

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ENSAIO RADIAL DE ASPERSORES MONITORADO POR
SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

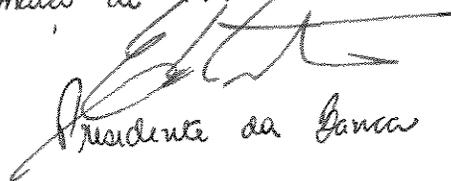
POR

EDSON ROBERTO ZANON

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Edson Roberto Zanon e aprovada pela Comissão Julgadora em 20 de outubro de 1995.

Campinas, 17 de março de 1997.


Presidente da Banca

Orientador
Prof. Dr. Roberto Testezlaf

Co-orientador
Prof. Dr. Edson Eiji Matsura

Campinas (SP)
Outubro de 1995



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ENSAIO RADIAL DE ASPERSORES MONITORADO POR
SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

POR

EDSON ROBERTO ZANON

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

Campinas (SP)
Outubro de 1995

65427

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Z17e Zanon, Edson Roberto
Ensaio radial de aspersores monitorado por sistema de
aquisição de dados / Edson Roberto Zanon.--Campinas,
SP: [s.n.], 1995.

Orientadores: Roberto Testezlaf, Edson Eiji Matsura.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Irrigação por aspersores. 2. Aspersores - Testes. 3.
Engenharia de Irrigação. 4. Transdutores. I. Testezlaf,
Roberto. II. Matsura, Edson Eiji. III. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola.
IV. Título.

**ENSAIO RADIAL DE ASPERSORES MONITORADO POR
SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS**

POR

EDSON ROBERTO ZANON

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Edson Eiji Matsura
Faculdade de Engenharia Agrícola UNICAMP

Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira
Faculdade de Engenharia Civil - FEC
UNICAMP

Prof. Dr. Tarlei Ariel Botrel
Escola Superior de Agricultura "Luis de
Queiroz" - ESALQ

Campinas (SP)
31 de Outubro de 1995

Dedico à família,

meu pai ARMANDO (*in memoriam*)
minha mãe MARIA APARECIDA
minhas irmãs e irmãos

e

à PATRÍCIA.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho só foi possível pela compreensão, apoio, estímulo e companheirismo de pessoas e Instituições, às quais agradeço:

Prof. Dr. Roberto Testezlaf, pela orientação, crédito e amizade dedicados.

Prof. Dr. Edson Eiji Matsura, pela co-orientação tranqüila e confiança depositada, pela participação nas várias etapas deste trabalho e pela amizade desenvolvida ao longo do tempo.

Prof. Dr. José Euclides Stripp Paterniani, pela colaboração prestada.

Aos funcionários do Laboratório de Protótipos do Dep. de Máquinas Agrícolas da FEAGRI, José Maria, Luis, Roberto Carlos (Fubá) e Ronei, pela colaboração e companheirismo nas horas de trabalho intenso.

Aos técnicos do Laboratório de Hidráulica e Irrigação da FEAGRI: Túlio pelo incentivo e amizade; Gelson, pelo empenho e disposição na realização dos ensaios.

Ao Diretor da Divisão de Engenharia Agrícola de Jundiaí - IAC, Dr. Waldemar Mazieiro, pelo apoio prestado sem o qual não seria possível a realização dos ensaios. Aos funcionários Antonio Brentan e Sr. Zico, pelos préstimos indispensáveis.

Às secretárias do DAGSOL e à da Pós-graduação, Ana, pela paciência e atenção dispensada durante o curso.

Aos amigos de curso, pela dedicação. E em especial, aos alunos José Ricardo Lucarelli e Carlos Lagroti, pelo incentivo nas horas difíceis.

Ao CNPq e FAPESP, pelo apoio financeiro.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho, e que aqui não foram mencionados.

SUMÁRIO

Página

PÁGINA DE ROSTO	i
DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Uniformidade de distribuição de água de aspersores	6
3.1.1 Coeficiente de uniformidade	7
3.1.2 Distribuição espacial dos coletores.....	9
3.1.3 Dimensão e precisão dos coletores, tempo e número de ensaios.	11
3.1.4 Ensaios com distribuição radial dos coletores em ambiente controlado.....	15
3.2 Sistemas de aquisição de dados.	18
3.2.1 Transdutores.	21
3.2.1.1 Medida de pressão.	24
3.2.1.2 Medida do volume de água.	24
3.2.1.3 Medida de vazão.....	25
3.2.2 Interferências.....	25
3.2.3 Conceitos fundamentais.	26
3.2.3.1 Confiabilidade de sistemas de medição.	28
3.2.4 Calibração de transdutores e sistemas de medição.....	29
3.3 Sistemas automáticos de ensaios de aspersores.	30
4. MATERIAL E MÉTODO.....	34
4.1 Local do ensaio.	34
4.2 Materiais e Equipamentos utilizados.	34
4.3 Configuração do Sistema de Aquisição de Dados (SAD) no ensaio do aspersor.	37
4.4 Configuração do Ensaio Radial do Aspersor.....	38

4.5 Metodologia.....	40
4.5.1 Calibração dos transdutores.....	40
4.5.1.1 Calibração das células de carga.....	40
4.5.1.2 Calibração do transdutor de pressão.....	42
4.5.1.3 Calibração do medidor de vazão.....	42
4.5.2 Ensaio radial.....	43
4.5.2.1 Leitura dos sinais dos transdutores-coletores pelo SAD.....	44
4.5.2.2 Leitura do peso de água pela balança de precisão.....	45
4.5.2.3 Volume de água aderido ao coletor.....	45
4.5.2.4 Comparação entre as medições do volume de água precipitado pelo SAD e as medições feitas através da balança.....	46
4.5.2.5 Evolução da lâmina de água aplicada pelo aspersor.....	47
4.5.2.6 Determinação da lâmina média e Coeficientes de Uniformidade.....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1 Célula de carga e balança eletrônica.....	49
5.2 Volume de água aderido ao coletor.....	57
5.3 Evolução do perfil do volume de água aplicado nos coletores.....	61
5.4 Medidas indiretas: Lâminas e Coeficientes de Uniformidade.....	63
5.5 Uniformidade de leitura do sinal dos Coletores-Transdutores(CT).....	67
5.6 Sistema de aquisição de dados (SAD).....	71
6. CONCLUSÕES.....	73

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	75
8. ANEXOS.....	76
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
10. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.....	88
ABSTRACT.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Ensaio com aspersores dispostos em quatro cantos com distribuição dos coletores em forma de malha quadrangular, conforme HART (1961).....	10
Figura 2 : Distribuição dos coletores na forma de malha quadrangular e radial em ensaio de um único aspersor, HART(1961).	10
Figura 3 : Representação esquemática de um sistema de aquisição de dados, DOEBELIN (1983).....	20
Figura 4: Representação esquemática das tensões provocadas em elemento de metal ou semicondutor por ocasião de forças de tração (a) ou de compressão (b)	23
Figura 5: Vista lateral e superior da célula de carga modelo G-1,0 de fabricação da Empresa Alfa Instrumentos Eletrônicos LTDA utilizada no conjunto coletor-transdutor para leitura automática do volume de água precipitado em ensaios radiais de laboratórios, dimensões em mm.	36
Figura 6: Esquema do coletor-transdutor (C-T), formado por uma base suporte, uma célula de carga e um coletor.....	36
Figura 7: Sistema de aquisição de dados, composto pelo microcomputador, placas de aquisição e condicionamento, fontes de alimentação e cabos.	38
Figura 8 : Esquema de montagem do sistema de aquisição para ensaio radial de aspersor em ambiente controlado.....	39
Figura 9 : Curva de calibração da célula 1 e reta de regressão dos pontos de calibração.	41

Figura 10: Esquema de montagem da linha radial de coletores-transdutores.....	44
Figura 11: Volume aderido interna e externamente aos coletores dos conjuntos Coletores- Transdutores dos Raios 1 e 2 para o ensaio radial 1, obtido por diferenças de pesagem.....	57
Figura 12: Volume aderido interna e externamente aos coletores dos conjuntos Coletores- Transdutores dos Raios 1 e 2 para o ensaio radial 2, obtido por diferenças de pesagem.....	58
Figura 13: Volume aderido interna e externamente aos coletores dos conjuntos Coletores- Transdutores dos Raios 1 e 2 para o ensaio radial 3, obtido por diferenças de pesagem.....	58
Figura 14: Volume aderido interna e externamente aos coletores dos conjuntos Coletores- Transdutores dos Raios 1 e 2 para o ensaio radial 4, obtido por diferenças de pesagem.....	59
Figura 15: Evolução do volume de água nos coletores radiais ao longo do tempo para o ensaio 1, aspersor entre as coletores 11 e 21.....	61
Figura 16: Evolução do volume de água nos coletores radiais ao longo do tempo para o ensaio 2, aspersor entre as coletores 11 e 21.....	62
Figura 17: Evolução do volume de água nos coletores radiais ao longo do tempo para o ensaio 3, aspersor entre as coletores 11 e 21.....	62
Figura 18: Evolução do volume de água nos coletores radiais ao longo do tempo para o ensaio 4, aspersor entre as coletores 11 e 21.....	63
Figura 19: Sinal transformado para volume (ml) do Coletor-Transdutor aos 90 min do Ensaio 1, com duração de 15 s em uma frequência de aquisição de 100 Hz.....	68
Figura 20: Valores médio e máximo de desvio padrão das cinco leituras dos sinais de volume dos Coletores-Transdutores para o ensaio 1, raios 1 e 2.....	69
Figura 21: Valores médio e máximo de desvio padrão das cinco leituras dos sinais de volume dos Coletores-Transdutores para o ensaio 2, raios 1 e 2.....	69

Figura 22: Valores médio e máximo de desvio padrão das cinco leituras dos sinais de volume dos Coletores-Transdutores para o ensaio 3, raios 1 e 2.	70
Figura 23: Valores médio e máximo de desvio padrão das cinco leituras dos sinais de volume dos Coletores-Transdutores para o ensaio 4, raios 1 e 2.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Número de testes necessário para se medir CUC com tolerâncias especificadas e nível de confiança estatística desejado, SOLOMON (1979).	14
Tabela 2 : Limites das curvas de calibração das células de carga e correlação dos pontos.....	41
Tabela 3 : Desvios de leitura do volume de água aplicado nos coletores do sistema de aquisição de dados para a repetição 1.....	49
Tabela 4 : Desvios de leitura do volume de água aplicado nos coletores do sistema de aquisição de dados para a repetição 2.....	50
Tabela 5 : Desvios de leitura do volume de água aplicado nos coletores do sistema de aquisição de dados para a repetição 3.....	50
Tabela 6 : Desvios de leitura do volume de água aplicado nos coletores do sistema de aquisição de dados para a repetição 4.....	51
Tabela 7: Análise de variância estatística para comparação entre os valores médios de quatro repetições dos métodos de leitura pelo SAD e balança do volume de água aplicado no ensaio radial de aspersores para o Raio 1.....	53
Tabela 8: Análise de variância estatística para comparação entre os valores médios de quatro repetições dos métodos de leitura pelo SAD e balança do volume de água aplicado no ensaio radial de aspersores para o Raio 2.....	53

Tabela 9: Comparação estatística de médias de volumes de água lidos pelo SAD e pela balança de precisão, para o teste de Tukey, em sete posições ao longo do Raio 1 com quatro repetições de ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	54
Tabela 10: Comparação estatística de médias de volumes de água lidos pelo SAD e pela balança de precisão, para o teste de Tukey, em sete posições ao longo do Raio 2 com quatro repetições de ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	55
Tabela 11: Imprecisão (%) das leituras do volume de água realizadas pelo SAD em relação às leituras por pesagem com balança eletrônica de precisão para quatro ensaios radiais com dois raios diametralmente opostos em ambiente fechado.	56
Tabela 12: Diferenças no valor de volume médio coletado provocadas pelo volume médio aderido aos coletores dos raios 1 e 2, medidas pelos processos de pesagem por balança e pelos coletores-transdutores, para quatro repetições em ambiente fechado.	60
Tabela 13: Lâmina média e Coeficientes de Uniformidade de distribuição de água para uma malha de 6 x 6 metros gerados pelo programa CATCH3D através dos resultados de ensaio radiais.	65
Tabela 14: Lâmina média e Coeficientes de Uniformidade de aplicação de água médios para uma malha de 6x6 metros gerados pelo programa CATCH3D através dos resultados quatro ensaios radiais.	65
Tabela 15: Quadro das análises de variância para as variáveis Lâmina média, Lâmina média <25%, CUC, AELQ e UD, com quatro repetições, calculadas para o raio 1, com dois tratamentos: (1) leitura de volume de água pelo SAD e (2) pela Balança.	66
Tabela 16: Quadro das análises de variância para as variáveis Lâmina média, Lâmina média <25%, CUC, AELQ e UD, com quatro repetições, calculadas para o raio 2, com dois tratamentos: (1) leitura de volume de água pelo SAD e (2) pela Balança.	67
Tabela 17: Comparação estatística de médias através do teste de Tukey, Raio 1 com quatro repetições de ensaio radial do aspersor Naan 501-U da Lâmina média, Lâmina média <25%, CUC, AELQ e UD geradas pelo programa CATCH3D através dos resultados de leitura de volume pelo SAD e pela Balança de precisão para uma malha de 6x6 m.	77

Tabela 18: Comparação estatística de médias através do teste de Tukey, Raio 2 com quatro repetições de ensaio radial do aspersor Naan 501-U da Lâmina média, Lâmina média <25%, CUC, AELQ e UD geradas pelo programa CATCH3D através dos resultados de leitura de volume pelo SAD e pela Balança de precisão para uma malha de 6x6 m.....	77
Tabela 19: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 1, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	77
Tabela 20: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 1, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	78
Tabela 21: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 1, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	78
Tabela 22: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 1, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	78
Tabela 23: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 2, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	78
Tabela 24: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 2, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	79
Tabela 25: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 2, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	79
Tabela 26: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 2, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	79
Tabela 27: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 3, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.....	79

Tabela 28: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 3, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	80
Tabela 29: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 3, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	80
Tabela 30: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 3, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	80
Tabela 31: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 4, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	80
Tabela 32: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 4, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	81
Tabela 33: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 4, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	81
Tabela 34: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 4, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.	81
Tabela 35: Evolução do volume de água registrado pelo Sistema de Aquisição de Dados no ensaio radial, repetição 1 em ambiente controlado, do aspersor Naan 501-U, repetição 1, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de ensaio.	82
Tabela 36: Evolução do volume de água registrado pelo Sistema de Aquisição de Dados no ensaio radial, repetição 2 em ambiente controlado, do aspersor Naan 501-U, repetição 1, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de ensaio.	82
Tabela 37: Evolução do volume de água registrado pelo Sistema de Aquisição de Dados no ensaio radial, repetição 3 em ambiente controlado, do aspersor Naan 501-U, repetição 1, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de ensaio.	83

Tabela 38: Evolução do volume de água registrado pelo Sistema de Aquisição de Dados no ensaio radial, repetição 4 em ambiente controlado, do aspersor Naan 501-U, repetição 1, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de ensaio.....	83
--	----

RESUMO

Este trabalho teve como finalidade montar e avaliar um Sistema de Aquisição de Dados (SAD) para automatização de ensaios radiais de aspersores de média e baixa pressão em laboratório, utilizando células de carga para medição do volume de água captado nos coletores dispostos em dois raios únicos ao alcance do aspersor. Utilizou-se de uma configuração composta por um microcomputador PC/AT 386, uma placa de conversão Analógica/Digital (A/D) de 32 canais diferenciais, três placas de condicionamento de sinais de 8 canais, 16 conjuntos Coletores-Transdutores (C-T) compostos por uma célula de carga, fonte de alimentação, um transdutor de pressão, um medidor de vazão, um conjunto motobomba e uma balança eletrônica de precisão. Realizaram-se quatro ensaios com o aspersor Naan 501-U, bocal de 1,6 mm, com duração de duas horas a uma pressão de serviço de 195 kPa. Efetuaram-se as leituras do volume de água no coletor dos conjuntos (C-T) pelo SAD e por pesagem na balança para comparação entre os métodos. O sistema possibilitou realizar leituras do volume de água precipitado nos coletores aos 30, 60, 90 e 120 minutos do ensaio, totalizando-se quatro curvas do perfil de distribuição de água nos coletores. O volume aderido aos coletores foi medido por pesagem na balança para verificar sua influência no resultado do volume de água aplicado. Estes resultados, obtidos tanto pelo SAD como pela pesagem na balança, foram utilizados para gerar uma malha quadrangular de 6x6 metros para

cada repetição e raios correspondentes, fornecendo valores de lâmina média aplicada, lâmina média <25% e os Coeficientes AELQ, UD e CUC. As leituras realizadas pelo SAD do volume de água aplicado nos coletores foram estatisticamente iguais às leituras obtidas por pesagem na balança digital segundo o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Os resultados indiretos de Lâminas e Coeficientes gerados para uma malha de 6x6 m foram estatisticamente iguais para o teste de Tukey, a 5% de significância, quando calculados através dos volumes lidos pelo SAD(C-T) e pela balança digital, exceto para o coeficiente AELQ. O SAD apresentou um valor de desvio padrão máximo de 0,347 ml entre todas as medidas realizadas. O volume aderido aos coletores apresentou uma curva decrescente ao longo do raio com valores significativos em torno de 9% da lâmina média aplicada no coletor, sugerindo a necessidade de uso de antiaderente ou de aumento do volume médio coletado. Finalmente, o sistema utilizado não apresentou problemas de operação, é de fácil instalação, não necessitando de conhecimentos específicos para sua montagem.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão constitui-se num dos métodos mais utilizados em todo o mundo devido a sua versatilidade, facilidade de manejo e possibilidade de aplicação à maioria dos tipos de cultura, de solo e de topografia. O crescimento da irrigação no Brasil vem-se intensificando nos últimos anos, não obstante é enorme o potencial de crescimento da irrigação no País, visto que, hoje, o percentual da área em uso com lavoura irrigada é menor que 15%.

A uniformidade da irrigação por aspersão e a igualdade da lâmina de água lançada pelos aspersores sobre toda a superfície irrigada têm uma importância fundamental na qualidade da irrigação pois suas conseqüências se verificam diretamente no rendimento das culturas. O planejamento racional de um sistema de irrigação por aspersão requer, além de outras informações, o conhecimento da quantidade e distribuição de água aplicada (SILVA et al., 1994). Conhecer os parâmetros de eficiência de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão, bem como as características técnicas dos equipamentos utilizados, principalmente dos aspersores, é indispensável no uso e manejo da irrigação para o bom rendimento da cultura.

O padrão de distribuição de água dos aspersores, coeficiente de uniformidade, é essencial para o desenvolvimento de pesquisas, criação de protótipos, controle de qualidade dos equipamentos e no projeto de sistemas de irrigação por aspersão. Os ensaios com leitura manual das lâminas de água aplicada nos coletores para determinação do padrão de distribuição de água dos aspersores exigem tempo e mão-de-obra. O trabalho manual da leitura, além de cansativo em função da rotina, envolve erros.

O modelo de ensaio de aspersores, recomendado pela Norma NBR 8989 da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, é o de distribuição espacial dos coletores na área de forma quadrangular, demandando grandes áreas de laboratório.

A forma de distribuição e o maior número de coletores tornam difícil a realização dos ensaios de aspersores. Visando adaptar-se às condições de laboratório e reduzir o tempo gasto na leitura das lâminas, vários pesquisadores da área têm utilizado o modelo radial de distribuição espacial. Tal modelo consiste em dispor os coletores ao longo de quatro raios na área de aplicação do aspersor para, após coletadas as lâminas efetuar a conversão para o modelo de malha quadrangular. É possível realizar ensaios radiais com a mesma confiança dos ensaios quadrangulares. Assim, torna-se interessante o uso da configuração radial para ensaios de aspersores.

O processo de medição, que é um fator muito importante no ensaio, além de demorado e cansativo, está sujeito a erros. Leituras diferenciadas pelos técnicos, tempos distintos de evaporação da água dos coletores durante a medição, lâmina aderida ao coletor, entre outros, são alguns dos erros cometidos nesses ensaios manuais. Esses erros irão refletir

sobre os resultados do processamento dos dados, que deverão ser digitalizados implicando maior gasto de tempo.

Para que se possa reduzir o tempo gasto nesses ensaios, aumentar a precisão das medidas, permitir maior repetibilidade, possibilitar novos estudos e criar uma rotina neste tipo de avaliação de aspersores, pesquisadores da área têm desenvolvido trabalhos visando a automatização desses ensaios.

O uso de microcomputadores e conseqüente emprego de sistemas de aquisição de dados gerenciados por *softwares* versáteis, que possibilitam a leitura de varáveis físicas através de transdutores e seu posterior processamento, vem permitindo muitos avanços em todas as áreas de pesquisa. A automatização completa de um processo qualquer envolve várias etapas, passando pela transformação da variável física em um sinal elétrico de corrente ou tensão, sua transformação em sinal digital, interpretação e registro para posterior análise.

A tecnologia necessária para a utilização de sistemas de aquisição de dados é dominada mundialmente e já conhecida no Brasil. Várias pesquisas têm usado sistemas de aquisição de dados computadorizados, desenvolvendo trabalhos para aplicação e divulgação dessa tecnologia no meio agrícola. No que se refere à área de irrigação, alguns trabalhos envolvendo aquisição de dados estão sendo produzidos atualmente no Brasil.

O caminho natural dos ensaios de equipamentos em geral, dentro das possibilidades físicas, é o da automatização. Ensaios automatizados, mediante sistema de aquisição de dados, além de grande utilidade no desenvolvimento de novas pesquisas, deverão beneficiar as

indústrias do setor, favorecer os irrigantes, facilitar e aprimorar a execução de ensaios de aspersores.

Ensaio de aspersores em laboratório, na ausência de vento, têm grandes possibilidades de se tornarem automatizados à medida que os fabricantes e pesquisadores a aplicarem, com maior frequência, o modelo radial, tornando possível a leitura automática do volume precipitado no coletor.

2. OBJETIVOS

Montar o *hardware* de um sistema de aquisição de dados para coleta e processamento dos dados com base em um microcomputador compatível com o IBM PC AT.

Montar e avaliar um sistema para monitoramento de ensaios de uniformidade de distribuição de aspersores de média e baixa pressão, utilizando-se de um sistema de aquisição de dados.

Avaliar um sistema automático para leitura dos volumes coletados durante o ensaio de um aspersor de baixa pressão, tendo células de carga como elemento sensor, comparando-o às técnicas convencionais de ensaios de aspersores com leituras por pesagem em balança digital.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Uniformidade de distribuição de água de aspersores.

A uniformidade com que um sistema de irrigação por aspersão aplica água é um importante aspecto da performance deste sistema. A desuniformidade de aplicação da água resulta em grandes perdas econômicas para algumas combinações de déficit ou excesso de água aplicada. Entretanto, o custo de sistemas projetados para aplicações mais uniformes de água é geralmente maior. Para uma decisão econômica em projetos de irrigação por aspersão, é importante ser capaz de medir e prever a uniformidade de aplicação para os sistemas de irrigação por aspersão (SOLOMON, 1979).

BILANSKI & KIDDER (1958) estudaram como a distribuição de água é afetada pelos vários componentes do aspersor. Neste estudo, avaliaram os seguintes fatores: braço oscilante, pressão de operação, diâmetro do orifício, comprimento da parte cilíndrica do bocal, ângulo cônico do bocal do aspersor, taxa de rotação do aspersor, rugosidade da parte cilíndrica do bocal, comprimento do tubo entre o corpo do aspersor e o bocal, orifícios não circulares no bocal do aspersor e tubos de descarga cilíndricos.

Segundo VILAS BÔAS (1994), vários autores afirmam que muitos fatores afetam a distribuição de água pelos aspersores, mas dentre esses fatores, destacam-se: a pressão de serviço, a rotação dos aspersores, a altura do aspersor, o diâmetro e tipo de bocal, o espaçamento e as condições climáticas.

3.1.1 Coeficiente de uniformidade.

CHRISTIANSEN (1942) foi o pioneiro nas avaliações quantitativas do desempenho de aspersores, sendo muito citado até hoje pela validade de sua proposta. Em seu trabalho, definiu o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), uma das mais aceitas definições de uniformidade de distribuição de água para sistemas de irrigação por aspersão, na qual a relação entre a variação da lâmina aplicada e a sua lâmina média, em toda a área, é dada pela seguinte expressão matemática:

$$CUC = 100 * \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^N |V_i - \bar{V}|}{(N * \bar{V})} \right].$$

onde:

CUC = coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (%)

V_i = volume de água observado no coletor de posição i (ml)

N = número de posições considerado no ensaio

\bar{V} = volume médio observado nos coletores (ml)

FRIZONE (1992) explica que Wilcox & Swailes propuseram, em 1947, um novo coeficiente baseado no desvio padrão (S), que é uma medida de dispersão de pontos assim como o desvio médio utilizado por CHRISTIANSEN (1942), denominando-o Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE), expresso pela seguinte equação:

$$CUE = 1 - S/Y_m$$

onde:

CUE = Coeficiente de Uniformidade Estatística (%)
 S = Desvio padrão dos valores de lâmina aplicada (ml)
 Y_m = Lâmina média aplicada (ml)

Segundo BERNARDO (1987), existem várias equações para calcular a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão. Dentre elas, destacam-se o CUC, o CUE e a equação de uniformidade recomendada pelo Serviço de Conservação de Solo dos Estados Unidos (SCS-USDA) CUD, representada por:

$$CUD = 100 * (Y_{25}/Y_m)$$

onde:

Y₂₅ = média de 25% do total de pluviômetros, com as menores precipitações (ml)
 Y_m = média das precipitações de todos os pluviômetros (ml)

Esse mesmo coeficiente Kruse (1978) (Apud FRIZONE, 1992), denominou de Uniformidade de Distribuição.

HART (1961) propôs outro coeficiente baseando-se no fato de que para uma distribuição normal da lâmina aplicada, a média dos 25% menores valores de água é aproximadamente 1,27*S menor que Y_m. O coeficiente proposto é definido por:

$$UDH = 1 - 1,27 * (S/Y_m)$$

onde:

UDH = Coeficiente de uniformidade proposto por HART(1961);
 S = Desvio padrão dos valores de lâmina aplicada (ml);
 Y_m = Lâmina média aplicada (ml').

Atualmente, o método de ensaio proposto por CHRISTIANSEN (1942) é ainda utilizado, existindo, hoje, normas que regulamentam esses ensaios, como a ASAE S 330.1 (1979), ABNT NBR 8988 (1985) e ABNT NBR 8989 (1985). Essas normas sugerem a distribuição de coletores de água ao redor do aspersor estudado, obedecendo uma configuração quadrangular ou radial, respeitando alguns critérios como área mínima dos coletores, altura máxima do coletor em relação ao solo, para garantir a representatividade do ensaio.

Com os dados obtidos através do ensaio de aspersores, podem-se determinar vários parâmetros como, por exemplo, Uniformidade de Distribuição de Água (UD) e área deficientemente irrigada. De posse desses parâmetros, pode-se avaliar tanto o desempenho de aspersores individuais, simulando-se condições de espaçamentos para projeto de sistemas de irrigação por aspersão, como também um sistema já instalado no campo.

3.1.2 Distribuição espacial dos coletores

HART (1961) cita os tipos básicos de ensaio de aspersores conforme sua distribuição espacial. No primeiro tipo - Figura 1 - quatro aspersores são colocados em quatro cantos e, os coletores, na área de precipitação formada pelos aspersores operando simultaneamente; no segundo - Figura 2 - dispõem-se os coletores em malha e radialmente ao redor de um único aspersor colocado no centro da área. Nas duas situações, o cálculo é feito com as precipitações nos coletores para obter um coeficiente de uniformidade.

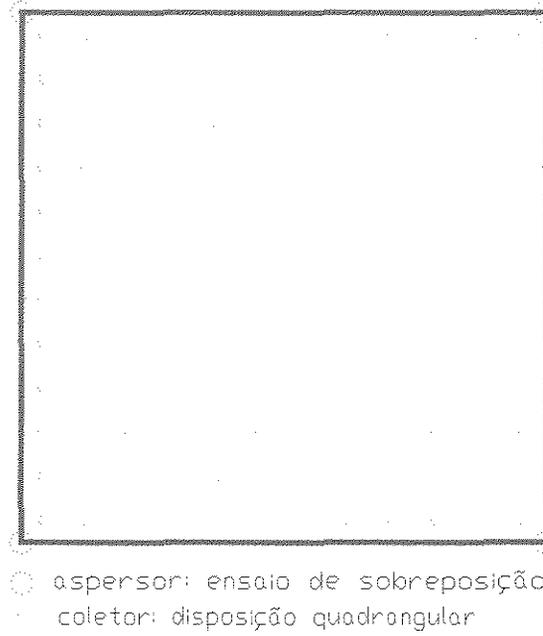


Figura 1 : Ensaio com aspersores dispostos em quatro cantos com distribuição dos coletores em forma de malha quadrangular, conforme HART (1961).

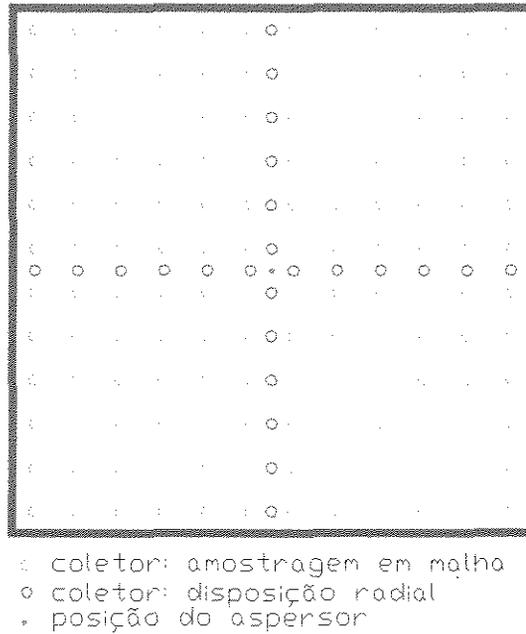


Figura 2 : Distribuição dos coletores na forma de malha quadrangular e radial em ensaio de um único aspersor, HART(1961).

Coelho et al. (1992), ao compararem os valores de coeficiente de uniformidade de aplicação de água de Christianse (CUC), obtidos em ensaios de aspersores de pequeno porte, com duas formas de distribuição de coletores ao redor do aspersor: a quadrangular e a radial,

encontraram uma elevada correlação entre os valores de CUC para os dois métodos ($r^2 > 0,996$). Esses autores sugerem que a disposição radial de coletores, devido à facilidade de instalação, poderá viabilizar a realização de ensaios de uniformidade em laboratórios, na ausência total de ventos.

3.1.3 Dimensão e precisão dos coletores, tempo e número de ensaios..

FISCHER & WALLENDER (1988) estudaram a influência do diâmetro do coletor e do tempo de duração do ensaio sobre a incerteza na lâmina de água coletada. O ensaio, feito em laboratório, com a ajuda de um aparato automático para leitura das lâminas coletadas, permitiu aos autores concluir que o coeficiente de variação (CV) de aplicação de água no ponto ao longo da linha radial diminui com o aumento da duração do teste para determinado diâmetro de coletor. O valor do CV da lâmina de água coletada diminuiu com o aumento do diâmetro do coletor, quando os testes foram feitos para um mesmo tempo de duração. Concluíram, ainda, que a variabilidade de um teste a outro, mantendo-se as mesmas condições de diâmetro e tempo, foi maior próximo à base do aspersor e no final do raio molhado. Sugeriram, como explicação, a hipótese de que o impacto do braço oscilante do aspersor borrifava água próximo ao aspersor aumentando a variação, e a interrupção do jato causa grande variação na borda externa do modelo. Recomendam o uso de testes com tempo de duração longo e coletores de diâmetros maiores que os convencionalmente utilizados na avaliação de campo para minimizar a incerteza na variabilidade da lâmina aplicada pelo aspersor.

DAVIS (1966) analisou coeficientes de uniformidade de distribuição de água de aspersores em relação à densidade de amostragem. Os resultados encontrados mostraram que

para distribuições razoavelmente uniformes, coletores representando de 0,25 a 6,67% da área de ensaio não afetaram os valores de CUC e dos coeficiente de uniformidade estatística; já para distribuições desuniformes, o autor recomenda que os coletores tenham no máximo 2,5% da área de ensaio.

O estudo da distribuição espacial de água de aspersores, justificado pela necessidade de quantificá-la e qualificá-la, vem se desenvolvendo, ultimamente, com o objetivo de encontrar a melhor forma de representar e coletar as lâminas aplicada: seja pela alteração no modelo de distribuição dos coletores, seja pela mudança nos parâmetros de dimensionamento do próprio coletor ou, ainda, pela modificação no tempo de ensaio.

MAREK et al. (1985) avaliaram estatisticamente três tipos de coletores para sistema de aspersores de impacto, a saber: funis de combustível, latas de óleo e um funil separador. Ressalta que um bom coletor deve ter características como "lábio fino", para separar as gotas de água que tocam esta região do coletor, capacidade de prevenir respingo de gotas, de minimizar a evaporação das gotas que tocam a parede interna, nela aderindo-se, e também a de minimizar a evaporação da água coletada. Afirmam que o uso de diferentes coletores para medidas em ensaios de aspersores pode ter um significativo impacto sobre a estimativa de valores de eficiência. Os autores concluíram, em seu trabalho, que o funil separador apresentou melhor precisão, porém com custos proibitivos para uso em larga escala no campo; as latas de óleo, por sua vez, mostraram-se razoáveis, exibindo aceitável grau de precisão com referência à uniformidade, a lâmina coletada foi diminuída em 5% prevendo uma superestimativa da lâmina aplicada para a vazão testada.

SOLOMON (1979) estudou a variabilidade do Coeficiente de Uniformidade de aspersores e os fatores que a influenciam, realizando ensaios em condições de campo. Os dados mostram que pode ser considerável a variação nos valores medidos do CUC para condições similares. Recomenda ser desnecessária a utilização de uma casa decimal para relatar os valores de CUC, o que pode significar mais precisão que se obtém atualmente nos processos de medição para este tipo de ensaio.

Conhecer a variabilidade do CUC é um auxílio no planejamento do teste e para a interpretação dos dados (SOLOMON, 1979). Assim, assumindo que as medidas de CUC são normalmente distribuídas e que os desvios padrões de cada medida são dados por:

$$S = 21,26 - 0,2126 * CUC$$

onde : S = Desvio padrão das medidas de CUC;

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen para a situação que se deseja medir (%).

Walpole (1968) (Apud SOLOMON, 1979) explica que a teoria básica das influências estatísticas sugere que existe a seguinte relação entre o número de teste a executar e a tolerância sobre os resultados de CUC:

$$n = \frac{S^2 * Z^2}{(tol)^2}$$

onde :

n = número de testes necessário;

S = Desvio padrão das medidas de CU;

Z = número relativo ao nível de confiança estatística desejado (para níveis de 80, 90 e 96%, Z é igual a 1,28, 1,65 e 1,96 respectivamente);

tol = tolerância com a qual o CUC a ser medido está para ser especificado.

Concluiu-se, portanto, que o número necessário de testes depende do nível de CUC que se está medindo e o nível de confiança estatística desejado. SOLOMON (1979), considera que o valor de CUC para uma dada situação é um número alusivo sendo difícil fixá-lo (Tabela 1). Para um número viável de testes, ou seja pequeno, deve-se trabalhar com grande tolerância e/ou baixo nível de confiança estatística. Segundo o autor, é difícil medir altos valores de CUC com precisão, por isso são necessários muitos testes para alta confiança estatística e pequena tolerância. Após muitos ensaios, conclui que para um intervalo de confiança de 95% e uma tolerância no valor de CUC de $80 \pm 5\%$ são necessárias três repetições.

O desvio padrão das medidas dos valores de CUC é correlacionado com seu próprio valor. Desvios padrões para de valores de CUC ao redor de 90 estão próximos de 2, de 4 para CUC's em torno de 80, e de 6 para CUC's próximos de 70. Dada a variabilidade inerente ao processo de medição do CUC, não é possível identificar pequenas diferenças na performance do sistema com base somente em poucos testes, conclui SOLOMON (1979).

Tabela 1 : Número de testes necessário para medir CUC com tolerâncias especificadas e nível de confiança estatística desejado, SOLOMON (1979).

Tolerância	Nível de	CUC		
± 1	80	67	30	8
	90	111	50	13
	95	157	70	18
± 3	80	8	4	1
	90	13	6	2
	95	18	8	2
± 5	80	3	2	1
	90	5	2	1
	95	7	3	1

3.1.4 Ensaios com distribuição radial dos coletores em ambiente controlado.

O perfil de aplicação de água pode ser obtido através do giro de um único raio determinado por ensaios com coletores dispostos radialmente em ambiente protegido, gerando, então, uma malha que pode ser utilizada para cálculo de coeficientes de uniformidade e sobreposição de aspersores em diversos espaçamentos (CHEN & WALLENDER, 1984).

BILANSKI & KIDDER (1958) realizaram ensaios radiais de aspersores com coletores espaçados de 0,60 m e duração de uma hora, nos quais estudaram como a distribuição de água é afetada pelos diversos componentes do aspersor. Afirmam que é interessante a realização deste tipo de ensaio em ambientes fechados com a eliminação das variáveis climatológicas, como o vento.

Estudando o raio de alcance de aspersores, KINCAID (1982) utilizou o modelo de ensaio radial em ambiente fechado com coletores espaçados de 0,5 m. Em outro trabalho, o mesmo autor utilizou o modelo radial para avaliar o padrão de distribuição de água de aspersores na ausência de vento (KINCAID, 1991).

COELHO (1990) estudou a influência da regulagem de aspersores rotativos agrícolas sobre a uniformidade de distribuição de água e na produção das culturas. Utilizou o modelo de distribuição radial, com duas linhas de coletores próximas e paralelas. Os coletores de alumínio possuíam diâmetro (\varnothing) de 10,66 cm com altura (h) de 12 cm. Para leitura do volume aplicado nos coletores, utilizou uma balança digital de 500 g de capacidade nominal e precisão de 0,1%. Transformou peso em volume, utilizando 1 g/cm^3 como peso específico da água. Os resultados

mostraram que os desvios padrões dos volumes coletados em 60 perfis de distribuição é maior nas duas extremidades do perfil. Entre suas conclusões, está a afirmação de que um único valor de CUC pode representar duas ou mais distribuições espaciais diferentes de água.

Na avaliação de aspersores para operação em baixa pressão, VICTORIA (1992) utilizou o ensaio radial, com três repetições e com os coletores espaçados em 0,6 m, sendo o primeiro coletor colocado a 0,3 m do aspersor. Uma única linha radial com 25 coletores foi utilizada para coleta da água aplicada. Os valores de vazão e pressão foram determinados por um sistema de aquisição de dados que fazia a leitura dos sinais oriundos dos sensores de vazão e pressão. Para leitura do volume de água aplicado nos coletores, utilizou proveta de 100 ml e precisão de 1 ml. O perfil de precipitação foi rotacionado para a simulação da malha quadrangular gerando uma matriz de 40 x 40, através da qual calculou os Coeficientes de Uniformidade. Afirma, em suas conclusões que as pressões maiores proporcionaram valores mais elevados de CUC.

VILAS BÔAS (1994) comparou três métodos de amostragem de distribuição espacial de água de aspersores: em malha, radial e radial/CEMAGREF (modelo desenvolvido no laboratório francês de mesmo nome, onde os coletores têm formato curvilíneo acompanhando a curvatura segundo a qual estão dispostos com ângulo de abertura de 1° e 50' centrado na posição do aspersor). Os ensaios, feitos sob condições de campo, e, na sua maioria, na ausência de ventos, foram realizados simultaneamente. Utilizando-se de um aspersor ASBRASIL, modelo ZAD-30 com bocais de diâmetro 3,8 mm, realizou 37 ensaios. O aspersor apresentou rotação uniforme de 1,28 rpm e vazão média de 1,465 m³/h. Todos os métodos de amostragem apresentaram, para a lâmina média, o mesmo tipo de perfil.

característico de bocais circulares trabalhando a baixas precipitações. Após comparação estatística das curvas de perfil encontradas para os três métodos, concluiu que o modelo radial CEMAGREF apresentou menor Coeficiente de Variação (CV); pela sobreposição dos intervalos de confiança gerados pelas curvas (funções), concluiu que há semelhança entre o método de malha e o radial, e entre o radial e o radial/CEMAGREF, não havendo sobreposição quando comparados os métodos radial e radial/CEMAGREF. Finalizando, confirmou a facilidade de instalação e economia do método de amostragem radial, tendo ainda a vantagem adicional de viabilizar a realização de ensaios em ambientes fechados, na ausência de ventos tornando-os, assim, bastante promissores e recomendando sua utilização.

Segundo VILAS BÔAS (1994), dentre os fatores que determinam a qualidade das estimativas realizadas, dois são muito importantes: o tamanho da amostra (n.º de coletores instalados e espaçamento entre pontos amostrados) e a configuração espacial da amostra (malha, radial, etc.).

Tanto COELHO (1990) e VICTORIA (1992) como VILAS BÔAS (1994) são unânimes em afirmar as vantagens dos ensaios radiais. VICTORIA (1992) enfatiza que “em ambientes fechados há maior controle das variáveis de teste, tornando mais precisas as determinações e mais confiáveis as relações obtidas”, afirmando que “desta forma, os resultados apresentarão maior universalidade e será possível melhor comparação entre os parâmetros de interesse dos projetos”.

Por esses motivos, há uma tendência, entre as pesquisas relacionadas à determinação de parâmetros de operação de aspersores, para a utilização do modelo radial de amostragem visando à determinação de coeficientes de uniformidade, bem como sua automatização.

3.2 Sistemas de aquisição de dados.

MORRISON (1978) descreve que um sistema de aquisição de dados é normalmente composto por um conjunto de transdutores, um amplificador de sinal, um circuito multiplexador, um circuito coleta/segura, uma interface A/D, e o computador.

DOEBELIN (1983) sugere que a maioria dos instrumentos e sistemas de medição pode ser apresentada como um sistema generalizado de medição, que comporta três elementos básicos, a saber:

elemento sensor: é o sensor do transdutor, que faz uma medição analógica do sinal de nível e produz um sinal de saída proporcional à grandeza física medida.

circuito condicionador : composto por vários aparelhos, tais como:

conversor de sinais : transforma a grandeza lida em sinal de voltagem, corrente ou frequência;

amplificador : aumenta a magnitude do sinal enviado pelo conversor;

circuito multiplexador : para seleção dos sinais provenientes da malha;

interface A/D : converte o sinal analógico em digital;

placa de aquisição de dados : controla via *software* a entrada de dados (digital) no microcomputador;

circuito de leitura : memória e tela do microcomputador.

MITCHEL (1983) afirma que a transmissão de sinais entre transdutores e computadores merece grande atenção. Os transdutores têm a magnitude dos seus sinais geralmente inferior aos valores mínimos com os quais os computadores podem trabalhar; esses sinais, portanto, devem ser emitidos a condicionadores que amplificam sua ordem de grandeza e/ou eliminam distorções indesejadas e que, posteriormente, enviam ao microcomputador. Essa amplificação é o que se chama de ganho, ou seja, um fator de proporcionalidade que relaciona o sinal gerado pelo transdutor, condicionado e amplificado àquele enviado ao microcomputador.

Sistemas capazes de transmitir sinais a grandes distâncias devem considerar entradas diferenciais e isoladas, a fim de minimizar o surgimento de ruídos, recomenda SCIACCA (1978).

Para que o sistema de aquisição leia os dados de uma série de transdutores é necessário que os sinais deles provenientes sejam controlados de forma a serem lidos em seqüência. Assim, a cada intervalo determinado, é permitida a passagem do sinal de um transdutor específico, que irá, então, passar por uma interface analógica-digital (A/D). Isto é chamado multiplexação. Em seguida, o sinal analógico deve ser "capturado" por um circuito coleta/segura, para que se tenha um sinal constante durante a conversão A/D.

A interface A/D converte, então, este sinal analógico em um sinal digital, que poderá ser recebido pelo microcomputador. A resolução do sinal digital obtido é função do número de *bits* utilizados pela interface. Assim, uma interface com N *bits* terá um sinal analógico convertido em digital com uma resolução teoricamente igual a 2^N (ZUCH, 1977).

As funções de amplificação, multiplexação, coleta/segura e conversão A/D são executadas pelas chamadas placas de conversão A/D, bastante utilizadas na atualidade, como por exemplo, as placas fabricadas pela Empresa Lynx⁽¹⁾ Tecnologia Eletrônica LTDA. O sinal digital convertido é recebido pelo microcomputador através de um controle via *software*, e então, armazenado em um disco magnético.

O controle da taxa de aquisição, ou seja, a quantidade de dados obtidos em um intervalo de tempo, é realizado via *software*, e, como observa MORRISON (1978), cuidados especiais devem ser tomados com o tempo gasto em cada operação, de forma a haver sincronização entre as etapas.

A representação esquemática do funcionamento de um sistema de aquisição de dados é mostrado pela Figura 3.

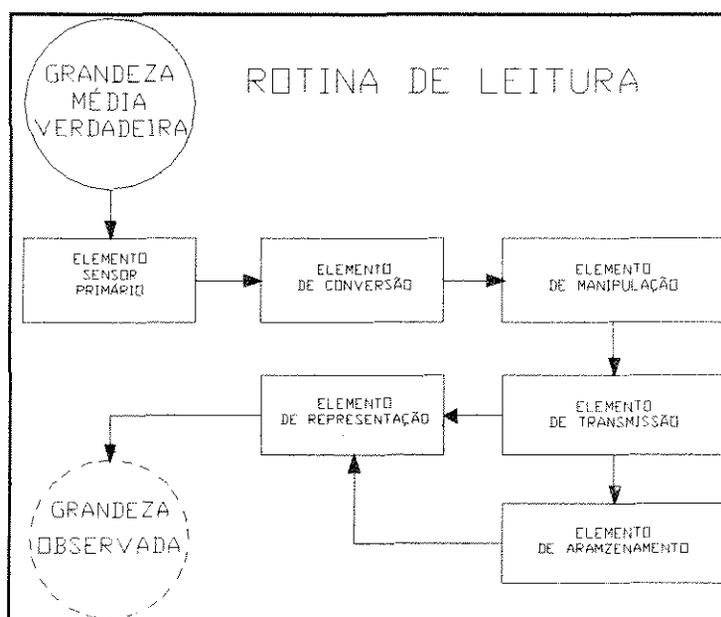


Figura 3 : Representação esquemática de um sistema de aquisição de dados, DOEBELIN (1983).

⁽¹⁾ Empresa fornecedora da placa para execução do projeto. A citação não implica recomendação por parte do autor.

O uso de sistemas de aquisição de dados em ensaios passíveis de ser automatizados tende a se intensificar tanto pela necessidade, quanto pela facilidade que as atuais placas fabricadas oferecem e que contêm todo o circuito condicionador. Essas placas A/D, acopladas a microcomputadores, vieram simplificar, para os não especialistas em eletrônica, a aquisição de dados.

3.2.1 Transdutores.

DALLY et al. (1984) define transdutor como "um equipamento eletromecânico que converte uma variação de grandeza mecânica em uma variação de grandeza elétrica que possa ser monitorada como uma voltagem após o condicionamento do sinal". Segundo o mesmo autor, as características dos transdutores são determinadas, primeiramente, pelo sensor que está incorporado ao transdutor para produzir o sinal elétrico de saída.

O sensor é o primeiro elemento no sistema de medição. A entrada para esse elemento é o valor verdadeiro da variável medida e a saída do elemento depende de seu valor. Os elementos são classificados de acordo com o sinal da saída, elétrico ou mecânico. Elementos com saída elétrica são divididos em passivos e ativos. Elementos passivos como os resistivos, capacitivos e indutivos requerem um suprimento externo de energia para fornecer um certo sinal de saída em voltagem ou corrente (BENTLEY, 1988).

Muitos sensores diferentes são utilizados em projetos de transdutores, como os potenciômetros, transformadores diferenciais, *strain gages*, sensores capacitores, elementos piezoelétricos, termistores, etc. (DALLY et al., 1984).

Segundo BENTLEY (1988), elementos resistivos podem medir temperatura, fluxo de calor, vazão, deslocamento, esforço (peso).

Extensômetros

BENTLEY (1988) define um “extensômetro” como um elemento de metal ou semicondutor cuja resistência e comprimento variam quando estão sobre esforço. O efeito da pressão aplicada sobre o elemento produz uma tensão no corpo deste que é definido pela (mudança no comprimento) / (comprimento original não tensionado). Na Figura 4, o deslocamento é:

$$e = +\Delta L / L \text{ (tração)} \qquad e = -\Delta L / L \text{ (compressão)}$$

em ambos os casos, o deslocamento é longitudinal, isto é, ao longo da pressão aplicada. A relação entre o deslocamento e pressão é linear para um certo corpo numa certa faixa de valores, e a inclinação da reta é chamada de módulo de elasticidade (E) do corpo:

$$E = P / \Delta L$$

onde:

e = tensão

ΔL = variação do comprimento do corpo

L = comprimento do corpo sem presença de tensão

E = Módulo de Elasticidade

P = Pressão aplicada ao corpo

O extensômetro pode ser definido como uma resistência elétrica delgada, geralmente em forma de lâmina (*foil gages*), aplicada a uma base isolante que, quando devidamente colada a uma superfície metálica, por exemplo, transforma a deformação desta superfície em uma variação da resistência elétrica, proporcional à deformação da peça. Sendo o extensômetro

atravessado por uma corrente elétrica, irá produzir uma variação de tensão pela variação da resistência.

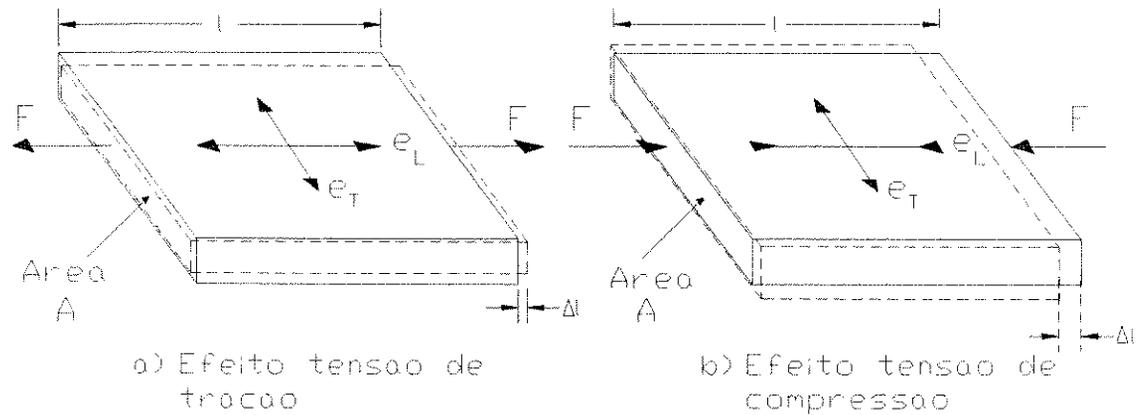


Figura 4: Representação esquemática das tensões provocadas em elemento de metal ou semicondutor por ocasião de forças de tração (a) ou de compressão (b).

ZANON & TESTEZLAF (1995) testaram duas células de carga de capacidades nominais de 0,5 e 1,0 Kgf de fabricação nacional com o objetivo de utilizá-las na automatização de ensaios radiais de aspersores utilizando um sistema de aquisição de dados. Avaliaram as curvas de calibração, o efeito de histerese, de linearidade de resposta e o tempo de estabilização da água no coletor. Os resultados mostraram uma similaridade entre as duas células quanto à histerese e à linearidade de resposta; o tempo necessário à estabilização da água no coletor para leitura do sinal após a aplicação de golpes no coletor não representaram um valor significativo em relação ao tempo de amostragem, não influenciando a leitura média. Finalizando, concluíram que o uso de célula de carga de 0,5 e 1,0 Kgf na automatização de ensaios de aspersores é viável.

No monitoramento de ensaios de aspersão, devem-se realizar medições de diversas grandezas físicas: as principais são o nível de água dentro dos coletores e a evaporação

ocorrida durante o ensaio, a pressão da água na tubulação próxima ao aspersor, a vazão de água no aspersor e a temperatura da água e do ambiente.

3.2.1.1 Medida de pressão.

Medidores de pressão são equipamentos que convertem pressão em sinal elétrico através de uma medida qualquer de deslocamento, esforço ou resposta piezoelétrica (DALLY, 1984).

As técnicas de medição de pressão são, em geral, semelhantes às de medição de nível, visto que essas grandezas se interrelacionam. CHANG et al. (1992) desenvolveram um transdutor de pressão do tipo diafragma, cuja deformação era medida através de extensômetros (*strain gage*) dispostos em um arranjo do tipo ponte de Wheatstone.

3.2.1.2 Medida do volume de água.

Pode-se monitorar o volume de água dentro de um coletor, relacionando-o com seu peso, sua pressão ou medindo-o diretamente.

Vários trabalhos apresentam projetos e aplicações de transdutores de nível (volume), utilizando-se de diferentes tipos de sensores, como o transdutor projetado por DODI JUNIOR et al. (1990), que se baseia no princípio da capacitância gerada entre dois fios condutores isolados. Algumas técnicas de medição de nível são apresentadas por HALL (1978) e BELSTERLING (1981).

Para medição do peso, geralmente se faz uso de células de carga. Essas também apresentam, como elemento sensor, extensômetros. A aplicação de uma força (peso) numa extremidade da célula de carga faz com esta sofra uma deformação e ofereça um sinal de saída variável proporcional à força aplicada.

3.2.1.3 Medida de vazão.

A medição de vazão pode ser feita, segundo DOEBELIN (1983), de várias formas, dentre as quais se destacam: método padrão de medição do volume pelo tempo, medidores tipo orifícios, tubo de Pitot, medidores tipo turbina, medidores eletromagnéticos, medidores ultra-sônicos, etc.

Com relação aos transdutores de vazão, os mais comuns são aqueles que realizam a medição da velocidade média de deslocamento de um fluido dentro de um duto com secção transversal conhecida. A medição da velocidade pode ser realizada, ainda, de outras maneiras, como a técnica de medição por indutância, que consiste em medir a tensão induzida por um condutor (no caso, o fluido medido) atravessando um campo magnético conhecido.

3.2.2 Interferências.

Em todo sistema de medição existem interferências que precisam ser controladas ou eliminadas. Segundo DOEBELIN (1983), as entradas são classificadas em três categorias:

1. **desejadas**: representa as quantidades que o instrumento está especificamente destinado a medir;
2. **de interferência**: representa a quantidade na qual o instrumento não está intencionalmente sensível;
3. **modificantes**: são as quantidades que causam mudança nas relações $(I/O)^{(2)}$ para as desejadas e de interferência.

Segundo o manual da Empresa LYNX , “o grande problema ao se montar um sistema de medição é a conexão dos diversos elementos do sistema de medição: sensores, amplificadores, placas de conversão A/D, etc. Apesar de, individualmente, cada elemento poder apresentar baixo ruído, a conexão dos vários elementos pode provocar o surgimento de ruídos elevados.” Descreve as seguintes fontes de ruídos: rede de alimentação, circuitos digitais operando em alta frequência dentro do próprio sistema de medição ou próximo, monitores de vídeo, motores, fornos de indução e sinais de telecomunicação (ondas de rádio AM, FM, TV).

3.2.3 Conceitos fundamentais.

Todo sistema de medição, assim como os transdutores, deve passar por uma calibração. Para a caracterização do processo de medição de um sistema de aquisição de dados faz--se necessário conhecer alguns conceitos fundamentais, tais como os que se apresentarão, a seguir, segundo BENTLEY (1988); DOEBELIN (1983) e ISMAIL (1991):

⁽²⁾ I = INPUT (entrada); O = OUTPUT (saída)

Exatidão : Indica o desvio da leitura de um instrumento em relação a uma entrada conhecida. A exatidão pode ser melhorada por meio de uma calibração até o limite da precisão do aparelho;

Precisão : É a habilidade de um instrumento em reproduzir entradas conhecidas. Como exemplo: para distinguir entre exatidão e precisão, considera-se a medição de uma voltagem conhecida de 100 volts. Tomam-se 5 leituras de 104, 103, 105, 103 e 105 volts. Por esses valores, o instrumento não pode ter uma **exatidão** melhor que 5% (5 volts), enquanto a **precisão** de leitura média de 104 volts é de somente 1 volt. Observa-se que o instrumento pode ser calibrado para que seja capaz de fornecer medidas confiáveis com uma exatidão de ± 1 volt. A exatidão pode ser melhorada por meio de calibração, mas não além da precisão do instrumento;

Legibilidade : É a facilidade de leitura da escala do instrumento;

Linearidade : Parâmetro que indica o máximo desvio dos pontos de calibração em relação à reta regressora. A norma ABNT 10583 denomina-o de não-linearidade;

Sensibilidade : Representa a inclinação da curva de calibração em um dado ponto. É a razão (taxa) de mudança de saída (O) com a respectiva entrada (I). Exemplificando: para um registrador gráfico com leitura de 1 mV realizada numa escala de 10 cm de comprimento e, supostamente linear para toda escala, a sensibilidade seria de 10 cm/mV;

Histerese : É a diferença entre as curvas de medição obtidas de forma ascendente (carregamento) e descendente (descarregamento). É uma característica natural de todo instrumento, já que, pela segunda Lei da Termodinâmica, nenhum processo é reversível. Numericamente, é obtida como a máxima diferença entre a curva de carregamento e descarregamento. Para um dado valor de entrada (I), a saída (O) pode ser diferente dependendo se I está crescendo (I_c) ou decrescendo (I_d);

$$H(O) = O(I_c) - O(I_d)$$

$$\text{Histerese máx} = H * 100 / (O_{\text{máx}} - O_{\text{min}}) \dots (\% \text{ do fd escala})$$

Resolução : É a menor diferença entre duas indicações detectável pelo aparelho. Alguns elementos são caracterizados pelo aumento da saída em uma série de passos (degraus) discretos, ou saltos na resposta para um incremento contínuo na entrada. Resolução também pode ser definida como a maior mudança na entrada (I) que pode ocorrer sem qualquer correspondente mudança na saída (O);

Limiar de leitura (Threshold) : É a menor leitura detectável pelo aparelho;

Faixa de trabalho : Representa o intervalo de operação do instrumento.

3.2.3.1 Confiabilidade de sistemas de medição.

Segundo BENTLEY (1988), a confiabilidade ($R(t)$) de um elemento ou um sistema pode ser definida como : "A probabilidade que o elemento ou sistema operará para determinado nível de performance, para um específico período, sujeito a condições ambientais específicas." A confiabilidade varia com o tempo.

A confiabilidade de um *sistema* será dependente da confiabilidade de cada um dos elementos.

$$\text{real} \rightarrow \lambda_1 \rightarrow \lambda_2 \rightarrow \dots \rightarrow \lambda_i \rightarrow \lambda_{n-1} \rightarrow \lambda_n \rightarrow \text{medido}$$

onde:

real = valor real da grandeza medida;

λ_n = resposta de cada elemento do sistema à grandeza medida;

medido = valor final interpretado pelo sistema.

Assumindo que as confiabilidades (R_i) são independentes, a Confiabilidade do sistema (R_s) será o produto das confiabilidades individuais.

$$R_s = R_1 * R_2 * \dots * R_i * R_{n-1} * R_n$$

A precisão de um sistema de medição, aparentemente um conceito simples, é extremamente difícil de ser quantificada, já que, em última análise, resume todos os conceitos aqui listados. Assim, estes conceitos, facilmente mensuráveis, tornam-se de grande utilidade para avaliar com maior segurança o desempenho dos equipamentos (transdutores) e do sistema sob diferentes aspectos.

3.2.4 Calibração de transdutores e sistemas de medição.

A importância da calibração está na oportunidade de verificar, ou seja, comparar o instrumento ou o sistema a um padrão conhecido e, portanto, reduzir os erros melhorando a exatidão do instrumento. Em geral, a calibração envolve a comparação das leituras do instrumento a ser calibrado com um instrumento referencial de maior precisão que o primeiro, que deve ser, segundo ISMAIL (1991) :

1. Um padrão primário;
2. Um padrão secundário com precisão melhor que o instrumento a ser calibrado;
3. Uma excitação conhecida.

É importante compreender que todo sistema de medição irá sempre consumir uma certa porção de energia do meio analisado, o que acarretará em erro na medição.

Salienta DOEBELIN (1983) : " a grandeza medida sempre é afetada pelo ato da medição, o que torna impossível a obtenção de medições perfeitas". Sendo assim, toda medição é acompanhada por um erro, que deverá ser limitado pela calibração do instrumento ou do sistema. Isto não significa, porém, que o erro esteja sendo controlado, já que não se conhece o verdadeiro valor da grandeza medida. O que se pode fazer para limitar esta quantidade de energia "roubada" pelo sistema de medição é observar, na fase de projeto do aparelho os conceitos de impedância de entrada e rigidez do sistema, conforme a grandeza que se espera medir com o instrumento em questão.

A calibração do sistema consiste de medições especiais, que representarão a grandeza real a ser medida, de uma amostra da população dos valores das medições fornecidas pelo instrumento sob condições supostamente idênticas, o que ocorrerá se houver controle "estatístico" da variável.

A confiança na resposta de um sistema de aquisição de dados a uma variável física qualquer envolve a escolha do elemento sensor primário (transdutor) mais adequado, a verificação dos conceitos básicos para o transdutor e o sistema, a correta calibração dos transdutores e do sistema e, finalmente, o controle das variáveis externas que afetem aquela a ser lida.

3.3 Sistemas automáticos de ensaios de aspersores.

Inúmeros estudos podem ser encontrados na literatura descrevendo sistemas de aquisição de dados. BENNETT & EVERT JR. (1980) e FOROUD & HLIBKA (1989) desenvolveram sistemas automáticos para monitoramento contínuo de nível de água. O projeto de BENNETT & EVERT JR. (1980) é particularmente interessante por apresentar princípios básicos necessários para sua implementação em nível de microprocessador, resultando em um sistema dedicado.

Um sistema eletromecânico de medição, formado por um equipamento digital para armazenamento dos dados (*datalogger*) e um plotador gráfico, foi desenvolvido por FOROUD & HLIBKA (1989). Esse sistema apresenta ainda uma interface para transferência dos dados digitalizados diretamente para um microcomputador compatível com o IBM PC.

Os dois sistemas anteriormente citados utilizam um tipo de sensor composto por uma bóia ligada a um potenciômetro. Essa escolha se deve à natureza da aplicação a que se destinam, visto que, segundo os autores, é imprescindível o emprego de sensores mais robustos que os transdutores comuns para o monitoramento de nível de água durante longos períodos. Nestes casos, preferem-se células de carga a transdutores de pressão de grande sensibilidade, visto que as primeiras são mais robustas.

STANGE & BENDER (1984) desenvolveram um sistema de aquisição de dados para medição da taxa instantânea de aplicação de água de aspersores de baixa pressão. É um equipamento de baixo custo, baseado em um microprocessador de 8 *bits* e memória EPROM, o que permite sua reprogramação para aplicações específicas. A alimentação dos circuitos é feita por meio de baterias, permitindo sua portabilidade. Oito transdutores são conectados diretamente aos canais de entrada do microcomputador, sendo a leitura de seus dados controlada por *software*. O transdutor utilizado se assemelha a um coletor basculante: à medida que é preenchido, o coletor tomba, fechando um interruptor e emitindo um sinal representando um incremento de leitura, obtendo, portanto, medições discretas.

FISCHER & WALLENDER (1988) desenvolveram um aparato para testes de laboratório o qual consiste em um conjunto de válvulas solenóides instaladas sob os coletores de água (num total de 34) e um único transdutor diferencial de pressão (+/- 20,7 kPa), colocado em uma tubulação que se comunica com os coletores. Um microcomputador controla a abertura e fechamento das válvulas e, em seguida, o transdutor emite para o microcomputador um sinal elétrico proporcional à coluna de água existente no coletor lido.

HODGES et al. (1990), utilizando 90 sensores do tipo coletor basculante, montaram um sistema de aquisição de dados para acompanhamento de aspersores em testes de campo. Os sensores foram dispostos em uma malha quadrada de 15 metros de comprimento e conectados a um *datalogger*, que ainda recebia dados de vazão, pressão, e temperatura do ar e da água, velocidade e direção do vento. A fiação da malha de sensores é feita de forma matricial, reduzindo, assim, a quantidade de componentes do sistema e permitindo que cada sensor seja lido a cada dois segundos. Afirmam os autores que os principais componentes do custo do sistema são o *datalogger* programável, o conjunto de coletores basculantes e a fiação utilizada.

SEGINER et al (1992) utilizam os mesmos princípios apresentados por FISCHER & WALLENDER (1988), mas, incluem também a medição e controle da vazão, pressão e ângulo de inclinação do aspersor. O sistema apresenta um mecanismo bastante prático para aferição das medições de nível de água nos coletores durante os ensaios. Contudo, em virtude de sua configuração, para realizar a leitura de cada sensor são despendidos cerca de 17 segundos, tempo necessário para a estabilização do movimento de água devido à abertura da válvula solenóide, leitura do sinal, fechamento da válvula e drenagem da tubulação para eliminação da bolhas de ar, o que se constitui num problema. A exatidão nas medições é da ordem de 1%, porém diferenças da ordem de 5% foram observadas entre repetições de ensaios de um mesmo emissor.

O sistema proposto por FISCHER & WALLENDER (1988), relativamente mais barato, necessita de cuidados especiais para tomada de leitura tornando a aquisição dos dados impossível em tempo real. Apresenta um transdutor mais sensível exigindo maiores cuidados e

rigidez com relação ao deslocamento de seu conjunto. A variação entre as distâncias dos coletores neste sistema fica limitada à necessidade de perfuração da tubulação.

A configuração de FISCHER & WALLENDER (1988) apresenta as seguintes desvantagens:

1. Problema de bolhas na tubulação cheia de água, criando uma pressão indesejável;
2. Não permite fazer leituras durante o ensaio, tornando impossível acompanhar a evolução do perfil de distribuição de água do aspersor durante o ensaio;
3. Dificuldade na variação das distâncias entre coletores;
4. Dificuldade de adaptação a terrenos não nivelados, inviabilizando transporte do sistema para realização de ensaios de campo.

Os trabalhos relacionados anteriormente são uma prova do interesse pela automatização de ensaios de aspersores. No Brasil, apesar do número limitado de trabalhos relacionados à irrigação e automatizaçã, as ferramentas necessárias à sua concretização estão disponíveis e poucas barreiras existem para serem transpostas. Trata-se, então, de utilizar os conhecimentos adquiridos e as tecnologias atualmente dominadas para, efetivamente, automatizar este tipo de ensaio, conquista muito importante para a área de irrigação.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 Local do ensaio.

O presente estudo foi realizado nas dependências da Divisão de Engenharia Agrícola (DEA), pertencente ao Instituto Agronômico de Campinas e situada em Jundiaí (SP). As coordenadas geográficas são: 23° 12' de Latitude Sul, 46° 53' de Longitude Oeste e 715 m de altitude. O local apresenta as seguintes médias anuais de temperatura: 27,6 °C máxima e 16,6 °C mínima.

4.2 Materiais e Equipamentos utilizados.

Para a realização do ensaio, utilizaram-se os seguintes equipamentos:

20 Células de carga de capacidade nominal de 1 kgf de fabricação da Empresa / Instrumentos Eletrônicos.

1 Um microcomputador AT 486, 16 *bits*, 4 *megabits* de memória *ram*, com uma velocidade de *Clock* de 40 Mhz, uma unidade de disco flexível de 3 1/2".

1 Fonte estabilizada com saídas de 10 Volts.

- 1 Fonte estabilizada com saída regulável, 0 a 30 Volts.
- 1 Placa conversora A/D de 32 canais diferenciais de fabricação nacional adquirida junto à Empresa Lynx Tecnologia Eletrônica LTDA.
- 2 Placas condicionadoras de 8 e 16 canais diferenciais também adquiridas junto à Empresa Lynx.
- 1 Medidor de vazão magnético indutivo marca Conaut acoplado a um conversor de sinal de mesmo modelo.
- 1 Transdutor de pressão tipo HPI - 2310, adquirido junto à Empresa SODMEX Indústria e Comércio de Material de Extensometria.
- 1 Aspersor tipo Naan 501-U, bocal de 1,6 mm.
- 1 Regulador de pressão de ação direta, marca BERMAD, modelo 0075 PRV.
- 1 Balança de precisão da marca Sartorius.
- 1 Manômetro, faixa de trabalho de 0 a 10 Kgf/cm².

Célula de carga: características

As células de carga utilizadas possuem as seguintes características, segundo o fabricante:

capacidade nominal: 1,0 (Kgf)

sensibilidade: $2,0 \pm 10\%$ (mV/V)

erro combinado: $<0,2\%$ (% saída nominal)

temperatura de trabalho compensada: 0 a +50 (°C)

erro de excentricidade (todas as direções): 0,0025 (%/25mm)

excitação máxima e recomendada: 15 e 10 (VCC ou VCA)

deflexão máxima: $< 0,9$ mm à capacidade nominal

As dimensões são apresentadas na Figura 5, a seguir.

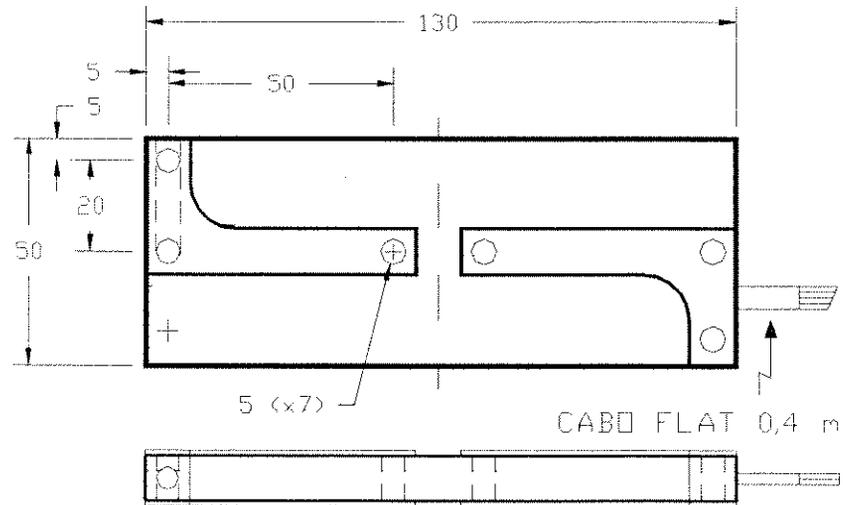


Figura 5: Vista lateral e superior da célula de carga modelo G-1,0 de fabricação da Empresa Alfa Instrumentos Eletrônicos LTDA utilizada no conjunto coletor-transdutor para leitura automática do volume de água precipitado em ensaios radiais de laboratórios, dimensões em mm.

Construíram-se vinte suportes para fixação das células de carga, denominados Coletor-transdutor (C-T) - Figura 6.

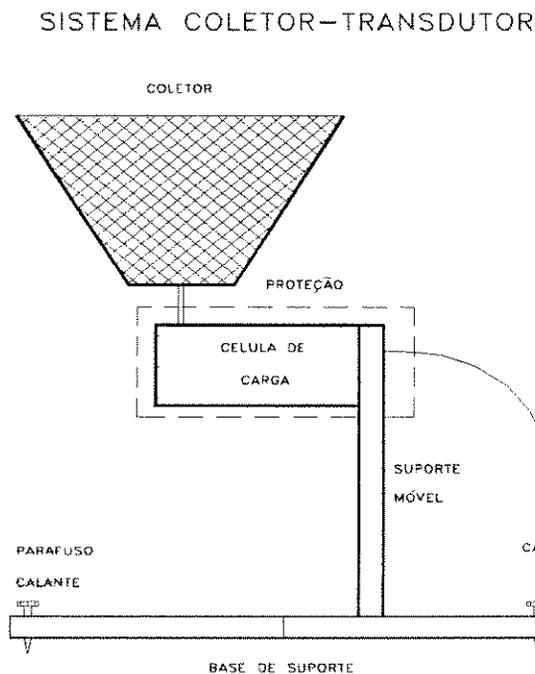


Figura 6 : Esquema do coletor-transdutor (C-T) formado por uma base suporte, uma célula de carga e um coletor.

4.3 Configuração do Sistema de Aquisição de Dados (SAD) no ensaio do aspersor.

Na linha de recalque do sistema de bombeamento, colocaram-se o regulador de pressão e o transdutor de vazão, dispondo-se o transdutor de pressão no tubo de elevação próximo ao aspersor. Para minimização dos efeitos de turbulência sobre o transdutor de pressão, foram guardadas distâncias de, no mínimo, 10 vezes o diâmetro entre o medidor e qualquer possível obstáculo (curvas, registros, etc.), tanto a montante como a jusante deste.

Fora do raio de alcance do aspersor, colocaram-se o microcomputador com as placas de conversão, os condicionadores de sinais, o conversor “Conaut” para o medidor de vazão e as fontes estabilizadas.

Fez-se a conexão do coletor-transdutor e do transdutor de pressão à placa condicionadora através de cabos 4 x 20 mm trançados, isolados por malha de aço, sendo a placa condicionadora ligada por meio de um cabo à placa conversora A/D instalada a um *slot*⁽³⁾ interno do microcomputador. Uma fonte alimentava as células de carga com uma tensão de 10 Volts utilizando os cabos trançados, a fonte regulável alimentava o transdutor de pressão com uma tensão de 15 Volts. O medidor de vazão foi acoplado ao seu próprio conversor de sinal, sendo o sinal enviado à placa A/D por meio da placa conversora devido à facilidade de conexão elétrica desta. A Figura 7 apresenta uma vista do sistema de aquisição montado. Todos os componentes do sistema foram aterrados a um fio terra comum.

⁽³⁾ local específico para conexão de placas externas a um microcomputador

O sistema foi gerenciado pelo programa AQDADOS, fornecido pela Empresa Lynx juntamente com as placas A/D e conversora.

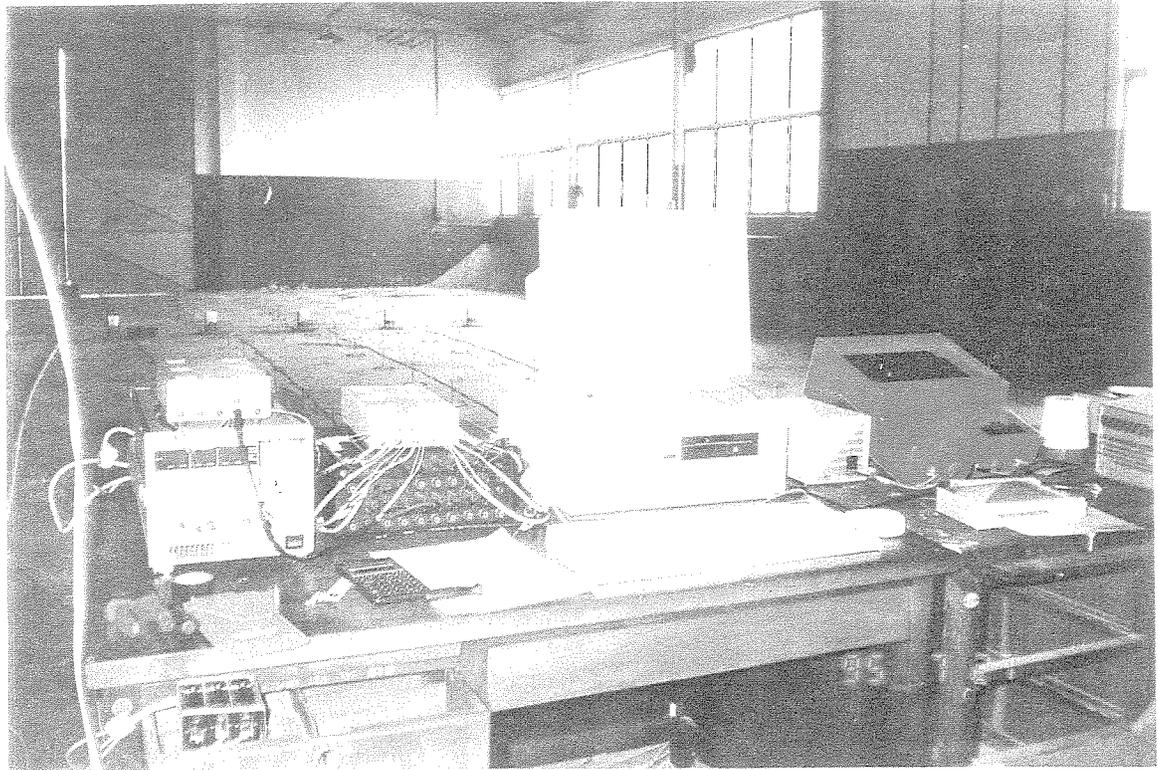


Figura 7: Sistema de aquisição de dados, composto pelo microcomputador, placas de aquisição e condicionamento, fontes de alimentação e cabos.

4.4 Configuração do ensaio radial do aspersor.

A configuração para o desenvolvimento dos ensaios seguiu as diretrizes recomendadas pelas normas da ABNT NBR 8988 (1985) e NBR 8989 (1985), como também pela norma da ASAE S330 (1979). Dispuseram-se os coletores-transdutores (C-Ts) de água ao longo de dois raios irrigados diametralmente opostos, com espaçamentos iguais entre si de um metro e a metade deste valor entre o primeiro coletor e o aspersor (Figura 8).

Configuração do ensaio radial

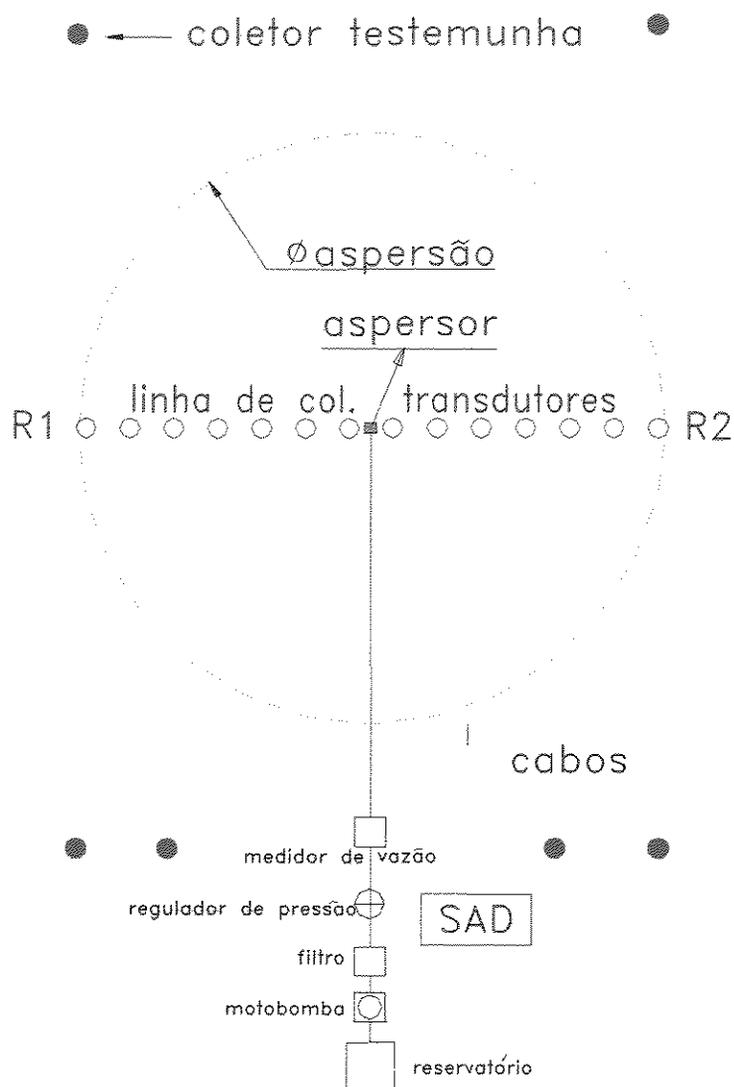


Figura 8 : Esquema de montagem do sistema de aquisição para ensaio radial de aspersor em ambiente controlado.

Para medir a evaporação ocorrida durante o ensaio, colocaram-se nos quatro cantos do galpão, além do raio de alcance do aspersor, quatro coletores idênticos aos primeiros, e mais dois Coletores-transdutores próximo ao SAD.

4.5 Metodologia.

4.5.1 Calibração dos transdutores.

4.5.1.1 Calibração das células de carga.

Após todos os componentes do sistema conectados e os coletores-transdutores instalados na linha diametral ao aspersor, fez-se uma verificação do alinhamento e da verticalidade dos coletores, iniciando-se a calibração das células. Cada conjunto coletor-transdutor foi calibrado separadamente, usando-se seis pesos conhecidos e aferidos na balança de precisão. Os passos para calibração foram os seguintes: ligou-se o sistema de aquisição por 15 min para aquecimento, colocando-se, um a um, os pesos para, através da função de calibração do programa AQDADOS, tomar-se o sinal de tensão correspondente ao peso aplicado à célula de carga. Cada célula apresentou uma “curva” de calibração com limites inferiores e superiores que geraram a reta regressora do sinal a ser enviado para o canal conjugado.

Todos os conjuntos coletor-transdutores apresentaram excelente correlação nas curvas de calibração como mostra a Tabela 2. A representação da curva de calibração de uma das células de carga pode ser vista na Figura 9.

Tabela 2 : Limites das curvas de calibração das células de carga e correlação dos pontos

Célula	Lim. Superior	Lim. Inferior	Correlação (%)
Test. 1	1083,078	-12,664	100,00
Test. 2	921,84	-87,557	100,00
1	1042,498	-2,068	100,00
2	935,163	-1,676	100,00
3	930,690	-27,336	100,00
4	1009,233	-1,283	100,00
5	1032,393	-0,231	100,00
6	1001,731	-6,098	100,00
7	1089,298	-2,627	100,00
8	1103,693	-1,098	100,00
9	1033,249	-1,152	100,00
10	1070,828	-1,567	100,00
11	1016,832	-2,369	100,00
12	995,490	-1,619	100,00
13	1033,329	-1,581	100,00
14	1085,450	-2,120	100,00

Test. = testemunha

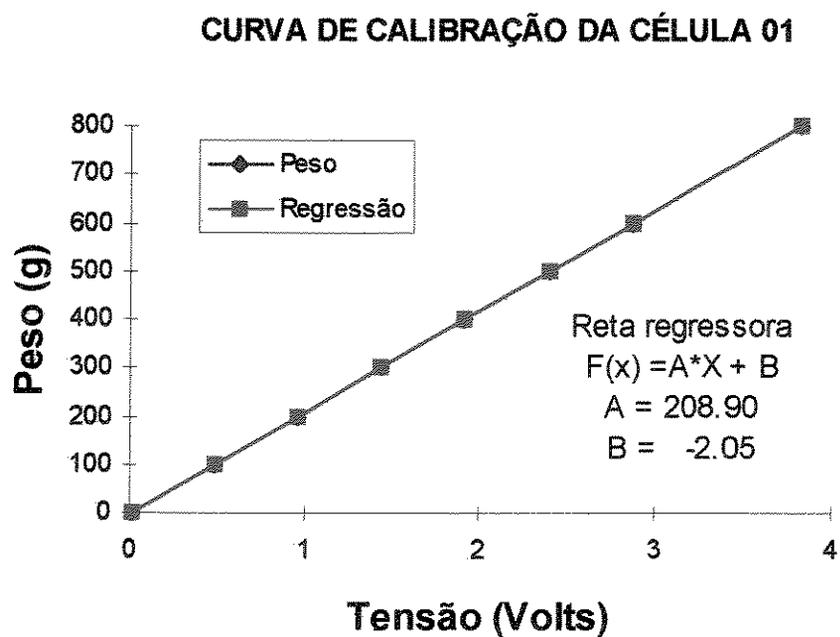


Figura 9 : Curva de calibração da célula 1 e reta de regressão dos pontos de calibração.

4.5.1.2 Calibração do transdutor de pressão.

Realizou-se a calibração do transdutor de pressão no Laboratório de Hidráulica do Dep. de Água e Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola, utilizando-se de uma bomba de teste e um manômetro devidamente aferido. O procedimento da calibração mediante bomba de teste consiste em aplicar uma devida pressão através de um cilindro a dois pontos hidráulicamente semelhantes, ou seja, submetidos à mesma pressão. Em um dos pontos, colocou-se um manômetro padrão aferido e, no outro, o transdutor. Aplicaram-se pressões de 0 a 3,5 Kgf/cm², em intervalos de 0,5 Kgf/cm², gerando sete pontos na curva de calibração. Efetuou-se a tomada do sinal do transdutor, usando-se a função de calibração do programa AQDADOS.

4.5.1.3 Calibração do medidor de vazão.

O medidor de vazão foi aferido pelo fabricante conforme certificado de aferição NR 9504378 e também pelo Laboratório de Hidráulica do Dep. de Água e Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola segundo método de pesagem do volume de água por meio de uma balança eletrônica de precisão de 0,1 litros. Montou-se uma linha de recalque para instalação do medidor de vazão, acoplando-o ao sistema de aquisição de dados. Ligou-se o sistema de bombeamento e, através do regulador de pressão, controlou-se a vazão, efetuando-se leituras do sinal do transdutor de vazão por 30 s. Esse procedimento foi seguido para todos os pontos da curva de calibração.

4.5.2 Ensaio radial.

O procedimento seguido na realização do ensaio radial do aspersor teve a montagem de dois raios diametralmente opostos com a distância entre os coletores-transdutores de 1 m e entre o primeiro coletor-transdutor e o aspersor de 0,5 m (Figura 10). Um conjunto motobomba alimentava o aspersor através do bombeamento de água de um reservatório de nível constante. Um regulador de pressão instalado após a motobomba permitia controlar a pressão de ensaio. Antes do início do primeiro ensaio, ligou-se a motobomba com aspersor protegido por uma campânula transparente para evitar que a água atingisse os coletores e permitir uma visualização do funcionamento do aspersor. Monitorando-se a pressão de ensaio através do SAD e do manômetro instalado na mesma posição do transdutor de pressão regulou-se a pressão para $2,0 \text{ Kgf/cm}^2$ por meio do regulador de pressão. Logo em seguida um registro de fechamento rápido cortou a alimentação de água ao aspersor, alinhando segundo uma posição predefinida. Iniciado o ensaio colocaram-se os coletores testemunha para cálculo da evaporação com uma lâmina mínima igual ou superior à média esperada segundo catálogo do fabricante. Após duas horas de funcionamento, encerrou-se o teste fechando o registro de globo, no momento em que o aspersor atingiu o local preestabelecido para o início do ensaio.

A cada quinze minutos, foram tomadas as velocidades de rotação do aspersor em segundos/volta. O uso do registro de globo permitiu uma interrupção rápida do jato de água. Seguiu-se o mesmo procedimento para todas as demais repetições, quando o regulador de pressão já permanecia na posição desejada, efetuando-se apenas uma verificação da pressão de trabalho através do sistema de aquisição de dados e do manômetro após o reinício.

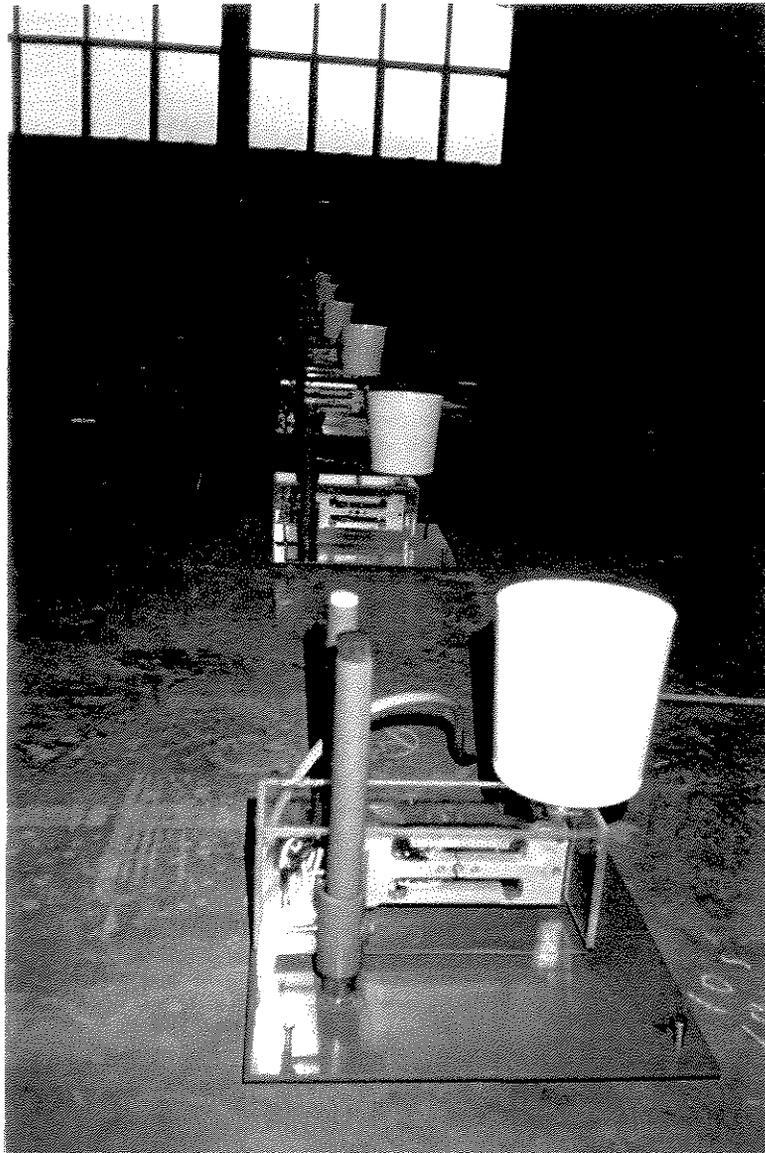


Figura 10: Esquema de montagem da linha radial de coletores-transdutores.

Após o encerramento do ensaio, eram feitas as pesagens dos coletores testemunhas.

4.5.2.1 Leitura dos sinais dos coletores-transdutores pelo SAD

Conectou-se cada célula de carga a um canal, realizando-se leituras dos sinais de cada uma dessas células antes do início do ensaio, aos 30, aos 60, aos 90 min e após a paralisação

do aspersor. Além dos canais ligados às células de carga, eram lidos os sinais das testemunhas de evaporação, do transdutor de pressão e do medidor de vazão. A frequência de aquisição de todos os canais ligados ao sistema foi de 100 Hz e o tempo de aquisição para todos os canais foi de 15 s gerando 1.500 amostras em cada tempo de leitura.

4.5.2.2 Leitura do peso de água pela balança de precisão.

Realizou-se, inicialmente, a pesagem de tara de cada coletor do sistema Coletor-Transdutor. Após cada ensaio, retirou-se o coletor do sistema pesando-o novamente. A diferença gerou o valor do peso de água aderida ao coletor, o qual foi convertido em mililitros(ml) pela relação de peso específico da água adotado de $1,0 \text{ g/cm}^3$. Seguiu-se o mesmo procedimento para as quatro testemunhas de evaporação.

4.5.2.3 Volume de água aderido ao coletor.

Após o término do tempo de aspersão e desligado o conjunto motobomba, iniciou-se a pesagem de cada coletor. O volume de água do interior do coletor foi despejado em um único recipiente para todos os coletores de cada raio, simulando-se uma leitura volumétrica da quantidade de água dentro do coletor, que é o método mais usado atualmente. Desta maneira, procurou-se agir de forma que a água retida no interior e na parte externa do coletor permanecesse como num processo normal de leitura por proveta. Logo em seguida, pesou-se novamente o coletor.

A expressão a seguir fornece o valor do volume aderido ao coletor.

$$V_{ad(i)} = [Pt_{(i)} - (Pa_{(i)} + T_{(i)})] * \rho$$

onde :

$V_{ad(i)}$ = Volume aderido ao coletor i , em ml;

$Pt_{(i)}$ = Peso total do coletor i com água precipitada, em g;

$Pa_{(i)}$ = Peso de água precipitada no coletor i , em g;

$T_{(i)}$ = Tara do coletor i , em g;

ρ = peso específico da água, 1 g/cm³.

Calculou-se o volume total de água precipitada nos coletores da linha após a pesagem de todos os coletores de cada ensaio, o que permitiu, através da expressão abaixo, conferir o volume de água aderido:

$$V_{tad} = V_{tap} - V_{tic} - S_t$$

onde :

V_{tad} = Volume total aderido, em ml;

V_{tap} = Volume total aplicado, em ml;

V_{tic} = Volume total interno ao coletor, em ml;

S_t = Soma total das taras dos coletores.

4.5.2.4 Comparação entre as medições do volume de água precipitado pelo SAD e as medições feitas através da balança.

Com a leitura inicial e a final fornecidas pelo SAD, determinou-se o volume de água precipitado em cada coletor. A diferença entre o volume de água fornecido pela balança e o

volume fornecido pelo sistema gerou um desvio em ml, o qual caracterizou o erro absoluto tomando-se o método da balança como padrão. Realizou-se uma análise estatística através do Programa SANEST⁽⁴⁾, com um nível de significância de 5% para o teste F comparando estatisticamente as leituras realizadas pelo SAD e pela balança em cada posição e os dois raios ensaiados.

4.5.2.5 Evolução da lâmina de água aplicada pelo aspersor.

A evolução da lâmina de água aplicada pelo aspersor ao longo do tempo de ensaio foi realizada em função da possibilidade de leitura do volume de água aplicado pelo aspersor durante o tempo de aspersão.

Tomando-se as diferenças entre a leitura inicial, as de 30, 60, 90 min. e a final, gerou-se um gráfico com o perfil de água acumulado ao longo do tempo, em cada posição coletada, para cada repetição com quatro perfis de acumulação de água, para os dois raios ensaiados.

4.5.2.6 Determinação da lâmina média e Coeficientes de Uniformidade.

Com os resultados de volume de água precipitado nos coletores dos dois raios dispostos diametralmente, raios 1 e 2 , e utilizando o programa CATCH3D⁽⁵⁾, gerou-se uma malha quadrada para cada raio de cada repetição determinando-se, assim, o perfil de

⁽⁴⁾ Programa desenvolvido por Elio Paulo Zonta e Amauri Almeida Machado, SEAGRO - Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP.

⁽⁵⁾ Programa desenvolvido na Utah State University - Dept Agricultural and Irrigation Engineering, v 4.21, por Dr. Richard G. Allen- Coopyright 1986, 1988, 1989. LOGAN, UTAH - 84322-4105.

precipitação para uma sobreposição quadrangular de quatro aspersores espaçados de 6 m e os seguintes coeficientes e estatísticas:

- 1 - Lâmina média (mm/h)
- 2 - Desvio padrão da lâmina precipitada (mm/h)
- 3 - Lâmina média dos 25% menores valores (mm)
- 4 - AELQ (%)
- 5 - UD (%)
- 6 - CUC (%)

Mediante esses resultados, realizou-se uma comparação estatística de médias através do Programa Sanest a um nível de significância de 5% para o teste F.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Célula de carga e balança eletrônica.

Os resultados do volume de água precipitado, apresentados pela pesagem por balança e pela leitura dos sinais da células de carga, através do sistema de aquisição de dados, com conseqüente caracterização do desvio entre os dois métodos para os quatro ensaios realizados, são apresentados nas Tabelas 3, 4, 5 e 6, a seguir.

Tabela 3 : Desvios de leitura do volume de água aplicado nos coletores do sistema de aquisição de dados para a repetição 1.

Pos. Col.	Raio 1				Raio 2			
	Cél. Vol. ml	Bal. Vol. ml	Desvio		Cél. Vol. (ml)	Bal. Vol. (ml)	Desvio	
			ml	mm/h			(ml)	mm/h
1	63,62	63,15	0,47	0,03	66,78	67,94	-1,16	-0,07
2	27,85	28,18	-0,33	-0,20	27,61	27,64	-0,03	0,00
3	23,58	23,51	0,07	0,00	22,45	22,20	0,25	0,01
4	25,18	24,91	0,27	0,02	23,80	23,21	0,59	0,03
5	19,45	18,86	0,59	0,03	18,13	17,59	0,54	0,03
6	10,58	09,59	0,99	0,06	07,49	07,24	0,25	0,01
7	1,08	1,10	-0,02	0,00	00,65	00,35	0,30	0,02
Total	171,34	169,30	2,04	0,12	166,90	166,17	0,73	0,04

Tabela 4 : Desvios de leitura do volume de água aplicado nos coletores do sistema de aquisição de dados para a repetição 2.

Pos. Col.	Raio 1				Raio 2			
	Cél. Vol. ml	Bal. Vol. ml	Desvio		Cél. Vol. ml	Bal. Vol. ml	Desvio	
			ml	mm/h			ml	mm/h
1	64,62	64,70	-0,08	-0,01	65,67	65,34	0,33	0,02
2	28,17	27,90	0,27	0,02	28,2	27,40	0,62	0,04
3	23,98	23,76	0,22	0,01	22,15	22,25	-0,11	-0,01
4	25,37	24,70	0,67	0,04	24,45	23,63	0,82	0,05
5	19,18	18,59	0,58	0,03	18,70	18,04	0,66	0,04
6	9,98	9,49	0,49	0,03	07,03	07,85	-0,82	-0,05
7	1,26	1,19	0,07	0,00	00,83	00,93	-0,10	-0,01
Total	172,56	170,33	2,23	0,13	166,85	165,44	1,41	0,08

Tabela 5 : Desvios de leitura do volume de água aplicado nos coletores do sistema de aquisição de dados para a repetição 3.

Pos. Col.	Raio 1				Raio 2			
	Cél. Vol. ml	Bal. Vol. ml	Desvio		Cél. Vol. ml	Bal. Vol. ml	Desvio	
			ml	mm/h			ml	mm/h
1	71,23	70,09	1,14	0,07	67,93	68,21	-0,28	-0,02
2	30,22	30,20	0,2	0,00	31,15	30,85	0,30	0,02
3	25,76	25,19	0,57	0,03	25,2	24,44	0,58	0,03
4	25,94	25,56	0,38	0,02	25,56	24,71	0,85	0,05
5	20,05	18,80	1,25	0,07	19,47	18,89	0,58	0,03
6	09,60	08,66	0,94	0,05	08,73	08,51	0,22	0,01
7	00,71	00,62	0,09	0,01	00,54	00,63	-0,09	-0,01
Total	183,51	179,12	4,39	0,25	178,39	176,24	2,15	0,12

Tabela 6 : Desvios de leitura do volume de água aplicado nos coletores do sistema de aquisição de dados para a repetição 4.

Pos. Col.	Raio 1				Raio 2			
	Cél. Vol. ml	Bal. Vol. ml	Desvio		Cél. Vol. ml	Bal. Vol. ml	Desvio	
			ml	mm/h			ml	mm/h
1	63,76	63,69	0,07	0,00	69,96	67,73	2,23	0,13
2	29,16	28,78	0,38	0,02	29,32	28,75	0,57	0,03
3	23,60	24,15	-0,56	-0,03	23,13	22,75	0,38	0,02
4	25,61	25,21	0,40	0,02	24,07	23,94	0,13	0,01
5	18,57	18,93	-0,36	-0,02	18,53	18,27	0,26	0,01
6	10,35	09,57	0,78	0,05	08,19	08,24	-0,06	0,00
7	01,00	01,14	-0,14	-0,01	01,30	00,88	0,42	0,02
Total	172,05	171,47	0,58	0,03	174,49	170,56	3,93	0,23

Através dos resultados mostrados nessas tabelas, verifica-se que as diferenças encontradas, os desvios, são predominantemente positivas (75%), mostrando que, na maioria das leituras realizadas pelos conjuntos coletores-transdutores, o volume de água aplicado nos coletores foi superior à leitura realizada através da balança, e um valor médio total de 1,26% foi encontrado para essas diferenças.

Observa-se que os valores negativos de desvio não ocorrem sistematicamente nas mesmas células, infere-se portanto, que esses desvios não são fonte de problemas nas células de carga, mas de erros experimentais inerentes ao processo de medição. Isso, em parte, pode ser explicado pelo fato de, após cada ensaio, o coletor ter sido retirado do conjunto coletor-transdutor (C-T) para pesagem, modificando-se, portanto, sua posição sobre a célula de carga ao ser novamente colocado no conjunto C-T. Outro fator que contribuiu para essa diferença refere-se ao procedimento de pesagem, o qual exigiu o transporte do coletor por uma distância

de, no mínimo, 10 metros, tornando-o vulnerável à perda de água aderida externamente. Essas perdas podem ter-se originado em função das seguintes causas:

possível secagem pela passagem do ar;
perda de gotas durante o trajeto por queda;
aderência à mão do carregador.

Entre as três possibilidades de erro experimental expostas, pode-se afirmar que as duas últimas concorrem fortemente para os desvios ocorridos. Entretanto, não é possível distinguir, entre os erros experimentais considerados e a própria incerteza da medida pelo sistema de aquisição de dados, qual das possibilidades teve maior influência. Entretanto, quando se converte o volume coletado para a unidade taxa de irrigação em milímetros/hora (mm/h), ou seja, dividindo-se o valor do volume aplicado (em litros) em cada coletor pela área do coletor (em m²), o valor absoluto do desvio entre os métodos de leitura utilizados tornam-se muito pequenos (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

As análises de variância para os Raios 1 e 2, a nível de 5% de significância para o teste de Tukey, realizadas para a comparação das médias de leitura do volume de água aplicado entre os tratamentos Coletor-Transdutor e Balança para as quatro repetições dos fatores posição do coletor são apresentadas nas Tabelas 7 e 8, a seguir. Verifica-se que a análise realizada apresentou um valor de coeficiente de variação de 5,738 e 4,324% respectivamente, que pode ser considerado um bom resultado, ou seja, a boa precisão do ensaio.

As comparações das médias de leituras do volume de água precipitado realizadas pelo método do SAD e pela Balança por posição do coletor para os Raios 1 e 2 são apresentadas nas Tabelas 9 e 10 respectivamente.

Tabela 7: Análise de variância estatística para comparação entre os valores médios de quatro repetições dos métodos de leitura pelo SAD e balança do volume de água aplicado no ensaio radial de aspersores para o Raio 1

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Posição	6	20063,89	3343,98	1648,98	0,00001
Ensaio	1	1,53	1,53	0,75	0,60506
Pos*Ens	6	1,01	0,17	0,08	0,99648
Resíduo	42	85,17	2,03		
TOTAL	55	20151,59			
Média geral		24,8157			
Coef. de Var.		5,738 %			

Tabela 8: Análise de variância estatística para comparação entre os valores médios de quatro repetições dos métodos de leitura pelo SAD e balança do volume de água aplicado no ensaio radial de aspersores para o Raio 2.

Causas de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Posição	6	21923,58	3653,93	3289,44	0,00001
Ensaio	1	1,21	1,21	1,09	0,30214
Pos*Ens	6	0,65	0,11	0,10	0,99494
Resíduo	42	46,65	1,11		
TOTAL	55	21972,10			
Média geral		24,3762			
Coef. de Var.		4,324 %			

Os resultados das Tabelas 9 e 10 mostram que não houve diferença estatística a um nível de 5% de significância entre os métodos de leitura de volume de água pelo SAD (coletor-transdutor) e a leitura por pesagem na balança de precisão para o teste de Tukey em nenhuma posição para os dois raios amostrados. Assim, pode-se afirmar que independentemente da posição a ser colocado, ou seja do volume de água aplicado, os resultados a serem apresentados pelo SAD serão estatisticamente iguais aos da balança com 95% de probabilidade. Desse modo, mostra-se que as leituras realizadas pelo SAD são iguais às realizadas pela balança de precisão, seja qual for o tipo de aspersor, o espaçamento entre os coletores e a distância desses ao aspersor.

Tabela 9: Comparação estatística de médias de volumes de água lidos pelo SAD e pela balança de precisão, para o teste de Tukey, em sete posições ao longo do Raio 1 com quatro repetições de ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição do coletor	Nome do tratamento	Número de repetições	MÉDIAS	5 %
P1	Trat 1	4	65,80	a
	Trat 2	4	65,40	a
P2	Trat 1	4	28,85	a
	Trat 2	4	28,76	a
P3	Trat 1	4	24,23	a
	Trat 2	4	24,15	a
P4	Trat 1	4	25,53	a
	Trat 2	4	25,09	a
P5	Trat 1	4	19,31	a
	Trat 2	4	18,80	a
P6	Trat 1	4	10,13	a
	Trat 2	4	9,33	a
P7	Trat 1	4	1,1	a
	Trat 2	4	1,1	a

D.M.S. (5%) = 2,03245

Tabela 10: Comparação estatística de médias de volumes de água lidos pelo SAD e pela balança de precisão, para o teste de Tukey, em sete posições ao longo do Raio 2 com quatro repetições de ensaio radial do aspersionador Naan 501-U

Posição do coletor	Nome do tratamento	Nº de repetições	MÉDIAS	5 %
P1	Trat 1	4	67,58	a
	Trat 2	4	67,31	a
P2	Trat 1	4	29,03	a
	Trat 2	4	28,66	a
P3	Trat 1	4	23,19	a
	Trat 2	4	22,91	a
P4	Trat 1	4	24,47	a
	Trat 2	4	23,87	a
P5	Trat 1	4	18,71	a
	Trat 2	4	18,20	a
P6	Trat 1	4	7,96	a
	Trat 2	4	7,86	a
P7	Trat 1	4	0,83	a
	Trat 2	4	0,70	a

D.M.S. (5%) = 1,50556

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR 8989 (1985) prescreve que o volume de água nos coletores deve ser determinado com uma imprecisão máxima de $\pm 3\%$ em relação ao volume médio de água coletado. Tomando-se a medida do volume de água nos coletores pelo processo de pesagem com a balança eletrônica de precisão como referência e o volume médio calculado por repetição (ensaio) e por raio monitorado pelo SAD, verifica-se que das 56 medidas realizadas pelo SAD ultrapassou-se a imprecisão máxima permitida em 9 medidas, o que totaliza 16,07 % (Tabela 11). A fórmula usada para o cálculo das imprecisões da Tabela 11 é dada pela seguinte expressão:

$$I_{(i)} = (D_{(i)} / M_{(j)}) * 100$$

onde:

$I_{(i)}$ = Imprecisão da leitura de volume para o coletor i .

$D_{(i)}$ = Desvio i de leitura entre as leituras do SAD e pela balança.

$M_{(j)}$ = Média dos volumes de água por pesagem na balança dos sete coletores para cada raio.

A imprecisão, ou desvio percentual em torno do volume médio, da leitura do volume de água nos coletores está diretamente ligada ao volume médio coletado, sendo portanto, afetada indiretamente pelo tempo de ensaio, vazão do aspersor e área do coletor. O maior desvio percentual ocorrido foi na leitura do volume pelo Coletor-Transdutor 1 do Raio 2 do Ensaio 4, que atingiu um valor bem superior aos demais. Todos os demais desvios percentuais que ultrapassaram o valor aceitável pela NBR 8989 estão abaixo de 5%. Isso significa que no caso de se dobrar o volume médio aplicado a cada ensaio e permanecendo o desvio absoluto (em ml) nos patamares atuais, todos os desvios percentuais não ultrapassarão os $\pm 3\%$ máximos exigidos pela Norma NBR 8989 (1985).

Tabela 11: Imprecisão (%) das leituras do volume de água realizadas pelo SAD em relação às leituras por pesagem com balança eletrônica de precisão para quatro ensaios radiais com dois raios diametralmente opostos em ambiente fechado.

Pos. Col.	Ensaio 1		Ensaio 2		Ensaio 3		Ensaio 4	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
	%	%	%	%	%	%	%	%
1	1,95	4,89	0,33	1,40	4,39	1,11	0,29	9,15
2	1,37	0,13	1,11	2,62	0,08	1,19	1,55	2,34
3	0,29	1,05	0,90	0,47	2,19	2,30	2,29	1,56
4	1,12	2,49	2,75	3,47	1,46	3,38	1,63	0,53
5	2,45	2,27	2,38	2,79	4,81	2,30	1,47	1,07
6	4,11	1,05	2,1	3,47	3,62	0,87	3,18	0,25
7	0,08	1,26	0,29	0,42	0,35	0,36	0,57	1,72

É possível atuar de duas formas para minimizar os desvios percentuais: 1) melhorando o sistema de aquisição de dados, 2) ampliando o volume médio captado pelo coletor mediante aumento de sua área de captação ou do tempo de ensaio. Como exemplo, pode-se considerar que, em relação aos ensaios realizados, para dobrar o volume médio captado pelos coletores

utilizados com diâmetro 105 mm basta acrescentar 43 mm no diâmetro do coletor, mantendo-se todas as demais condições do ensaio.

5.2 Volume de água aderido ao coletor.

Os resultados do processo de medição do volume de água aderido aos Coletores dispostos na linha radial do Sistema de Aquisição de Dados são apresentados nas Figuras 11, 12, 13 e 14. Através desses resultados, referentes aos quatro ensaios realizados, pode-se observar a tendência natural do volume de água aderido aos coletores em diminuir com o aumento da distância do coletor ao aspersor. Isso é facilmente explicável através do perfil de distribuição de água de aspersores agrícolas, nos quais a lâmina de água tende a diminuir com o aumento da distância do coletor ao aspersor. Portanto, onde se aplica menos água ocorre menos aderência tanto interna quanto externamente ao coletor.

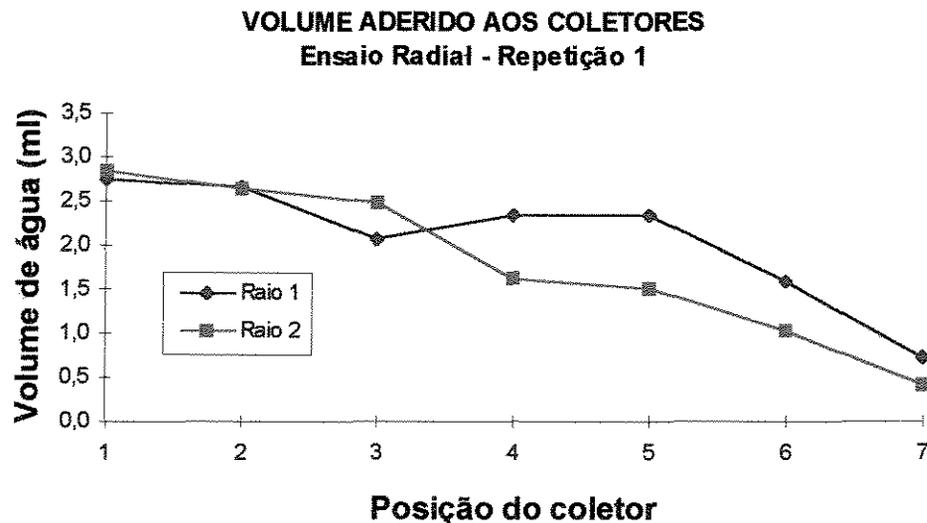


Figura 11: Volume aderido interna e externamente aos coletores dos conjuntos Coletores-Transdutores dos Raios 1 e 2 para o ensaio radial 1, obtido por diferenças de pesagem

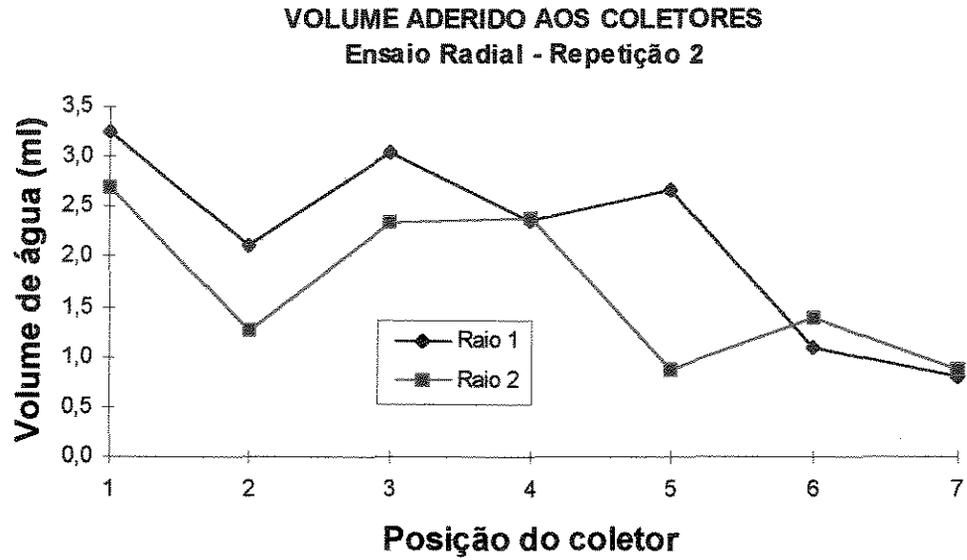


Figura 12: Volume aderido interna e externamente aos coletores dos conjuntos Coletores-Transdutores dos Raios 1 e 2 para o ensaio radial 2, obtido por diferenças de pesagem.

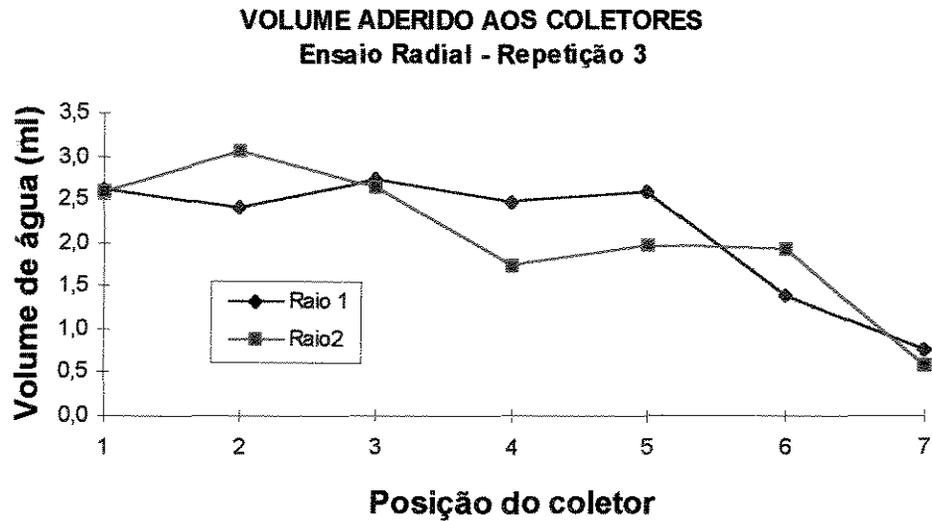


Figura 13: Volume aderido interna e externamente aos coletores dos conjuntos Coletores-Transdutores dos Raios 1 e 2 para o ensaio radial 3, obtido por diferenças de pesagem.

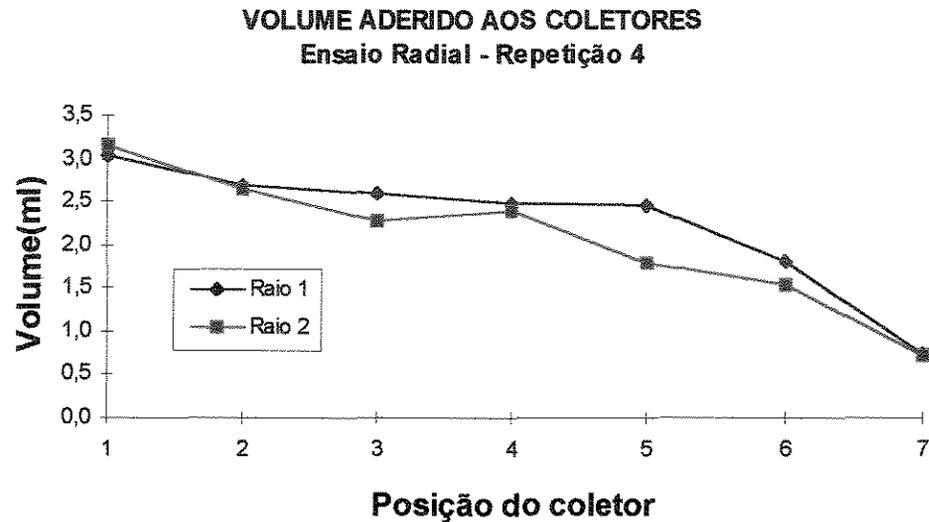


Figura 14: Volume aderido interna e externamente aos coletores dos conjuntos Coletores-Transdutores dos Raios 1 e 2 para o ensaio radial 4, obtido por diferenças de pesagem.

Outro fator que influencia o volume de água aderida é o tamanho da gota gerada ao longo do perfil de distribuição. Gotas que atingem maiores distâncias possuem maior energia cinética e, conseqüentemente, maior velocidade, o que torna a aderência ao coletor menos provável pelo fato de o impacto no coletor provocar uma quebra da gota, que poderá ou não aderir às paredes do coletor. Já as gotas que caem mais próximo ao aspersor possuem menor diâmetro e menor energia cinética reduzindo, assim, esses efeitos, o que permite maior adesão.

A aderência da água ao coletor acarreta um erro na leitura dos volumes de água pelo processo de pesagem tanto através da balança eletrônica quanto pelo Coletor-Transdutor dos Sistema de Aquisição de Dados. Para efeito de comparação entre os métodos de pesagem, essa aderência não provoca erros significativos, uma vez que a água aderida é incorporada nos dois

processos de leitura. Entretanto, para efeito de cálculo do volume médio de aplicação de água ocorrerá uma superestimação desses valores (Tabela 12).

Tabela 12: Diferenças no valor de volume médio coletado provocadas pelo volume médio aderido aos coletores dos raios 1 e 2, medidas pelos processos de pesagem por balança e pelos coletores-transdutores, para quatro repetições em ambiente fechado.

Rep.	Balança - Raio 1				Balança - Raio 2			
	Total (ml)	Ts/ad ^(*) (ml)	Diferença (ml) (%)		Total (ml)	Ts/ad ^(*) (ml)	Diferença (ml) (%)	
1	24,19	22,12	2,07	9,36	23,74	21,95	1,79	8,15
2	24,33	22,14	2,19	9,89	23,63	21,44	2,19	10,21
3	25,59	23,44	2,15	9,17	25,18	23,10	2,08	9,00
4	24,50	22,24	2,26	10,16	24,37	22,30	2,07	9,28
Rep.	Coletor-Transdutor - Raio 1				Coletor-Transdutor - Raio 2			
	Total (ml)	Ts/ad ^(*) (ml)	Diferença (ml) (%)		Total (ml)	Ts/ad ^(*) (ml)	Diferença (ml) (%)	
1	24,48	22,41	2,07	9,24	23,84	22,06	1,78	8,07
2	24,65	22,46	2,19	9,75	23,84	21,64	2,20	10,17
3	26,22	24,07	2,15	8,93	25,48	23,34	2,14	9,17
4	24,58	22,32	2,26	10,13	24,93	22,67	2,26	9,97

(*) Volume total precipitado menos o volume total aderido.

Os valores da Tabela 12 indicam que o volume médio aderido ao coletor é muito significativo em relação ao valor médio aplicado de água, sugerindo a necessidade de redução da aderência da água ao coletor no procedimento do ensaio radial através do sistema de aquisição de dados. Para tanto, pode-se impregnar o coletor com um antiaderente.

A aderência da água ao coletor significa também uma alteração no perfil de distribuição de água gerado pela rotação do raio coletado, pois o volume aderido aos coletores não se apresenta uniforme, ou seja, não é o mesmo para todos os coletores, afetando, assim, diferentemente a lâmina de água ao longo do raio calculado quando se usa o método de pesagem através do sistema de aquisição de dados via coletor-transdutor.

5.3 Evolução do perfil do volume de água aplicado nos coletores.

As Figuras 15, 16, 17 e 18 representam a evolução do volume de água aplicado pelo aspersor ao longo do tempo de ensaio, para quatro tomadas de leituras: aos 30, 60, 90 e 120 min. O primeiro dígito do eixo das abscissas representa o Raio de disposição dos coletores e o segundo a posição do coletor em relação ao aspersor que se encontra entre as posições 11 e 21. Os valores plotados não foram ajustados por regressão.

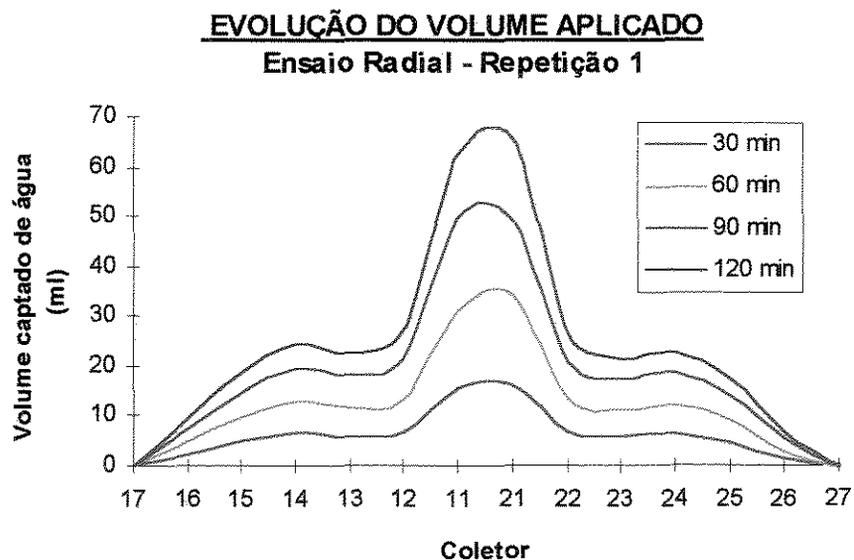


Figura 15: Evolução do volume de água nos coletores radiais ao longo do tempo para o ensaio 1; aspersor entre as coletores 11 e 21.

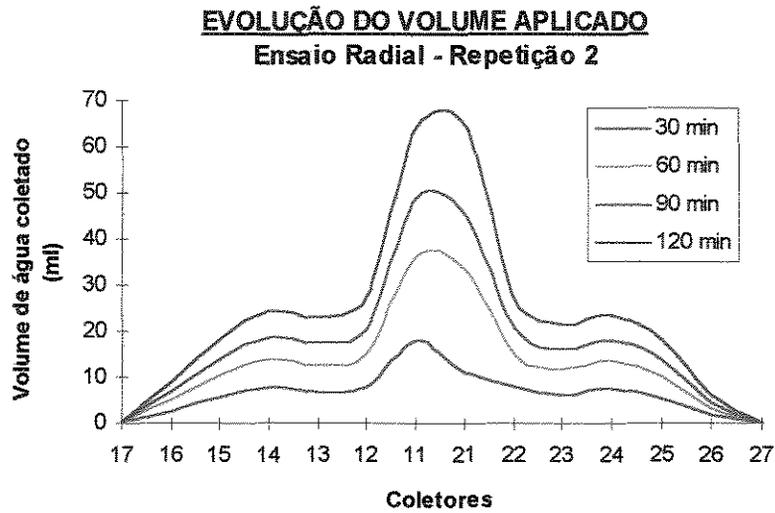


Figura 16: Evolução do volume de água nos coletores radiais ao longo do tempo para o ensaio 2; aspersor entre as coletores 11 e 21.

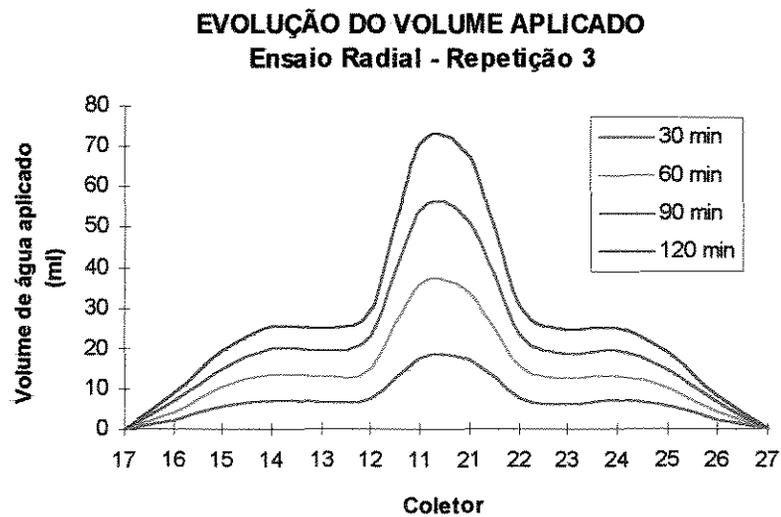


Figura 17: Evolução do volume de água nos coletores radiais ao longo do tempo para o ensaio 3; aspersor entre as coletores 11 e 21.

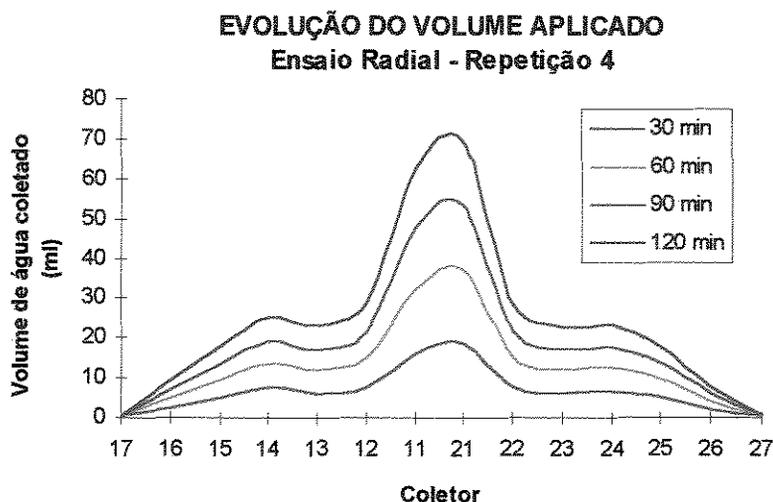


Figura 18: Evolução do volume de água nos coletores radiais ao longo do tempo para o ensaio 4; aspersor entre as coletores 11 e 21.

O sistema de aquisição de dados montado permite leituras do volume de água aplicado logo a partir do início do ensaio e a qualquer instante, mesmo com o aspersor em funcionamento, pois o método de pesagem através do uso da célula de carga não exige esvaziamento do recipiente coletor, possibilitando leituras discretas ao longo do experimento. Dessa forma, pode-se verificar como se comporta a distribuição de água pelo aspersor no decorrer do tempo. Tal procedimento contribui para o estudo de avaliação de distribuição de água à medida que permite implementar rotinas que possam determinar o final de um ensaio com base no critério de lâmina mínima aplicada, viabilizando, ainda, o cálculo dos coeficientes de uniformidade em tempo real.

5.4 Medidas indiretas: Lâminas e Coeficientes de Uniformidade.

Através do programa CATCH3D, calcularam-se os valores de lâmina aplicada e coeficientes de uniformidade para os valores obtidos por pesagem na balança e pelo Sistema de

Aquisição de Dados. Os resultados foram gerados por ensaio e por raio e encontram-se na Tabela 13.

O valor médio para os ensaios radiais da lâmina média aplicada foi de 3,6 mm/h com desvio padrão de 0,1 mm/h e desvio médio de 0,1 mm/h. Esses valores indicam pouca dispersão entre os resultados. Os resultados dos Coeficientes de Uniformidade, Uniformidade de Distribuição (UD) e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) foram satisfatórios para o aspersor, apresentando 0,3 e 0,4 de desvio padrão e 0,2 e 0,3 de desvio médio respectivamente. Tais valores indicam que as diferenças entre as lâminas calculadas pelos dois métodos de pesagem, balança e SAD, não afetaram o cálculo desses parâmetros estatísticos para o aspersor estudado no espaçamento de 6x6 metros de malha.

O desvio padrão e o desvio médio calculados para o Coeficiente AELQ foram, respectivamente, 2,8 e 2,3. Esse coeficiente retrata a dispersão dos 25% menores valores de lâmina gerados para malha de 6x6 metros.

As médias e os desvios das estatísticas Lâmina média e Coeficientes de Uniformidade quando feitas para raio e por método de pesagem do volume de água são apresentadas na Tabela 14.

Essa tabela mostra que os valores obtidos pelos métodos de pesagem de balança e pelo sistema de aquisição de dados não representam grandes diferenças da lâmina média, uniformidade de distribuição (UD) e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), entretanto o coeficiente AELQ sofreu uma grande variação.

Tabela 13: Lâmina média e Coeficientes de Uniformidade de distribuição de água para uma malha de 6 x 6 metros gerados pelo programa CATCH3D através dos resultados de quatro ensaio radiais.

		Lâmina			Coeficientes		
		Média mm/h	D. Pad. mm/h	< 25 % mm	AELQ %	UD %	CUC %
Rep 1	R ₁ B	3,6	0,6	6,2	67,5	84,7	84,9
	R ₁ C	3,7	0,6	6,3	68,8	84,2	84,3
	R ₂ B	3,3	0,5	5,6	61,0	83,9	84,1
	R ₂ C	3,4	0,5	5,7	62,7	84,2	84,3
Rep 2	R ₁ B	3,6	0,6	6,1	66,8	84,2	84,7
	R ₁ C	3,7	0,6	6,3	68,6	84,2	84,7
	R ₂ B	3,4	0,5	5,8	63,2	84,5	84,6
	R ₂ C	3,4	0,5	5,8	63,3	84,4	84,6
Rep 3	R ₁ B	3,7	0,6	6,2	68,1	84,4	84,8
	R ₁ C	3,8	0,6	6,5	70,5	84,3	84,7
	R ₂ B	3,6	0,5	6,1	66,9	84,3	85,5
	R ₂ C	3,7	0,5	6,3	68,7	84,5	85,5
Rep 4	R ₁ B	3,7	0,5	6,3	68,3	84,8	85,2
	R ₁ C	3,7	0,6	6,3	69,0	85,0	84,0
	R ₂ B	3,5	0,5	5,9	64,4	84,1	84,7
	R ₂ C	3,6	0,5	6,0	66,0	84,6	85,0
	Média	3,6	0,5	6,1	66,5	84,4	84,7
	D. Pad	0,1	0,1	0,3	2,8	0,3	0,4
	D.	0,1	0,0	0,2	2,3	0,2	0,3

R₁B - Resultados para o Raio 1 com leitura pela balança do volume de água no coletor

R₁C - Resultados para o Raio 1 com leitura pelo SAD do volume de água no coletor

R₂B - Resultados para o Raio 2 com leitura pela balança do volume de água no coletor

R₂C - Resultados para o Raio 2 com leitura pelo SAD do volume de água no coletor

Tabela 14: Lâmina média e coeficientes de uniformidade de aplicação de água médios para uma malha de 6x6 metros gerados pelo programa CATCH3D através dos resultados de quatro ensaios radiais

	Lâm. média (mm/h)	< 25 (mm)	AELQQ %	UD %	CUC %
R1-B	3,7	6,2	67,7	84,5	84,9
R2-B	3,5	5,9	63,9	84,2	84,7
R1-C	3,7	6,4	69,2	84,4	84,4
R2-C	3,5	6,0	65,2	84,4	84,9

Realizou-se uma análise de variância para os valores de Lâmina média, Lâmina média dos 25% menores valores, e para os coeficientes AELQ, UD e CUC gerados por raio, comparando-se as médias geradas pelas leituras através do SAD e pela Balança para cada raio individualmente. As Tabelas 15 e 16 apresentam o quadro de análise de variância para os Raios 1 e 2 respectivamente.

O valor do grau de liberdade do resíduo para todas as situações foi inferior a 10, sugerindo uma necessidade de maior número de repetições, porém os valores de coeficiente de variação encontrados foram sempre inferiores a 5%, traduzindo, conseqüentemente, a boa precisão dos ensaios, o que permite afirmar que um maior número de repetições não levará a encontrar diferenças estatísticas no nível de 5% de significância.

Tabela 15: Quadro das análises de variância para as variáveis Lâmina média, Lâmina média <25%, CUC, AELQ e UD, com quatro repetições, calculadas para o raio 1, com dois tratamentos: (1) leitura de volume de água pelo SAD e (2) pela Balança.

Variável	Causas da Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor de F	Prob. > F
Lâmina Média	Trat	1	0,0112	0,0112	3,8532	0,0956
	Resíduo	6	0,0175	0,0029		
CV=1,5%	Total	7	0,0287			
Lâm. Méd. < 25%	Trat	1	0,0450	0,0450	5,4014	0,0578
	Resíduo	6	0,0500	0,0083		
CV=1,5%	Total	7	0,0950			
CUC	Trat	1	0,4551	0,4551	5,6464	0,0538
	Resíduo	6	0,4836	0,0806		
CV=0,3%	Total	7	0,9387			
AELQ	Trat	1	4,8050	4,8005	7,9750	0,0296
	Resíduo	6	3,6150	0,6025		
CV=1,1%	Total	7	8,4200			
UD	Trat	1	0,0187	0,0187	0,1660	0,6978
	Resíduo	6	0,6763	0,1127		
CV=0,4%	Total	7	0,6950			

Tabela 16: Quadro das análises de variância para as variáveis Lâmina média, Lâmina média <25%, CUC, AELQ e UD, com quatro repetições, calculadas para o raio 2, com dois tratamentos: (1) leitura de volume de água pelo SAD e (2) pela Balança.

Variável	Causas da	Graus de	Soma dos	Quadrado	Valor de F	Prob. > F
Lâmina Média	Trat	1	0,0112	0,0112	0,5743	0,5180
	Resíduo	6	0,1175	0,0196		
CV=4,0%	Total	7	0,1287			
Lâm Méd. < 25%	Trat	1	0,0120	0,0120	0,3526	0,5786
	Resíduo	6	0,3400	0,0567		
CV=4,0%	Total	7	0,3600			
CUC	Trat	1	0,0300	0,0300	0,0988	0,7600
	Resíduo	6	1,8188	0,3031		
CV=0,7%	Total	7	1,8488			
AELQ	Trat	1	3,7813	3,7813	0,5695	0,5162
	Resíduo	6	39,8375	6,6396		
CUC=3,9%	Total	7	43,6187			
UD	Trat	1	0,1013	0,1013	2,1132	0,1949
	Resíduo	6	0,2875	0,0479		
CV=0,3%	Total	7	0,3887			

Em todos os testes de médias de tratamento, exceto para o coeficiente AELQ no Raio 1, as médias foram estatisticamente iguais a um nível de 5% de significância para o teste de Tukey (Tabelas 17 e 18 em anexo) o que equivale a dizer que as leituras de volume realizadas pelo SAD (C-T) e pela balança além de serem estatisticamente iguais, como já discutido anteriormente, apresentaram lâmina média, lâmina média <25%, CUC e UD, gerados pelo Programa CATCH3D no espaçamento de 6x6, iguais estatisticamente, já o coeficiente AELQ foi igual estatisticamente apenas para o Raio 2.

5.5 Uniformidade de leitura do sinal dos Coletores-Transdutores (CT).

O sinal do volume de água aplicado nos coletores-transdutores registrado pelo sistema de aquisição de dados e gerenciado pelo Programa AQDADOS está sujeito a uma série de

ruídos que, embora reduzidos ao mínimo possível, afetam as leituras realizadas. A Figura 19 mostra o sinal registrado durante 15 s de amostragem do Coletor-Transdutor 25 (Raio 2, posição 5).

O volume médio fornecido pela função estatística do programa AQDADOS para o sinal da Figura 15 foi de 33,63 ml com um desvio padrão de 0,160 ml e valores máximos e mínimos de 34,50 e 33,08 ml respectivamente. Esse tipo de dispersão ocorreu para todos os 14 coletores-transdutores em todas as leituras realizadas nos quatro ensaios, nas cinco leituras totalizando 280 sinais semelhante ao mostrado na Figura 19.

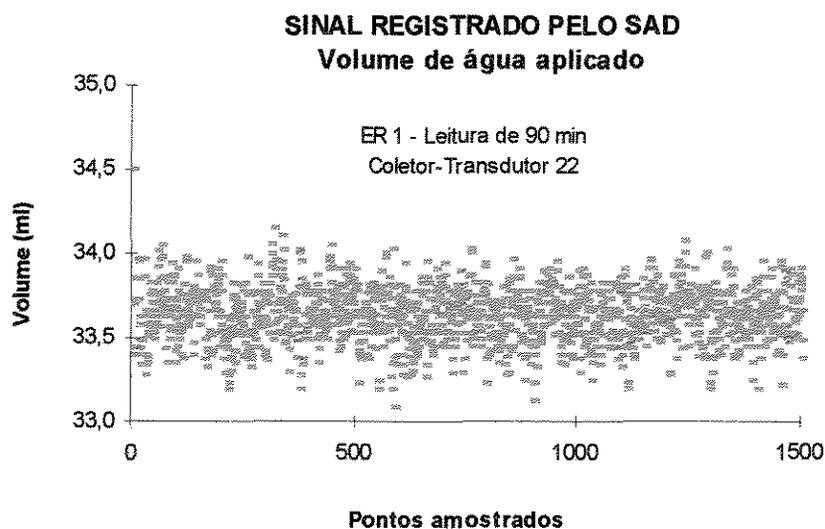


Figura 19: Sinal transformado para volume (ml) do Coletor-Transdutor aos 90 min do Ensaio 1, com duração de 15 s em uma frequência de aquisição de 100 Hz.

A variação máxima do sinal durante a leitura foi de 1,42 ml. Essa variação, apesar de representar um valor acima de 1 ml, não causou, para esse coletor-transdutor - Figura 19, diferença significativa em relação ao volume encontrado pela pesagem com a balança, que foi de -0,03 ml.

Para representar essas oscilações de sinal, plotaram-se os valores médio e máximo do desvio padrão das leituras efetuadas pelo SAD via Programa AQDADOS. A leitura inicial, de 30, 60 e 90 min e a final, de cada coletor-transdutor por ensaio realizado, encontram-se representadas nas Figuras 20, 21, 22 e 23.

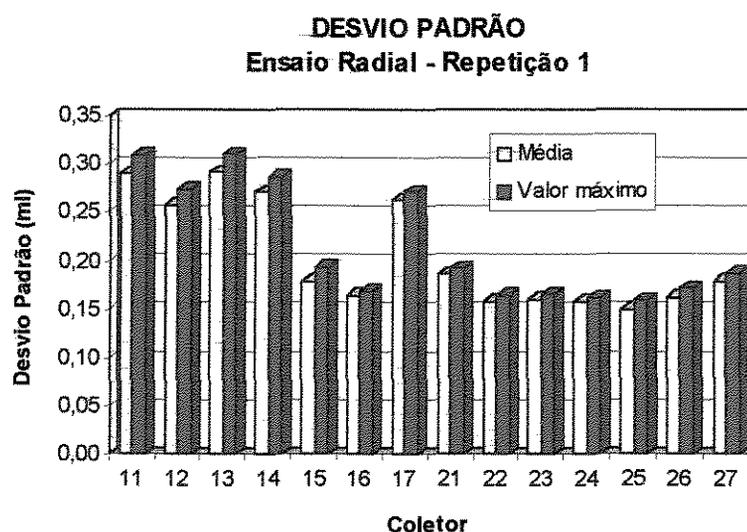


Figura 20: Valores médio e máximo de desvio padrão das cinco leituras dos sinais de volume dos Coletores-Transdutores para o ensaio 1, raios 1 e 2.

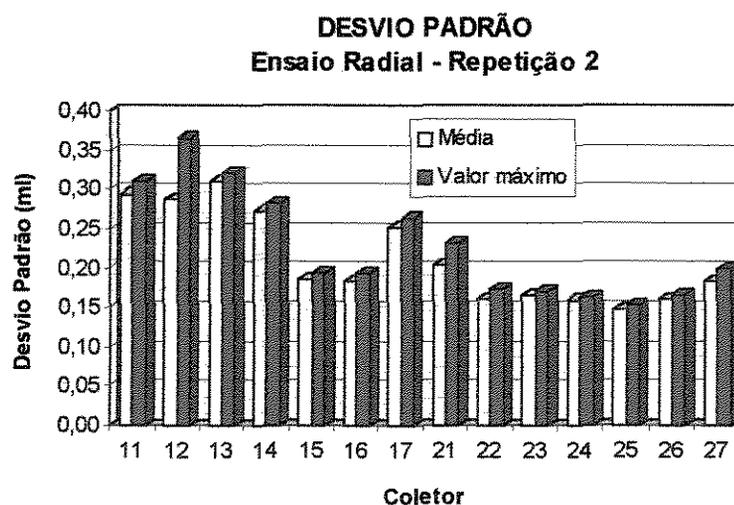


Figura 21: Valores médio e máximo de desvio padrão das cinco leituras dos sinais de volume dos Coletores-Transdutores para o ensaio 2, raios 1 e 2.

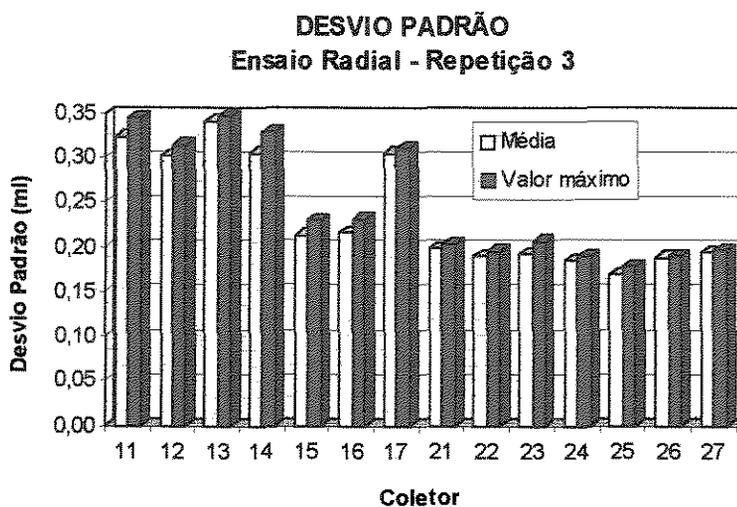


Figura 22: Valores médio e máximo de desvio padrão das cinco leituras dos sinais de volume dos Coletores-Transdutores para o ensaio 3, raios 1 e 2.

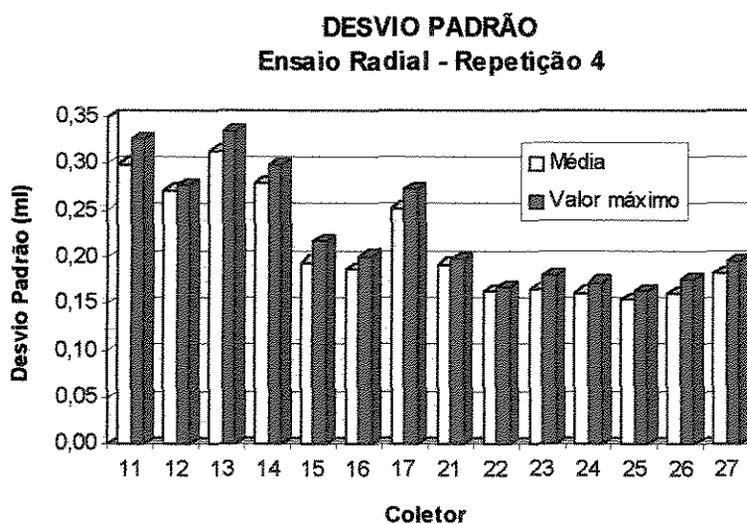


Figura 23: Valores médio e máximo de desvio padrão das cinco leituras dos sinais de volume dos Coletores-Transdutores para o ensaio 4, raios 1 e 2.

Os valores médios de desvio padrão para os ensaios 1, 2, 3 e 4 foram, respectivamente, de 0,205, 0,212, 0,238 e 0,213, e os valores máximos foram de 0,310, 0,322, 0,347 e 0,335. O desvio padrão é uma medida de dispersão de amostras em torno da média e os valores encontrados para a amostragem de 1.500 pontos por leitura estiveram sempre abaixo de 0,500

ml, o que traduz pequena dispersão para leituras de volume de água. Em ensaios radiais de aspersores com leitura manual, ocorre imprecisão de 0,500 ml quando o instrumento de medição é a proveta graduada com divisões de 1 ml.

Observando-se as Figuras 20, 21, 22 e 23, verifica-se que os maiores desvios padrões ocorreram sempre para os coletores-transdutores situados no raio 1 ou seja, coletores 11 a 17. As células foram escolhidas aleatoriamente para comporem os coletores-transdutores, todos os cabos de transmissão dos sinais foram aterrados pela malha em um único ponto sendo então descartados como fatores que contribuiriam para as diferenças encontradas nos desvios padrões. Como possíveis fontes causadoras dessas diferenças, restam as placas condicionadoras, utilizadas uma para cada raio, e os canais de saída da fonte alimentadora das células de carga dos coletores-transdutores. Entretanto, as diferenças entre as leituras realizadas pelo SAD e através da balança foram pequenas e não provocaram diferenças estatísticas nem entre os coeficientes calculados UD e CUC, nem entre as lâminas médias aplicadas, tanto para o Raio 1 como o para o 2.

5.6 Sistema de aquisição de dados (SAD).

O sistema de aquisição de dados utilizado para coletar os sinais dos elementos transdutores de vazão, pressão e das células de carga permitiu uma conexão prática entre os diversos elementos. O uso das placas de condicionamento de sinal possibilitou uma calibração das células de carga dos coletores-transdutores rápida e precisa, realizada no próprio local de ensaio. Para montagem do sistema não são exigidos conhecimentos específicos de eletrônica, o que facilita o uso de todo o sistema por técnicos da área agrícola. Apenas a configuração dos

canais na placa de conversão requer maior conhecimento que pode facilmente ser adquirido pela leitura dos manuais técnicos e por rápida instrução. Os transdutores-coletores são de fácil montagem.

O programa de microcomputador para aquisição e gerenciamento dos sinais, o AQDADOS, fornecido pela Empresa Lynx Tecnologia Eletrônica LTDA, é de fácil operação, permitindo visualização em tempo real dos sinais em aquisição. A função de calibração por regressão facilitou o uso das células de carga e sua calibração, permitindo obter instantaneamente o fator de correlação da regressão realizada.

Como conjunto, os coletores-transdutores facilitaram o posicionamento do coletor em relação ao aspersor, tanto para a distância linear ao nível do solo quanto da borda superior do coletor ao bocal de saída do aspersor. Os parafusos calantes permitiram uma perfeita horizontalidade do conjunto e sustentabilidade firme, livre de balanços. Com essas vantagens, o uso do coletor-transdutor possibilita variar com facilidade as distâncias entre eles e sua altura em relação ao aspersor, o que permite maior flexibilidade para realização de ensaios radiais de aspersores no que se refere a essas distâncias.

6. CONCLUSÕES

Estatisticamente, a um nível de 5% de significância pelo teste de Tukey, as leituras de volume médio de água aplicado nos coletores feitas pelo SAD(C-T) em comparação às realizadas com a balança digital são iguais, ou seja o SAD(C-T) é equiparável ao método da balança.

Em 75% das leituras de volume de água, o SAD(C-T) superestimou, em 1,26% do volume médio, o volume aplicado em relação às leituras realizadas com a balança digital.

Em 16,07% das medidas realizadas, encontrou-se uma imprecisão de leitura do coletor superior a $\pm 3\%$ da leitura do volume de água pelo SAD (C-T) em relação à balança.

O volume aderido interna e externamente aos coletores-transdutores diminui com o aumento da distância do coletor ao aspersor influenciando no cálculo de lâmina média e nos coeficientes de uniformidade de distribuição, sendo necessário reduzi-los através de antiaderente. Em média, os valores atingiram 9,40% do volume médio quando comparados às leituras da balança e 9,34%, quando comparados às leituras realizadas com o SAD.

Os resultados indiretos de Lâmina média, Lâmina Média dos <25% valores coletados e os coeficientes CUC, AELQ e UD gerados para uma malha de 6x6 metros não apresentaram diferenças estatísticas a um nível de 5% de significância pelo teste de Tukey entre as médias obtidas pelo SAD(T-C) e pela Balança, exceto para o coeficiente AELQ no Raio 1.

A amostragem de 1.500 pontos para todas as leituras dos sinais dos coletores-transdutores para os quatro ensaios, após uma filtragem de 60 Hz feita pelo programa AQDADOS, produziu como maior desvio padrão o valor de 0,347 ml. A linha radial 1 apresentou os maiores desvios em todos os quatro ensaios.

Finalmente, o sistema de aquisição de dados mais os coletores-transdutores permitem um acompanhamento da evolução do volume de água aplicado pelo aspersor, possibilitando programar o sistema para interrupção do teste quando um valor predefinido de lâmina média mínima for aplicado. O sistema de aquisição de dados acoplado aos coletores-transdutores permite grande flexibilidade em relação às distâncias entre coletores e em relação ao aspersor. O conjunto, de fácil manejo, possibilitou rápida calibração das células de carga com o uso do programa AQDADOS. O conjunto coletor-transdutor desenvolvido atendeu ao objetivo, e por permitir variações de formato e dimensões dos coletores, possibilita o desenvolvimento de novas pesquisas.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste trabalho, algumas dúvidas e outras possibilidades vislumbradas levaram a estas sugestões:

Avaliar a melhor combinação de coletor com célula de carga visando aumentar a lâmina média coletada, diminuir a aderência das gotas de água na superfície externa do coletor, estudando vários formatos de coletor incluindo o uso de antiaderente para, então, reduzir as imprecisões de leitura.

Verificar qual a melhor combinação de frequência e tempo de amostragem para o Sistema de Aquisição de Dados utilizado.

Desenvolver um programa para cálculo em tempo real do volume médio de água aplicado visando o interrompimento do ensaio.

8. ANEXOS

Tabela 17: Comparação estatística de médias através do teste de Tukey, Raio 1 com quatro repetições de ensaio radial do aspersor Naan 501-U da Lâmina média, Lâmina média <25%, CUC, AELQ e UD geradas pelo programa CATCH3D através dos resultados de leitura de volume pelo SAD e pela Balança de precisão para uma malha de 6x6 m.

Variável	Nome do tratamento	Rep.	MÉDIAS	5 %
Lâm. méd. d.m.s = 0,09345	SAD	4	3,7250	a
	BAL	4	3,6500	a
Lâm. média < d.m.s = 0,15792	SAD	4	6,3500	a
	BAL	4	6,2000	a
CUC d.m.s = 0,49116	BAL	4	84,9000	a
	SAD	4	84,4250	a
AELQ d.m.s = 1,34284	SAD	4	69,2250	a
	BAL	4	67,6750	b
UD d.m.s = 0,58082	BAL	4	84,5250	a
	SAD	4	84,4250	a

Tabela 18: Comparação estatística de médias através do teste de Tukey, Raio 2 com quatro repetições de ensaio radial do aspersor Naan 501-U da Lâmina média, Lâmina média <25%, CUC, AELQ e UD geradas pelo programa CATCH3D através dos resultados de leitura de volume pelo SAD e pela Balança de precisão para uma malha de 6x6 m.

Variável	Nome do tratamento	Rep.	MÉDIAS	5 %
Lâm. méd. d.m.s = 0,24210	SAD	4	3,5250	a
	BAL	4	3,4500	a
Lâm. média < 25% d.m.s = 0,41183	SAD	4	5,9500	a
	BAL	4	5,8500	a
CUC d.m.s = 0,95249	SAD	4	84,8500	a
	BAL	4	84,7250	a
AELQ d.m.s = 4,45776	SAD	4	65,2500	a
	BAL	4	63,8750	a
UD d.m.s = 0,58082	SAD	4	84,4250	a
	BAL	4	84,2000	a

Tabela 19: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 1, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	78	53	54	54	53	78
2	53	58	68	68	58	53
3	54	68	81	81	68	54
4	54	68	81	81	68	54
5	53	58	68	68	58	53
6	78	53	54	54	53	78

Tabela 20: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 1, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	80	55	55	55	55	80
2	55	60	71	71	60	55
3	55	71	83	83	71	55
4	55	71	83	83	71	55
5	55	60	71	71	60	55
6	80	55	55	55	55	80

Tabela 21: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 1, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	76	49	48	48	49	76
2	49	53	61	61	53	49
3	48	61	75	75	61	48
4	48	61	75	75	61	48
5	49	53	61	61	53	49
6	76	49	48	48	49	76

Tabela 22: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 1, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	76	50	50	50	50	76
2	50	55	63	63	55	50
3	50	63	77	77	63	50
4	50	63	77	77	63	50
5	50	55	63	63	50	50
6	76	50	50	50	76	76

Tabela 23: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 2, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	79	53	54	54	53	79
2	53	58	68	68	58	53
3	54	68	80	80	68	54
4	54	68	80	80	68	54
5	53	58	68	68	58	53
6	79	53	54	54	53	79

Tabela 24: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 2, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	80	54	55	55	54	80
2	54	60	70	70	60	54
3	55	70	82	82	70	55
4	55	70	82	82	70	55
5	54	60	70	70	60	54
6	80	54	55	55	54	80

Tabela 25: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 2, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	76	50	50	50	50	76
2	50	55	63	63	55	50
3	50	63	76	76	63	50
4	50	63	76	76	63	50
5	50	55	63	63	55	50
6	76	50	50	50	50	76

Tabela 26: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 2, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	74	50	50	50	50	74
2	50	55	63	63	55	50
3	50	63	79	79	63	50
4	50	63	79	79	63	50
5	50	55	63	63	55	50
6	74	50	50	50	50	74

Tabela 27: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 3, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	81	54	55	55	54	81
2	54	59	69	69	59	54
3	55	69	81	81	69	55
4	55	69	81	81	69	55
5	54	59	69	69	59	54
6	81	54	55	55	54	81

Tabela 28: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 3, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	84	56	56	56	56	84
2	56	62	71	71	62	56
3	56	71	85	85	71	56
4	56	71	85	85	71	56
5	56	62	71	71	62	56
6	84	56	56	56	56	84

Tabela 29: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 3, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	79	55	53	53	55	79
2	55	59	67	67	59	55
3	53	67	80	80	67	53
4	53	67	80	80	67	53
5	55	59	67	67	59	55
6	79	55	53	53	55	79

Tabela 30: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 3, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	79	56	54	54	56	79
2	56	60	69	69	60	56
3	54	69	83	83	69	54
4	54	69	83	83	69	54
5	56	60	69	69	60	56
6	79	56	54	54	56	79

Tabela 31: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 4, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	79	54	55	55	54	79
2	54	59	69	69	59	54
3	55	69	81	81	69	55
4	55	69	81	81	69	55
5	54	59	69	69	59	54
6	79	54	55	55	54	79

Tabela 32: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 1 da repetição 4, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	80	55	55	55	55	80
2	55	59	70	70	59	55
3	55	70	81	81	70	55
4	55	70	81	81	70	55
5	55	59	70	70	59	55
6	80	55	55	55	55	80

Tabela 33: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 4, método de leitura do volume por balança eletrônica, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	79	52	51	51	52	79
2	52	56	64	64	56	52
3	51	64	78	78	64	51
4	51	64	78	78	64	51
5	52	56	64	64	56	52
6	79	52	51	51	52	79

Tabela 34: Resultado da malha de 6x6 m, em ml, gerada pelo programa CATCH3D através do giro do raio 2 da repetição 4, método de leitura do volume pelo SAD, para o ensaio radial do aspersor Naan 501-U.

Posição	1	2	3	4	5	6
1	82	53	52	52	53	82
2	53	57	65	65	57	53
3	52	65	78	78	65	52
4	52	65	78	78	65	52
5	53	57	65	65	57	53
6	82	53	52	52	53	82

Tabela 35: Evolução do volume de água registrado pelo Sistema de Aquisição de Dados no ensaio radial, repetição 1 em ambiente controlado, do aspersor Naan 501-U, repetição 1, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de ensaio.

Rep. 1	LEITURA PELO SAD							
	RAIO 1				RAIO 2			
	VOLUME (ml)				VOLUME (ml)			
posição	30 min	60 min	90 min	120 min	30 min	60 min	90 min	120 min
1	15,76	31,55	50,22	63,62	16,15	34,59	49,82	66,78
2	6,83	13,95	22,24	27,85	7,08	13,92	21,71	27,61
3	6,05	12,07	18,74	23,58	6,03	11,71	17,82	22,45
4	7,06	13,20	20,21	25,18	6,58	12,64	19,20	23,80
5	5,32	10,05	15,34	19,45	4,83	9,34	14,41	18,13
6	2,64	5,33	8,18	10,58	1,39	3,33	5,88	7,49
7	0,22	0,46	0,76	1,08	0,19	0,28	0,35	0,65

Tabela 36: Evolução do volume de água registrado pelo Sistema de Aquisição de Dados no ensaio radial, repetição 2 em ambiente controlado, do aspersor Naan 501-U, repetição 1, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de ensaio.

Rep. 2	LEITURA PELO SAD							
	RAIO 1				RAIO 2			
	VOLUME (ml)				VOLUME (ml)			
posição	30 min	60 min	90 min	120 min	30 min	60 min	90 min	120 min
1	18,15	36,39	49,48	64,62	11,21	34,00	45,87	65,67
2	7,85	15,45	21,18	28,17	7,91	15,22	21,00	28,2
3	6,89	13,15	18,13	23,98	6,12	12,14	16,68	22,15
4	7,87	14,36	19,31	25,37	7,42	13,92	18,62	24,45
5	5,92	10,90	14,58	19,18	5,58	10,40	14,14	18,70
6	2,93	5,66	7,59	9,98	1,82	3,56	5,05	7,03
7	0,68	0,71	0,92	1,26	0,15	0,38	0,60	0,83

Tabela 37: Evolução do volume de água registrado pelo Sistema de Aquisição de Dados no ensaio radial, repetição 3 em ambiente controlado, do aspersor Naan 501-U, repetição 1, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de ensaio.

Rep. 3	LEITURA PELO SAD							
	RAIO 1				RAIO 2			
	VOLUME (ml)				VOLUME (ml)			
posição	30 min	60 min	90 min	120 min	30 min	60 min	90 min	120 min
1	17,83	35,95	54,88	71,23	16,91	33,61	51,46	67,93
2	7,52	15,19	23,21	30,22	7,78	15,62	23,80	31,15
3	6,62	13,17	19,86	25,76	6,31	12,58	19,17	25,2
4	7,09	13,55	20,22	25,94	7,08	13,42	19,82	25,56
5	5,78	10,75	15,49	20,05	5,48	10,17	14,89	19,47
6	2,42	4,59	7,74	9,60	2,30	4,46	6,84	8,73
7	0,27	0,42	0,62	0,71	0,12	0,23	0,41	0,54

Tabela 38: Evolução do volume de água registrado pelo Sistema de Aquisição de Dados no ensaio radial, repetição 4 em ambiente controlado, do aspersor Naan 501-U, repetição 1, aos 30, 60, 90 e 120 minutos de ensaio.

Rep. 4	LEITURA PELO SAD							
	RAIO 1				RAIO 2			
	VOLUME (ml)				VOLUME (ml)			
posição	30 min	60 min	90 min	120 min	30 min	60 min	90 min	120 min
1	16,45	32,71	48,16	63,76	18,62	37,67	53,77	69,96
2	7,90	15,42	22,21	29,16	7,89	15,64	22,25	29,32
3	6,42	12,59	17,87	23,60	6,2	12,17	17,62	23,13
4	7,52	14,06	19,67	25,61	6,77	12,78	18,27	24,07
5	5,12	10,05	14,09	18,57	5,44	10,12	14,10	18,53
6	2,88	5,41	7,76	10,35	2,24	4,29	6,34	8,19
7	0,46	0,77	0,88	1,00	0,48	0,90	1,04	1,30

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aspersores para irrigação:** avaliação de características operacionais. NBR 8988. São Paulo: ABNT, 1985. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aspersores para irrigação:** avaliação de distribuição de água. NBR 8989. São Paulo: ABNT, 1985. 9p.

ASAE S330. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. In: **AGRICULTURAL ENGINEERS YEARBOOK**. St Joseph, MI: ASAE, 1979. p:499-501.

BELSTERLING, C. A. A look at level measurement methods. New York : **CHILTON'S INSTRUMENTS & CONTROL SYSTEMS**, Apr., 1981. 54(04):37-45.

BENNETT, W. S. & EVERT JR., C. **What every engineer should know about microcomputers: hardware/software design**. New York: Marcel Dekker, Inc., 1980. 175p.

BENTLEY, J. P. **Principles of measurement systems**. 3 ed. New York: John Wiley & Sons, 1988. 503 p.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 4 ed. Viçosa, UFV, Imprensa Univ., 1987. 488p. ilustr.

BILANSKI, W. K.; KIDDER, E. H. *Factors That affect the Distribution of Water from a Medium-Pressure Rotary Irrigation Sprinkler*. St. Joseph, MI: **TRANS. of the ASAE**, Jan-Feb, 1958. 1(1) : 19-28.

- CHANG, C. S. et al.. Construção de um transdutor tipo diafragma para medida de pressão hidráulica. in: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**. Santa Maria, ANAIS. V2a. 1992. p. 626-635.
- CHEN, D. C.; WALLENDER, W. W. *Ecocnomic Sprinkler Selection, Spacing, and Orientation*. St. Joseph, MI: **TRANS. of the ASAE**, May-Jun, 1984. 27(3): 737-743.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Sacramento: Califórnia Agricultural Experimentation Station, Oct., 1942. 124p.
- COELHO, R. D. **Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas**. ESALQ/USP, 1990. 141p. Tese (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", 1990.
- COELHO, R. D.; BOTREL, T. A.; OLITA, A. F. L. Ensaio da uniformidade da aplicação d'agua dos aspersores, com disposição radial de coletores na área. Santa Maria, RS: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 21., 1992. p : 901-914.
- DALLY, J. W.; RILEY, W. F.; McCONNELL, K. G. *Istrumentation for engineering measurements*. New York: John Wiley & Sons, 1984. 576 p.
- DAVIS, J. R. *Measuring Water Distribution from Sprinklers*. St. Joseph, MI: **TRANS. of the ASAE**, Jan-Feb, 1966. 9(1) : 94-97.
- DODI JUNNIOR, C.; SVERZUT, C. B.; TESTEZLAF, R. Construção e avaliação de um sistema coletor automático para ensaio de microaspersores. Piracicaba (SP): **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA**, 19., 1990. p. 628.
- DOEBELIN, E. O. *Measurement systems: applications and design*. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1983. 876 p.
- FISCHER, G. R. & WALLENDER, W. W. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. St Joseph, MI: **TRANS. OF ASAE**, Mar-Apr, 1988. 31(2): p.538-542.

- FOROUD, N. & HLIBKA, D. Instrumentation for simultaneous recording of water level in digital and graphical forms. St. Joseph, MI: **TRANS. OF ASAE**, Mar-Apr, 1989. 32(2): p. 538-542.
- FRIZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ Depto Eng. Rural, 1992. 53 p., il. (Série didática, 003).
- HALL, J. Guide to level monitoring. New York: **CHILTON'S INSTRUMENTS & CONTROL SYSTEMS**, Nov. 1978. 51(10):25-33.
- HART, W. E. Overhead irrigation pattern parameters. **AGRICULTURAL ENGINEERING**. St. Joseph. 1961. 42(7):354-355.
- HODGES, K. J. et al.. Automated facility for sprinkler performance testing. St. Joseph, MI: **APPLIED ENGINEERING IN AGRICULTURE**, Jul, 1990. 6(4): p.437-440.
- ISMAIL, K. A. R. **Técnicas de medidas e instrumentação em engenharia**. Campinas (SP) FEM-UNICAMP. 1991. (7 v., diversas paginações)
- KINCAID, D. C. *Sprinkler Pattern Radius*. St. Joseph, MI. **TRANS. of the ASAE**, Nov-Dec, 1982. 25(6): 1668-1672.
- KINCAID, D.C. *Impact Sprinkler Pattern Modification*. St. Joseph, MI : **TRANS. of the ASAE**, Nov-Dec, 1991. 34(6): 2397-3003.
- MITCHEL, B. W. **Instrumentation and measurement for environmental sciences**. 2.ed. St. Joseph, MI: ASAE. 1983. 1v. (diversas paginações).
- MORRISON, R. L. Getting transducers to "talk" to digital computers. New York: **CHILTON'S INSTRUMENTS & CONTROL SYSTEMS**, Jan., 1978. 51(1):27-31
- MAREK, T. H.; SCHNEIDER, A. D.; BAKER, S. M.; POPHAM, T. W. *Accuracy of Three Sprinkler Collectors*. St. Joseph, MI: **TRANS. of the ASAE**, Jul-Aug, 1985. 28(4): 1191-1195.
- SCIACCA, T. Isolating the difference. New York: **CHILTON'S INSTRUMENTS & CONTROL SYSTEMS** Jan. 1978. 51(1): 27-31.

- SEGINER, I.; et al. *Indoor measurement of single-radius sprinkler patterns*. St. Joseph, MI: **TRANS. of the ASAE**, Mar-Apr, 1992. 35(2):523-33
- SILVA, A. M.; VILAS BÔAS, M. A.; OLIVEIRA, M. S. **Análise comparativa de métodos de amostragem da distribuição espacial de água de aspersores rotativos**. XXIII CONBEA, Campinas, S.P. 1994. Paper 94-3-311. 22 p.
- SOLOMON, K. *Variability of Sprinkler Coefficient of Uniformity Test Results*. St. Joseph, MI : **TRANS. of the ASAE**, Sep-Oct, 1979. 22(5) : 1070-80.
- STANGE, K. & BENDER, A. *A data acquisition system for measurement irrigation sprinkler intensities*. St Joseph, MI: ASAE, 1984. 12 p. 84-2083.
- VICTORIA, F. R. B. **Avaliação de aspersores para operação em baixa pressão**. Piracicaba, ESALQ, 1992. 130p. (Dissertação de mestrado).
- VILAS BÔAS, M. A. **Análise de Métodos de Amostragem da Distribuição Espacial de Água de Aspersores Rotativos**. Lavras, ESAL, 121 p. 1994 (Dissertação de mestrado)
- ZANON, E. R. & TESTEZLAF, R. *Uso de célula de carga em ensaios radiais de aspersores monitorados por sistema de aquisição de dados*. Viçosa, MG: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 24., 1995. Resumos. p. 254.
- ZUCH, E. L. *Linking the analog world to digital computers*. New York: **CHILTON'S INSTRUMENTS & CONTROL SYSTEMS**, Sep. 1977. 50(09): 87-9.

10. BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Célula de carga (transdutores de força)**. NBR 10583. São Paulo: ABNT, Abril, 1989. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Célula de carga (transdutores de força)**: determinação das características de desempenho. NBR 10484. São Paulo: ABNT, Abril, 1989. 22 p.

BERNUTH, R. D. von; *Uniformity Design Criteria Under Limited Water*. St. Joseph, MI: **TRANS. of the ASAE**, Sep-Oct, 1983. 26(5) : 1418-1421.

BRANSHEID, V. D. & HART, W. E. *Predicting field distributions of sprinkler systems*. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, 1968, 11(6): 801-3, 808.

CAMPOS, H. **Estatística aplicada à experimentação com cana de açúcar**. São Paulo: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ). 1984. 292p.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264p.

KRUSE, E. G. Describing irrigation efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, Ann Arbor. 104 (IR1): 35-41. 1978.

RAMOS, J. P. S. **Análise de perda de carga em filtros de tela e disco de sistemas de irrigação localizada utilizando um sistema de aquisição de dados**. Campinas, 1992. 110p. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

SÃO PAULO. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**: primeiro plano do Estado de São Paulo - Síntese. São Paulo, DAEE, 1990. 120 p. ilustr.

SEGINER, I. *Water Losses During Sprinkling*. St. Joseph, MI: **TRANS. of the ASAE**, Jul-Aug, 1971. 14(4) : 656-659.

TAUB, H. **Circuitos digitais e microprocessadores**. São Paulo: McGraw-Hill, 1984. 510p.

TOMPKINS, W. J. & WEBSTER, J. G. *Interfacing sensors to the IBM PC*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall, 1988. 477p.

ABSTRACT

The water distribution pattern is one of the most important sprinkler characteristics. This knowledge is necessary to develop researches, models, quality control and irrigation system design. Trying to obtain an automatized data collection, it was made tests with load cells to analyse their possible use as a water volume sensor applied in sprinkler tests. It was used two load cells of 0.5 and 1.0 Kgf nominal capacity, a data acquisition system, formed by a XT 12 bits microcomputer, an analog-to-digital (A/D) converted board, and the AQDADOS program for the system management. The collector-transducer system was formed by the load cell and the collectors. A test calibration for the cells was conducted. Other tests were made such as: response linearity, water saturation in the collector and hysteresis. All these calibrations showed correlation in 100%. The stabilization of the water reading for both cells represented no significant time when compared to the sample time and small collisions (impact) on the collector didn't affect the average reading. The cell's behavior was similar for hysteresis. The cells showed better precision than the manual reading of the water level collected. The results showed that the use of 0.5 and 1.0 Kgf load cells in the automatization of sprinklers tests is feasible.

KEY WORDS: Tests of sprinklers; Load cell; Automatization.