300
GOSUB 447
NEXT TIME
END
N=NPC*NP

```

300

```

OPEN "R",#1,ARQ$,12
  FIELD #1,4 as C$,4 as D$,4 AS E$
  LSET C$=MKS$(NP)
  LSET D$=MKS$(NPC)
  LSET E$=MKS$(TIME)
  PUT #1,1
  IF TIME=1 THEN CC=CC+1
315 field #1,4 as pr1$,4 AS pr2$,4 AS vz$
  for i=1 to NP
    LSET PR1$=MKS$(PRESS1(I))
    LSET PR2$=MKS$(PRESS2(I))
    LSET VZ$=MKS$(VAZAO(I))
    PUT #1,CC
    CC=CC+1
  next i
  NENS=TIME
  PRINT "CC: ";CC;" NENS: ";NENS:
CLOSE
RETURN

```

400

```

CC=1
CLOSE
LOCATE 9,23:PRINT "NOME DO ARQUIVO :";:INPUT A$
A$="A:"+A$
open "R",#1,a$,12
  FIELD #1,4 as C$,4 as D$,4 AS E$
  GET #1,CC
  NP=CVS(C$):PRINT "NP";NP
  NPC=CVS(D$):PRINT "NPC: ";NPC
  TIME=CVS(E$):PRINT "TIME: ";TIME
  DELAY 1
  CC=CC+1
  field #1,4 as pr1$,4 AS pr2$,4 AS vz$
  FOR J=1 TO NPC
    PRINT TAB(10) "P1 mV" TAB(20) "P1 MCA";
    PRINT TAB(30) "P2 mV" TAB(40) "P2 MCA";
    PRINT TAB(48) "VAZAO M3/H " TAB(60) "P1-P2 mV"TAB(70)

```

"P1-P2 MCA"

```

for i=1 to NP
  GET #1,CC
  PRESS1(CC)=CVS(PR1$)
  PRESS2(CC)=CVS(PR2$)
  VAZAO(CC)=CVS(VZ$)
  ER=ABS((PRESS1(CC)-PRESS2(CC))*1000)
  PRINT TAB (10) USING "####.#"; PRESS1(CC)*1000;
  PRINT TAB (20) USING "####.#"; (PRESS1(CC)*1000)/34;
  PRINT TAB (30) USING "####.#"; PRESS2(CC)*1000;
  PRINT TAB (40) USING "####.#"; (PRESS2(CC)*1000)/34;
  PRINT TAB (50) USING "####.#"; VAZAO(CC)*10;
  PRINT TAB (60) USING "####.#"; ER;
  PRINT TAB (70) USING "####.#"; ER/34
  CC=CC+1
next i
NEXT J
CLOSE
END

```

447

```

CLS
LOCATE 22,28:PRINT "SERIE  :";TIME
LOCATE 22,40:PRINT "PONTO  :";TIME2
DELAY TEMPO
RETURN

```

100

```

CLS
LOCATE 3,25:PRINT " SISTEMA DE AQUISICAO DE DADOS"
LOCATE 4,25:PRINT " (AQUISICAO)"
LOCATE 6,20:PRINT " "
LOCATE 7,20:PRINT " "
LOCATE 8,20:PRINT " "
LOCATE 9,20:PRINT " "
LOCATE 10,20:PRINT " "
LOCATE 11,20:PRINT " "
LOCATE 11,20:PRINT " "
LOCATE 12,20:PRINT " "
RETURN

```

200

```

CLS
LOCATE 3,25:PRINT "SISTEMA DE AQUISICAO DE DADOS"
LOCATE 4,25:PRINT "
LOCATE 5,25:PRINT "
LOCATE 6,25:PRINT "
LOCATE 7,25:PRINT "
LOCATE 8,25:PRINT"
LOCATE 9,25:PRINT"
LOCATE 10,25:PRINT"
LOCATE 11,25:PRINT"
LOCATE 12,25:PRINT"
LOCATE 13,25:PRINT"
LOCATE 14,25:PRINT"
LOCATE 15,25:PRINT"
LOCATE 16,25:PRINT"
LOCATE 17,25:PRINT"
LOCATE 18,25:PRINT"
LOCATE 19,25:PRINT"
LOCATE 20,25:PRINT"
LOCATE 21,25:PRINT"
LOCATE 22,25:PRINT"
LOCATE 23,25:PRINT"
RETURN

```

250

```

LOCATE 23,25:PRINT "
LOCATE 24,25:PRINT "
LOCATE 25,25:PRINT "
RETURN

```

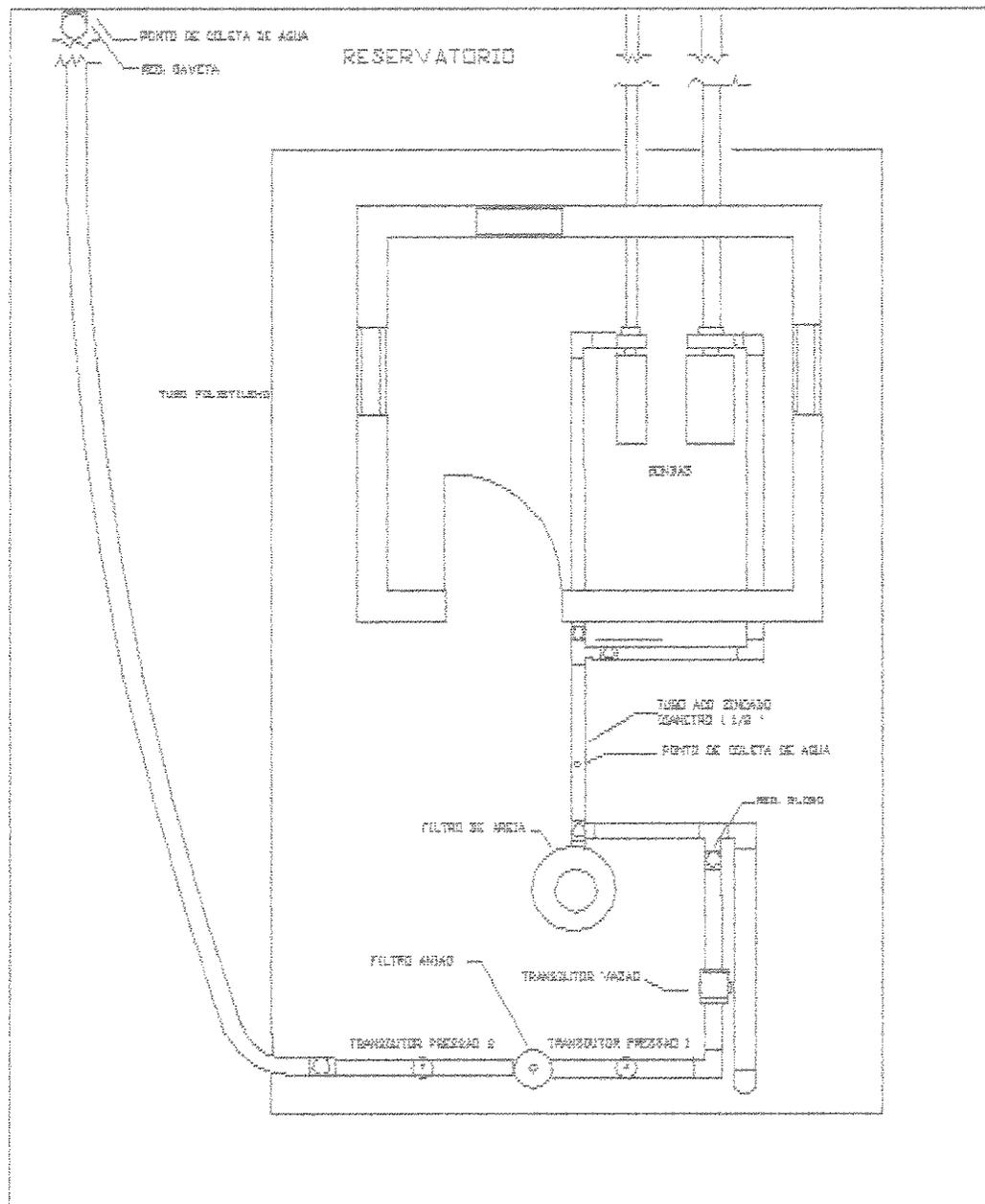
500

```

ARQ$="A:"+ARQ$
open "R",#1,ARQ$,12
FIELD #1,4 as C$,4 as D$,4 AS E$
GET #1,1
NP=CVS(C$):PRINT "NP";NP
NPC=CVS(D$):PRINT "NPC:";NPC
TIME=CVS(E$):PRINT "TIME;";TIME
PRINT NP,NPC,TIME
IF TIME>0 THEN CC=(TIME*NP)+2
IF TIME=0 THEN CC=1
TIME=TIME+1
NENS=TIME
PRINT "PONTOS AMOSTRADOS:";CC;" N. ENSAIO:";NENS
PRINT ARQ$
CLOSE
DELAY 5
RETURN

```

ANEXO VII - LAY-OUT DO SAAD



9 - SUMMARY

The objective of this study was to develop a data acquisition and analysis system, in order to evaluate the head loss through disc and screen filters localized in a trickle irrigation control head.

Basically, the system is composed by pressure and flow transducers connected to signal conditioner, A/D converter and controlled by a PC-Microcomputer.

The pressure transducers were also developed and their calibration curves were determined.

The developed system showed a good performance during the tests, not having any failure or malfunctioning which lead to misunderstanding the acquisition and the analysis of data.

The results showed that the mathematical behavior of both type filters could be significantly, at level of 1%, explained by the power function $H_f = aQ^b$.

Despite of the mesh and flow used the disc filter had higher values of head loss when compared to screen filters.

For the disc filters, the mesh 155 had head loss values higher than the mesh 120 and for the screen filters these values were not significant at level of 1% .

10 - BIBLIOGRÁFIAS

- ADIN, A., ALON, G. Mechanism and process parameters of filter screens. Journal of the irrigation and drainage division. ASCE, Ann Arbor, v. 4, n 112, p. 293-305, 1986.
- AMIAD Filtration Systems. [Catalog of Filters for Localized Irrigation]. Israel, 1991.
- CONAUT Controles Automáticos, [Cátalogo linha medidores magnéticos indutivos] São Paulo, SP, 1991.
- CHANG, Cheu. Shang. et al. Construção de um transdutor tipo diafragma para medida de Pressão Hidraulica in: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. , 1992. Santa Maria. Anais
- DALLY, J. W., RILEY, W. F., McCONNELL, Instrumentation for Enginnering measurement. New York : John Wiley, 1984. 576p.
- DALLY, J. W., RILEY, W. F. Experimental stress analysis. Tokio, McGraw-Hill, 1978. 571p.
- DOEBELIN, E. O. Measurement systems application and design. New York, McGraw-Hill, 1983. 876p.
- ENGLISH, S. D. Filtration and water treatment for micro-irrigation in: PROC. of INT. DRIP TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3,1985, Fresno, CA, 1985. 475 p. p.50-57.

FINKEL, H. J. **Handbook of irrigation technology.**
Boca Raton, Florida, CRC press inc., 1982. 323 p.
p. 287-93.

BUCKS, D. A., NAKAYAMA, F. S., GILBERT, R. G.
~~Trickle irrigation water quality and preventive~~
maintenance. **Agric. Water Manage.** Phoenix, Ariz,
v. 2, p. 149-162, 1979.

FUNDAÇÃO DE PESQUISA E ASSESSORAMENTO À INDÚSTRIA
Aquisição e Conversão de Dados por Computador.
1 ed. Itajubá, MG. 1988. 232 p.

HAMADA, E. Projeto Final apresentada na disciplina
de Tópicos Especiais em Máquinas Agrícolas,
Faculdade de Engenharia Agrícola : UNICAMP,
Campinas. 2 sem. 1989.

JUAN, J. A. M. S. **Riego por Goteo.** Madrid Espanha
Mundi-Prensa., 1985. 215p.

KELLER, J. , KARMELI, D. Trickle irrigation design
parameters. **Trans ASAE.**, St Joseph, MI, v. 4,
n 17, p. 678-84, 1974.

MITCHELL, B. W., McLURE, W. F. Signal Conditioning
for filtering, amplifying, computing, simulating
and controlling. St Joseph, MI: **ASAE**, 1975. 19p.
Instrumentation and measurement for environmental
sciences.

MEYER, J. L. Cleaning drip systems. in: PROC. of
INT. DRIP TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 1,1985,
Fresno, CA, 1985. 475p. p.41-44.

NAKAYAMA, F. S. , BUCKS, D. A. , CLEMMENS, A. J.
Assessing trickle emitter application
uniformity. **Trans. ASAE**, St Joseph, MI, v. 4,
n. 22, p. 816-821, 1979.

NAKAYAMA, F.S, BUCKS, D.A. Emitter clogging
effects on trickle irrigation uniformity.
Trans. ASAE, St. Joseph, MI, v. 24, n. 1,
p. 77-80, 1981.

- NAKAYAMA, F. S. , BUCKS, D. A. Trickle irrigation for crop production. Phoenix, U.S. Department of agricultural, Agricultural Research Service, U.S. Water Conservation Laboratory, 1986.
-
- OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação.** São Paulo, Livraria Nobel, 1977. 267p.
- PADMAKUMARI, O. , SIVANAPPAN, R. K. Study on clogging of emitters in drip systems in: PROC. of INT. DRIP TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 1, 1985, Fresno, CA, 1985. 475 p. p.80-83.
- VERMEIREN, L. , JOBLING, G. A. **Localized Irrigation.** Rome, FAO Irrigation and drainage, 1984. 203p.
- ZARO, M. A. et al. Projeto e Construção de manômetros usando Estensômetros. **Revista Ensino de Engenharia**, São Paulo, 6, 1, p. 13-23, 1987.
- ZEIER, K., HILLS, J. D. Trickle irrigation screen filter performance as affected by sand size and concentration. **Trans. ASAE**, St. Joseph, MI, v. 3, n. 30, p. 735-739, mai, 1987.
- ZOERB , G. C. **Pressure Measuring Elements.** Chicago, IL: ASAE, 1984. 56 p. Paper n. 82-826C.
- ZUCH, Eugene L. Linking the Analog World to Digital Computers. **Chilton's Instruments & Control Systems**, New York, v. 9, n. 50, p. 87-89, set. 1977.
- ZUZARTE, G. Aferição e Calibração de instrumentos de pressão. **Instrumentação e Controle de Processos.** Mcklausen, São Paulo, n. 48, p. 54-62, 1991.
- WAGNER, L. E. et al PC-Based data acquisition interface and expansion system. **Trans. ASAE**, St. Joseph, MI, v. 6, n. 4, p. 499-506, 1990.

WEIRICH, P. H., SATTler, A. ,SVERZUT, C. B.
Recomendações para apresentação de planos de
pesquisa, dissertações e teses na Faculdade de
Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia
Agrícola : UNICAMP, Campinas. 1. sem. 1992.
