

MÁRCIO ANTÔNIO VILAS BÔAS

ANÁLISE DE MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÁGUA DE ASPERSORES ROTATIVOS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de «Mestre».

Orientador:

Prof. ANTÔNIO MARCIANO DA SILVA

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1994





MÁRCIO ANTÔNIO VILAS BÔAS

ANÁLISE DE MÉTODOS DE AMOSTRAGEM DA  
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÁGUA DE ASPERSORES  
ROTATIVOS.

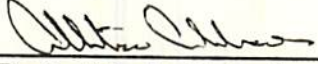
Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de «MESTRE».

APROVADA em 24 de novembro de 1993

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Antônio Marciano da Silva  
(Presidente)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Marcelo Silva de Oliveira

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Jair Vieira

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Alberto Colombo

A DEUS

AOS MEUS PAIS

SEBASTIÃO (IN MEMORIAN) E ANGELITA

AOS MEUS IRMÃOS

CARLOS, EDVALDO, ALOISIO E JORGE

AOS MEUS SOBRINHOS

RENATO, NAYARA E RACIELE

DEDICO

AOS PROFESSORES E AMIGOS

MARCELO SILVA DE OLIVEIRA

ANTÔNIO MARCIANO DA SILVA

AO ENGENHEIRO AGRÍCOLA

NEWTON CÉSAR FERREIRA MAGALHÃES

OFEREÇO



## AGRADECIMENTOS

A Escola Superior de Agricultura de Lavras, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela acolhida e pelos ensinamentos;

Ao Conselho nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), pela concessão da bolsa de estudos;

Aos Professores Antônio Marciano da Silva e Marcelo Silva de Oliveira, ESAL, pela orientação, dedicação e, especialmente, pela amizade;

Aos Professores Manoel Alves de Faria e Luiz Antonio Lima, ESAL, pela boa vontade demonstrada em desfazer minhas dúvidas sempre que solicitados e pela amizade;

Aos Professores Jair Vieira e Alberto Colombo, ESAL, pela valiosa colaboração e pelas sugestões apresentadas;

Aos Srs. Lindenberg Naves da Silva e Oswaldo Francisco de Carvalho, pelo auxílio e fornecimento de material;

Aos colegas de curso Ademir, Coutinho, Dilson, Joaquim e Miguel pelo convívio e amizade;

Ao colega Eurides Kuster Macedo Junior pelo apoio e especialmente pela amizade;

A Érika Bastos Buttenmuller pelo incentivo, carinho e amor;

Aos Professores e Servidores da C.N.E.C. pela amizade;

Aos demais colegas do curso e a todos que direta ou indiretamente, colaboraram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

|   | página |
|---|--------|
| LISTA DE QUADROS .....  | viii   |
| LISTA DE FIGURAS .....  | xiii   |
| RESUMO .....  | xx     |
| SUMMARY .....   | xxii   |
| <br>  |        |
| 1. INTRODUÇÃO .....   | 1      |
| <br>  |        |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO .....  | 4      |
| 2.1. Fatores que afetam o desempenho dos aspersores ....  | 4      |
| 2.2. Modelagem estatística .....  | 5      |
| 2.3. Métodos de amostragem .....  | 16     |
| 2.3.1. Ensaio de desempenho de aspersores utilizando-se de uma amostragem segundo uma disposição em malha dos coletores ..... | 16     |
| 2.3.2. Ensaio de desempenho de aspersores utilizando-se de uma amostragem radial dos coletores .....                          | 20     |
| <br>  |        |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS .....   | 24     |
| 3.1. Local .....  | 24     |
| 3.2. Aspersor Ensaiado .....  | 24     |
| 3.3. Caracterização dos métodos ensaiados .....   | 25     |
| 3.3.1. Método de amostragem em Malha .....  | 25     |
| 3.3.2. Método de amostragem Radial e derivações R1, R2, R3 e R4 .....   | 25     |
| 3.3.3. Método de amostragem Radial CEMAGREF.....  | 27     |
| 3.4. Procedimento de campo.....   | 28     |

|  |     |
|--|-----|
| 3.4.1. Considerações gerais.....   | 28  |
| 3.4.2. Disposição dos coletores nos ensaios de amostragem.....   | 30  |
| 3.5. Comparação entre os métodos de amostragem.....  | 30  |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....  | 36  |
| 4.1. Características operacionais do aspersor.....   | 36  |
| 4.2. Perfis de precipitação para os métodos de amostragem em Malha, Radial e suas derivações R1, R2, R3, R4 e Radial CEMAGREF..... | 38  |
| 4.3. Ajuste dos dados à distribuição Normal.....   | 62  |
| 4.4. Comparação entre os métodos de amostragem.....  | 73  |
| 4.4.1. Método de amostragem em Malha x Método de amostragem Radial e suas derivações R1, R2 R3 e R4.....                           | 88  |
| 4.4.2. Método de amostragem em Malha x Método de amostragem Radial CEMAGREF.....   | 99  |
| 4.4.3. Método de amostragem Radial CEMAGREF x Método de amostragem Radial e suas derivações R1, R2, R3 e R4.....                   | 102 |
| 5. CONCLUSÕES.....   | 113 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....  | 115 |



## LISTA DE QUADROS

1. Valores médios do tempo de rotação, vazão e velocidade do vento para 37 ensaios de distribuição com tempo de duração de 1h à pressão de 200 (kPa) ..... 37
2. Valores da média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem em Malha ..... 39
3. Valores da média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial ..... 40
4. Valores da média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial R1 ..... 41
5. Valores da média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial R2 ..... 42

|  |    |
|--|----|
| 6. Valores da média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial R3 .....         | 43 |
| 7. Valores da média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial R4 .....         | 44 |
| 8. Valores da média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial CEMAGREF .....   | 45 |
| 9. Equações ajustadas para a função média de lâminas coletadas em diferentes distâncias do coletor ao aspersor e respectivos coeficientes de determinação para cada método de amostragem estudado. ....            | 64 |
| 10. Equações ajustadas para a função desvio-padrão de lâminas coletadas em diferentes distâncias do coletor ao aspersor e seus respectivos coeficientes de determinação para cada método de amostragem estudado .. | 65 |
| 11. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem em Malha .....                                   | 74 |



12. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem em Malha ..... 75
13. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial ..... 76
14. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial ..... 77
15. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R1 ..... 78
16. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R1 ..... 79
17. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R2 ..... 80

|   |    |
|---|----|
| 18. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R2 ..... | 81 |
| 19. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R3 .....         | 82 |
| 20. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R3 ..... | 83 |
| 21. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R4 .....         | 84 |
| 22. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R4 ..... | 85 |
| 23. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial CEMAGREF .....   | 86 |

|   |    |
|---|----|
| 24. Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial CEMAGREF ..... | 87 |
|---|----|

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| 1. Região de molhamento causada por um aspersor em sua volta. O ponto $a$ define a localização do centro do aspersor, e o ponto $x$ define a localização do centro de um coletor .....           | 06 |
| 2. Região de molhamento $R$ , com raios $R_1, R_2, R_3$ , etc., ao longo dos quais se produz a distribuição de água pelo aspersor .....  | 11 |
| 3. Elementos do modelo proposto para uma versão descritiva teórica da distribuição superficial de água pelo aspersor .....   | 12 |
| 4. Representação esquemática dos coletores ensaiados .....   | 26 |
| 5. Disposições dos coletores para os três métodos de amostragem nos ensaios de distribuição de água do aspersor .....  | 31 |
| 6. Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados .....  | 47 |
| 7. Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R1 Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... | 48 |



8. Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R2 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 49
9. Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R3 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 50
10. Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R4 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 51
11. Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 52
12. Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R1 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 53
13. Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R2 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 54



14. Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R3 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 55
15. Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R4 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 56
16. Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 57
17. Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R1 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 58
18. Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R2 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 59
19. Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R3 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... 60

|   |    |
|---|----|
| 20. Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R4 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados ..... | 61 |
| 21. Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem em Malha .....   | 66 |
| 22. Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial .....   | 67 |
| 23. Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial R1 .....  | 68 |
| 24. Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial R2 .....  | 69 |
| 25. Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial R3 .....  | 70 |
| 26. Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial R4 .....  | 71 |

|  |    |
|--|----|
| 27. Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial CEMAGREF .....                                   | 72 |
| 28. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial e em Malha .....            | 89 |
| 29. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial e em Malha .....    | 90 |
| 30. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R1 e em Malha .....         | 91 |
| 31. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R1 e em Malha ..... | 92 |
| 32. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R2 e em Malha .....         | 93 |
| 33. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R2 e em Malha ..... | 94 |
| 34. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R3 e em Malha .....         | 95 |



35. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R3 e em Malha ..... 96
36. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R4 e em Malha ..... 97
37. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R4 e em Malha ..... 98
38. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial CEMAGREF e em Malha ..... 100
39. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial CEMAGREF e em Malha ... 101
40. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial e Radial CEMAGREF ..... 103
41. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial e Radial CEMAGREF .. 104
42. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R1 e Radial CEMAGREF ..... 105

43. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R2 e Radial CEMAGREF .. 106
44. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R2 e Radial CEMAGREF ..... 107
45. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R2 e Radial CEMAGREF .. 108
46. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R3 e Radial CEMAGREF ..... 109
47. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R3 e Radial CEMAGREF .. 110
48. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R4 e Radial CEMAGREF ..... 111
49. Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R4 e Radial CEMAGREF .. 112



## RESUMO

VILAS BÔAS, Márcio Antonio. *Análise de Métodos de Amostragem da Distribuição Espacial de Água de Aspersores Rotativos*. Lavras, ESAL, 1993. 121p. (Dissertação de Mestrado - Engenharia Agrícola / Irrigação e Drenagem ). \*

O presente estudo foi conduzido numa área plana, com solo descoberto, localizada nas dependências do laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Lavras, MG, com o objetivo de comparar três métodos de amostragem da distribuição espacial de água de aspersores rotativos.

Foram realizados 37 ensaios (repetições) com um único aspersor, para os três métodos de amostragem apresentados, nos quais determinou-se a vazão, pressão e rotação do aspersor segundo normas da ABNT. As precipitações foram medidas através de coletores dispostos segundo os métodos de amostragem propostos.

Com as lâminas coletadas foram construídos para os métodos de amostragem estudados, intervalos de confiança para a função média e para a função desvio-padrão. De posse dos

---

\* Comitê de Orientação: Antonio Marciano da Silva ( Orientador ) e Marcelo Silva de Oliveira

intervalos de confiança procurou-se comparar os métodos tomando-se como referencial o método de amostragem em Malha.

Os resultados obtidos mostraram que o método de amostragem Radial e suas derivações R1, R2, R3 e R4 são equivalentes ao método de amostragem em Malha.

O método de amostragem Radial apresentado pelo CEMAGREF não se mostrou equivalente ao método de amostragem em Malha.

Procurou-se também comparar os métodos de amostragem Radiais entre si, e constatou-se uma equivalência entre os mesmos.

Devido ao fato de serem estatisticamente equivalentes ao método de amostragem tradicional, bem como à facilidade de instalação e economia resultante da utilização dos métodos de amostragem Radiais, pode-se recomendá-los para os ensaios de análise de uniformidade de aplicação de água, de aspersores rotativos, seja em condições de campo na ausência de ventos, seja em locais fechados.

## SUMMARY

VILAS BÔAS, MARCIO ANTONIO, Analysis of Sampling Methods for Analysis of Spatial Distribution of Water by Rotary Sprinklers. Lavras, ESAL, 1993, 121p.( Master of Science Dissertation - Agricultural Engineering / Irrigation and Drainage ).\*

This present study was conducted at a plain and non-cultivated soil located Escola Superior de Agricultura de Lavras, in the state of Minas Gerais, Brazil. The main objective is to compare three methods for sampling spatial distribution of water by rotary sprinklers under no wind conditions.

These methods were established by placing the catch cans in a square grid format, along four radial lines displaced 90 degrees from each other, and on only one radial line, also referred to as CEMAGREF method.

37 tests with one single sprinkler were conducted for each sampling method in which were measured water flow water pressure and rotation velocity, all done as suggested by ABNT( Brazilian standard testing ). The water applied was measured

---

\* Guidance committee : Antonio Marciano da Silva (major Professor) and Marcelo Silva de Oliveira.

after being collected by catch cans disposed accordingly to the sampling method.

Confidence intervals were determined for mean and standard deviation for each sampling method. The calculated intervals were compared taking as reference the square grid sampling method. These intervals allow to conclude that while the four radial lines sampling method is equivalent to the square grid method, the CEMAGREF sampling method was statistically different from it. It was also noticed that the radial methods were statistically equal.

As long no wind is present the radial methods can be used to determine spatial distribution of water by rotary sprinklers. Once these methods are simple and easy to perform they are strongly recommended.



## 1- INTRODUÇÃO

Tida como um dos melhores sistemas de aplicação de água em função da sua adaptabilidade e eficiência, a irrigação por aspersão tem contribuído acentuadamente para o aumento da área irrigada no Brasil.

No território nacional, é grande o número de empresas fabricantes de equipamentos de irrigação. Segundo relatório do IPT (1987), no Brasil foram cadastradas 43 fabricantes de equipamentos de irrigação por aspersão. Porém, dentre estes, poucos mantêm uma área de desenvolvimento do produto e de controle mais sofisticado de qualidade ou campos de teste de desempenho. Observa-se portanto a necessidade de realização de ensaios de equipamentos e componentes, visando verificar a qualidade dos mesmos e proporcionar o real desempenho do material adquirido.

O planejamento racional de um sistema de aspersão requer, além de outras informações, o conhecimento da quantidade e distribuição de água aplicada. Um dos processos para avaliar o desempenho de um sistema de irrigação é a obtenção e apresentação



de dados característicos da distribuição de água de aspersores para irrigação no campo. No caso do sistema por aspersão, um estudo por amostragem poderá ser conseguido através de recipientes coletores da precipitação colocados em locais representativos.

O método proposto na norma NBR 8989 da A.B.N.T. (1985) estabelece que o ensaio de distribuição seja realizado com uma amostra de coletores com uma disposição espacial em malha quadrada, exigindo um número elevado de coletores, e um cansativo trabalho de mensuração das lâminas de água coletadas, o que dificulta sensivelmente a realização dos ensaios. Por estas razões, verifica-se a tendência entre pesquisadores e fabricantes para o uso de ensaios com uma amostra de coletores numa disposição radial.

Ensaio de distribuição de água com uma amostra de coletores em uma disposição radial já fazem parte da rotina de trabalho de alguns pesquisadores e laboratórios de renome internacional. No Brasil, pesquisas realizadas por COELHO (1990) e VICTORIA (1992), utilizaram esta metodologia de amostragem, considerando-a como de fácil instalação, rápida e econômica.

Verifica-se também haver desde então algumas variações deste método de ensaio, como a apresentada na França pelo laboratório do Centro Nacional de Máquinas Agrícolas de Extensão

e de Florestas (CEMAGREF), que realiza estes ensaios com os coletores construídos de tal maneira que suas áreas de coleta crescem segundo um ângulo de abertura, estabelecido como de um grau e cinquenta minutos.

Em vista do exposto, o presente trabalho teve como objetivo básico comparar três métodos de amostragens da distribuição espacial de água de aspersores rotativos:

- Amostragem na disposição em malha.
- Amostragem na disposição radial.
- Amostragem na disposição radial apresentada pelo CEMAGREF.

## 2- REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Fatores que afetam o desempenho dos aspersores

CHRISTIANSEN (1942), WIERSMA (1955), BILANSKI & KIDDER (1958), PAIR (1968), SEGNER (1971), LOPEZ (1975), DAKER (1976), OLITTA (1977), SOLOMON (1979), WALKER (1979), RIBEIRO (1982), BERNARDO (1989), MARQUELLI (1989) e COELHO (1990), são unânimes em afirmar que o conhecimento dos fatores que governam o desempenho do aspersor é de suma importância na seleção do melhor aspersor para determinadas condições de funcionamento. Estes autores ainda mostram que muitos fatores afetam a distribuição de água pelos aspersores, mas, dentre esses fatores, destacam-se: a pressão de serviço do aspersor, a rotação dos aspersores, a altura do aspersor, o diâmetro e tipo de bocal, o espaçamento e as condições climáticas.



## 2.2. Modelagem Estatística

Para que seja possível estudar a distribuição de água por um aspersor usando diferentes métodos de amostragem, é necessário definir um modelo estatístico que explique a variabilidade espacial dessa distribuição.

Considere a região  $R$  de molhamento ao redor de um aspersor centrado num ponto  $a$  ( Fig.1 ). A distribuição de água pelo aspersor dentro de um certo intervalo de tempo produz em cada coletor centrado no ponto  $x$  da região de molhamento  $R$  a lâmina precipitada  $Y(x)$ . Esta quantidade é uma variável aleatória, sendo que seu valor numérico realizado numa particular operação (ensaio) do aspersor é representado por  $y(x)$ . O conjunto de todas as variáveis aleatórias  $Y(x)$  para todos os pontos  $x$  que pertencem a  $R$  é uma *função aleatória* ou um *processo estocástico* (KARLIN e TAYLOR 1975; KANNAN 1979), e será representado por:

$$Y = \{ Y(x) : x \in R \subset R^2 \} \dots \dots \dots \text{Eq. 1}$$

Este enfoque para a distribuição de água pelo aspersor é livre de questionamentos, pois é totalmente sustentado por um argumento do ponto-de-vista epistemológico.

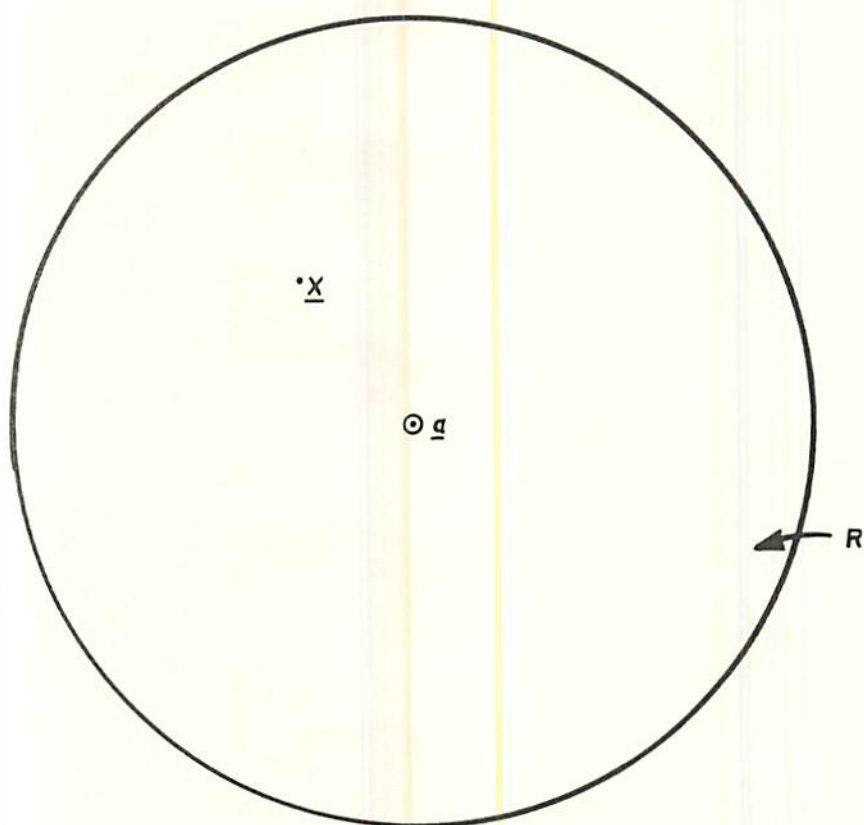


FIG.1: Região de molhamento causada por um aspersor em sua volta.  
O ponto a define a localização do centro do aspersor, e o  
ponto x define a localização do centro de um coletor.

Baseado no processo físico que se está modelando ( a distribuição de água produzida por um aspersor em sua volta ) pode-se ir um pouco mais além na modelagem, admitindo-se para a variável  $Y(\underline{x})$  um partição como se segue:

$$Y(\underline{x}) = \mu(\underline{x}) + W(\underline{x}) \quad , \quad \forall \underline{x} \in R \dots\dots\dots \text{Eq. 2}$$

sendo:

$$\mu(\underline{x}) = E[Y(\underline{x})]; \dots\dots\dots \text{Eq. 3}$$

$\mu(\underline{x})$  é a média (ou a esperança matemática ) de  $Y(\underline{x})$ , e  $W(\underline{x})$  é uma variação aleatória ocorrida na distribuição de água para o coletor centrado em  $\underline{x}$ , que causa um desvio para a lâmina precipitada de  $\mu(\underline{x})$  para  $Y(\underline{x})$ . Esta é a razão pela qual fazendo-se diferentes ensaios para o mesmo aspersor, nota-se que a lâmina de água precipitada em um mesmo coletor é variável (isto é, não é constantemente igual a média ). Um modelo como acima é denominado um modelo linear (GRAYBILL, 1976).

Avançando um pouco mais na modelagem, pode-se admitir a existência de momentos de segunda ordem no processo, sendo então permitido definir a covariância entre as lâminas precipitadas em 2 pontos  $\underline{x}'$  e  $\underline{x}''$  como:

$$k(\underline{x}', \underline{x}'') = \text{Cov}[Y(\underline{x}'), Y(\underline{x}'')] \dots\dots\dots \text{Eq. 4}$$



onde:

$$\text{Cov}[Y(\underline{x}'), Y(\underline{x}'')] = E[Y(\underline{x}') \cdot Y(\underline{x}'')] - E[Y(\underline{x}')] \cdot E[Y(\underline{x}'')] \dots \text{Eq. 5}$$

Como um caso particular da covariância entre as lâminas precipitadas em 2 pontos  $\underline{x}'$  e  $\underline{x}''$  tem-se a variância da lâmina precipitada no coletor centrado no ponto  $\underline{x}$ . Fazendo-se  $\underline{x}' = \underline{x}'' = \underline{x}$  temos:

$$\sigma^2(\underline{x}) = k(\underline{x}, \underline{x}) \dots \text{Eq. 6}$$

O desvio-padrão em  $\underline{x}$  é dado por

$$\sigma(\underline{x}) = \sqrt{k(\underline{x}, \underline{x})} \dots \text{Eq. 7}$$

Um modelo estatístico como definido até aqui já permite o uso de um instrumental inferencial razoável, como por exemplo, estimadores com qualidade para as funções média  $\mu(\cdot)$  e covariância  $k(\cdot, \cdot)$ . Porém, as características do processo físico sob estudo e o desejo de se fazer conclusões mais poderosas sobre este processo, leva à uma etapa a mais nesta modelagem, conferindo um caráter Normal à distribuição de água. Estabelece-se então uma *função aleatória Gaussiana*:

A função de densidade de probabilidade de qualquer

vetor  $\underline{Y}' = (Y(x_1), \dots, Y(x_n))$  com  $x_1, \dots, x_n \in R$ , de qualquer tamanho  $n \geq 1$ , pode ser escrita como (GRAYBILL, 1976; JAMES, 1981):

$$f_{\underline{Y}}(\underline{Y}) = \left[ \frac{1}{(2\pi)^{n/2} \cdot |\Sigma|^{1/2}} \right] \cdot \exp \left[ \frac{1}{2} (\underline{Y} - \underline{\mu})' \Sigma^{-1} (\underline{Y} - \underline{\mu}) \right] \dots \dots \text{Eq. 8}$$

onde:

$$\underline{Y}' = (Y(x_1), \dots, Y(x_n)), \quad \underline{\mu}' = (\mu(x_1), \dots, \mu(x_n)) \dots \dots \text{Eq. 9}$$

e,

$$\Sigma = \begin{bmatrix} k(x_1, x_1) & k(x_1, x_2) & \dots & k(x_1, x_n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k(x_n, x_1) & k(x_n, x_2) & \dots & k(x_n, x_n) \end{bmatrix} \dots \dots \text{Eq. 10}$$

O símbolo " $|\Sigma|$ " indica "o determinante de  $\Sigma$ ".

A justificativa para esta pressuposição mais informativa está baseada no seguinte argumento: as áreas de coleta dos coletores não são desprezíveis (isto é, não são pontuais), sendo o somatório de muitas pequenas áreas (quase pontuais). Este fato, aliado a sugestão proposta pelo teorema

central do limite que prescreve distribuição normal ao somatório de muitas parcelas aleatórias, mesmo que estas não sejam normais (JAMES, 1981), permite ver a precipitação  $Y(x)$  em cada coletor centrado no ponto  $x$  de  $R$  como uma possível variável aleatória normalmente distribuída. A extensão desta normalidade univariada de cada variável  $Y(x)$  para a normalidade multivariada de toda a função  $Y$  é, pelo menos a princípio, livre de argumentos conclusivamente opostos.

Indo mais além, e usando outra vez argumentos baseados no processo físico estudado em si, pode-se finalmente chegar a um modelo estatístico adequado para o estudo da distribuição superficial de água do aspersor no solo. Trata-se de acrescentar às considerações anteriores, a pressuposição de que o processo de distribuição de água pelo aspersor é repetitivo em relação aos raios do círculo  $R$  de molhamento. Assim, as tendências observadas na distribuição de água ao longo de qualquer raio  $r$ , são as mesmas que são observadas no raio  $R_1, R_2, R_3$ , etc, (Fig. 2). Se isto não for assim, então todo e qualquer estudo que leve em consideração um sistema de irrigação formado pela sobreposição das regiões de molhamento de aspersores, deveria também considerar a particular orientação radial que cada aspersor tem ao ser montado no sistema. Ora, é claro, isto nunca é considerado. Esta praxe leva obrigatoriamente a admitir-se (pelo



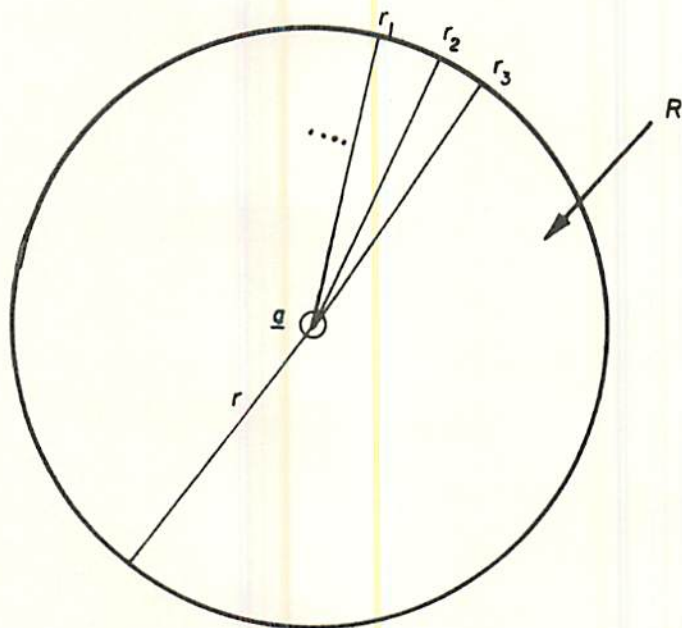


Fig 2. Região de molhamento  $R$ , com os raios  $R_1, R_2, R_3$  etc., ao longo dos quais se produz a distribuição de água pelo aspersor.

menos implicitamente), o caráter radial repetitivo da distribuição de água por um aspersor. Acrescentando-se esta última pressuposição ao modelo em construção, propõe-se então a seguinte versão para a descrição estatística teórica da distribuição de água pelo aspersor:

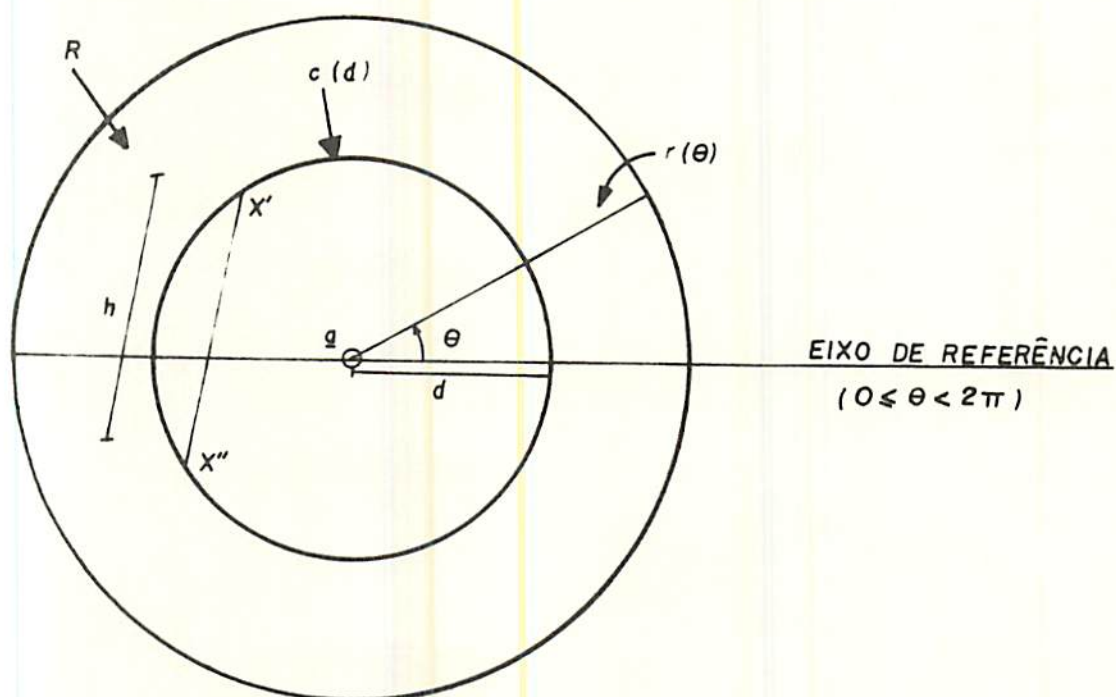


Fig 3. Elementos do modelo proposto para uma versão descritiva teórica da distribuição superficial de água pelo aspersor.

A função aleatória Gaussiana  $Y$  realiza-se em toda a região  $R$ . Fixada a distância  $d$  até o aspersor, define-se uma circunferência  $c(d) = \{ \underline{x} \in R : | \underline{x} - \underline{a} | = d \}$  ( o símbolo "||" indica norma euclideana). Esta circunferência de molhamento (Fig.3), define uma (sub) função aleatória:

$$Y(d) = \{ Y(\underline{x}) \in Y : \underline{x} \in c(d) \subset R \subset R^2 \} \quad \text{Eq. 11}$$

com função média dada por  $\mu(d)$  ( que é igual a  $\mu(\underline{x})$  para  $\underline{x} \in c(d)$  ) e função covariância transversal (ao raio) definida por  $K_t(h,d)$  ( que é igual a  $k(\underline{x}', \underline{x}'')$  para todo  $\underline{x}'$  e  $\underline{x}'' \in c(d)$  tal que  $| \underline{x}' - \underline{x}'' | = h$  ) e função covariância radial  $k_r(h)$  ( que é igual a  $k(\underline{x}', \underline{x}'')$  para todo  $\underline{x}'$  e  $\underline{x}'' \in r(\theta)$ , para todo  $\theta \in [0, 2\pi)$ , tal que  $| \underline{x}' - \underline{x}'' | = h$  ).

Consequentemente, a função variância é dada por:

$$\sigma^2(d) = k_t(0,d) = k_r(0) \quad \text{Eq. 12}$$

e a função desvio-padrão é dada por:

$$\sigma(d) = \sqrt{k_t(0,d)} = \sqrt{k_r(0)} \quad \text{Eq. 13}$$

Todas as características da distribuição de água pelo aspersor estão contidas no modelo acima. A partir dele pode-se



determinar além da distribuição, a *uniformidade* de aplicação do aspersor através de um *coeficiente de uniformidade*. Tal coeficiente deverá levar em consideração a variabilidade espacial introduzida pela função média (desuniformidade devido à uma causa sistemática) e também considerar a desuniformidade introduzida pela *variação aleatória* (esta variabilidade está medida pela função covariância).

Os estimadores para a função média  $\mu(\cdot)$  e a função desvio-padrão  $\sigma(\cdot)$  podem ser definidos como se segue. Seja a sub-função aleatória:

$$A = \{ Y(\underline{x}) : \underline{x} \in A \subset R \subset R^2 \} \quad \text{Eq. 14}$$

onde  $A$  é uma coleção de  $n$  pontos de  $R$  definindo então uma *amostra* da distribuição superficial de água pelo aspersor:

$$A = \{ \underline{x}_1, \dots, \underline{x}_n ; \underline{x} \in R \}. \quad \text{Eq. 15}$$

Se o processo de distribuição de água é repetido  $m$  vezes, isto é, se o aspersor é posto para funcionar ( com um período de tempo pré- estabelecido)  $m$  vezes (independentes), então em cada ponto  $\underline{x}_i$  de  $A$  temos  $m$  realizações da variável aleatória  $Y(\underline{x}_i)$ , a saber,  $y_1(\underline{x}_i), \dots, y_m(\underline{x}_i) \quad i = 1, \dots, n$ .

Pode-se então estimar ( GRAYBILL, 1976 ) a função média  $\mu(\cdot)$  para adequados valores de distância  $d$  através de:

$$\tilde{\mu}(d) = \frac{\sum_{j=1}^{m(d)} y_j(x_i)}{m(d)} \dots \dots \dots \text{Eq. 16}$$

e a função desvio-padrão  $\sigma(\cdot)$  através de:

$$\tilde{\sigma}(d) = \sqrt{\frac{1}{m(d)-1} \sum_{j=1}^{m(d)} [y_j(x_i) - \tilde{\mu}(d)]^2} \dots \dots \dots \text{Eq. 17}$$

onde os somatórios são feitos sobre todos os  $m(d)$  pontos  $x_i$  de  $A$  tais que  $|x_i - a| = d$ . Obtém-se então duas nuvens de pontos, uma para a média e outra para o desvio-padrão em função da distância  $d$ : sobre estas nuvens ajusta-se (via quadrados mínimos) 2 curvas, sendo estas finalmente as estimativas  $\hat{\mu}(\cdot)$  e  $\hat{\sigma}(\cdot)$  para as funções média e desvio-padrão.

Dentre os fatores que determinam a qualidade das estimativas realizadas, dois deles são muito importantes, os quais são: (a) Tamanho da amostra ( número de coletores instalados ) e espaçamento entre pontos amostrados. (b) configuração espacial da amostra (em malha, radial, etc). Nesta dissertação pretende-se estudar especialmente a configuração.

### 2.3. Métodos de Amostragem

#### 2.3.1. Ensaio de desempenho de aspersores utilizando-se de uma amostragem segundo uma disposição em malha dos coletores.

Segundo CHRISTIANSEN (1942), o estudo da uniformidade de aplicação de água através de equipamentos de irrigação por aspersão teve início com os trabalhos de Staebner (1930), o qual avaliou aspersores americanos e alemães de uma maneira descritiva.

As avaliações quantitativas de desempenho de aspersores tiveram início com o importante trabalho apresentado por CHRISTIANSEN (1942), quando foi definido o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

CHRISTIANSEN (1942) relata neste seu trabalho as informações obtidas em 170 diferentes ensaios de campo, que tiveram como objetivo avaliar a uniformidade de aplicação de água: 70% dos ensaios foram realizados segundo a metodologia proposta por Staebner (1930), que distribuía em uma amostragem em malha, coletores a cada  $0,929 \text{ m}^2$  (10 sq.ft), os demais 30% dos ensaios foram realizados também com uma amostragem em malha, mas com os coletores a cada  $0,464 \text{ m}^2$  (5sq.ft). Os coletores apresentavam um diâmetro de 0,0635 m.



CHRISTIANSEN (1942) estabeleceu o desvio médio como medida de dispersão. O desvio médio é o valor médio das diferenças absolutas entre cada lâmina coletada e a média geral das lâminas coletadas.

CHRISTIANSEN (1965) fez um comentário sobre a aplicação do seu coeficiente, onde coloca que a principal vantagem está na sua simplicidade de cálculo, onde fornece uma relativa informação da distribuição, e que pode ser mais facilmente determinado do que o coeficiente de variação(CV).

Esclarece ainda que o coeficiente não pode ser utilizado diretamente como índice de eficiência de aplicação, pois existem outros fatores que influenciam na sua determinação.

HART (1961) esclarece que existem diversas formas e arranjos para obtenção da superposição de valores de precipitação. Uma delas é colocar os aspersores em determinado espaçamento a ser investigado. Neste caso, todos os aspersores são operados durante o teste de modo que a água lançada por eles na área em estudo, fosse coletada simultaneamente e incluída nos cálculos da distribuição.

Outro método bastante utilizado, é aquele que trabalha um único aspersor com coletores dispostos numa amostragem em malha para coletar a água precipitada. Posteriormente, faz-se a simulação dos diversos espaçamentos, originando sobreposições,

e, por meio do coeficiente de uniformidade, verifica-se qual deles é melhor. Este método tem como principais vantagens requerer menos tempo para realização do teste, e virtualmente infinito número de possibilidades de simulação de espaçamentos.

BRANSCHIED et alii (1968) utilizaram-se de uma amostragem em malha de coletores para compararem testes com um único aspersor e com uma linha lateral com 13 aspersores espaçados de 9 m. Concluíram que o procedimento de se fazer a sobreposição dos dados de um único aspersor é perfeitamente válido.

Chaudhry et alii (1973) citados por SATTO (1978) realizaram ensaios no campus da Escola de Engenharia de São Carlos, com um único aspersor, e na Faculdade de Agronomia de Jaboticabal, com quatro aspersores. Os coletores estavam dispostos segundo uma amostragem em malha. Concluíram que os ensaios realizados com único aspersor são os mais recomendados, pois através do uso do computador, podem ser gerados vários dados de lâminas sobrepostas, para cada espaçamento.

Segundo a norma NBR 8989 (1985) da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, os coletores devem ser instalados seguindo uma amostragem em malha e no mínimo 50 coletores deverão receber água durante o ensaio de campo. Com relação ao tempo de ensaio, estabelece que a duração mínima deverá ser de uma hora,



sendo que outros períodos poderão ser adotados, desde que sejam suficientes para proporcionar um volume médio de água nos coletores equivalente à uma lâmina de aplicação de 5mm.

DAVIS (1966) utilizando-se de uma amostragem em malha de coletores realizou um estudo aprofundado sobre a densidade de coletores em campo de ensaio. Os resultados obtidos demonstraram que para sistemas com uma boa uniformidade de aplicação, cada coletor não deve representar mais do que 6,7% da área total de ensaio, em sistemas com baixa uniformidade, cada coletor deve no máximo representar 2.5% da área ensaiada.

MARENK et alii (1985) realizaram um estudo sobre a precisão de três tipos de coletores utilizando-se de ensaios de aspersores com os coletores numa disposição em malha. Os resultados obtidos indicaram que o coletor denominado funil de separação foi o mais exato, porém o seu elevado custo inviabiliza a sua utilização. Também mostraram que a lata de óleo metálica pode ser utilizada com um grau aceitável de precisão e com um baixíssimo custo.

COELHO et alii (1992) realizaram estudo visando a comparação de métodos de amostragem ( coletores em disposição radial e em malha ). Concluíram que os resultados obtidos para os valores de CUCs em ensaios com os coletores numa disposição radial são equivalentes aos ensaios de coletores numa disposição



em malha.

Entretanto verifica-se que as comparações entre os métodos de amostragem aqui citados levaram em consideração o coeficiente de uniformidade obtido pelos respectivos métodos o que só não são suficientes pois importantes também são os parâmetros estatísticos desvio-padrão e média que podem fornecer a distribuição de água do aspersor.

### 2.3.2. Ensaio de desempenho de aspersores utilizando-se de uma amostragem radial dos coletores.

Os ensaios de distribuição de água de aspersores são importantes para estudos em diversas condições operacionais. Essa distribuição pode ser determinada através de ensaio com uma amostragem radial de coletores, em local coberto. Com a revolução do perfil de distribuição, é produzida a malha espacial, para ser sobreposta nos espaçamentos de interesse e usada no cálculo dos CUCs respectivos (CHEN & WALLENDER, 1984 e SEGINER et alii, 1991).

Griffin (1978) citado por CHEN & WALLENDER (1984), utilizou-se do perfil de distribuição de água de um único aspersor, obtido com coletores dispostos numa amostragem radial,

para simular uma amostragem em malha. A malha espacial de coletores foi gerada através da revolução do perfil de distribuição do aspersor. Os pontos da malha espacial não correspondentes exatamente à distância real ao longo do ensaio de amostragem radial foram interpolados linearmente. Com a malha espacial obtida com um único aspersor, efetuaram-se as sobreposições correspondentes aos espaçamentos desejados.

FISCHER & WALLENDER (1988) em estudo sobre os efeitos do tamanho do coletor e do tempo de duração do ensaio na determinação da distribuição espacial da água, utilizaram-se de uma amostragem radial de coletores em laboratório, com um sistema de aquisição de dados automatizado. Concluíram haver uma maior variabilidade das lâminas em coletores situados próximos ao aspersor e no final do raio de alcance do aspersor e também mostraram que o coeficiente de variação CV da lâmina de água coletada diminuiu à medida que a duração do ensaio e o diâmetro dos coletores aumentaram.

KINCAID (1991) trabalhou no desenvolvimento de aspersores, utilizando ensaios com amostragem radial dos coletores, em local coberto. Os ensaios na amostragem radial foram conduzidos para se estudar padrões de distribuição de água de aspersores, na ausência do vento.

COELHO (1990) pesquisando sobre regulagens de

aspersores, utilizou-se de ensaios com amostragem radial dos coletores em laboratório, para determinar a distribuição das lâminas de água dos aspersores estudados. Ainda o mesmo autor cita que a facilidade de instalação e a economia alcançada com os ensaios de distribuição com amostragem radial dos coletores indicam o potencial e a viabilidade de uso desses ensaios em locais fechados, na ausência de vento.

BILANSKI & KIDDER (1958) em um estudo sobre fatores que afetam a distribuição de água por aspersores, conduziram um estudo em laboratório, com coletores em uma amostragem radial. E afirmaram que os perfis de distribuição são necessários na pesquisa, no desenvolvimento de novos protótipos, no controle de qualidade de fabricantes e na avaliação feita por organizações de usuários, requerendo rotina de ensaios com um grande número de combinações aspersor-bocal-pressão.

SEGINER et alii (1992) confirmam a tendência de utilização de ensaios com amostragem radial para a determinação da distribuição de água dos aspersores. Os autores desenvolveram e testaram um equipamento computadorizado, para determinação automática das lâminas precipitadas em um perfil, a partir de ensaios com coletores dispostos numa amostragem radial.

LEONCE (1978) cita que em Le Tholonet na França no CEMAGREF, os ensaios com amostragem radial dos coletores



realizados com aspersores adotam um outro princípio, em que a zona de medida é limitada por um setor que descreve um ângulo de  $1^{\circ}$  e  $50'$  no centro. Os coletores são construídos de tal maneira que suas áreas de coletas crescem segundo o ângulo de abertura citado. Segundo esse autor, os coletores devem apresentar-se espaçados de no máximo 1,00m e com seção retangular ( largura uniforme de 0,20m e comprimento proporcional à distância do aspersor, ou seja, por exemplo, a uma distância de 1m do aspersor o coletor apresenta um comprimento aproximado de 0,033m, a uma distância de 30m do aspersor o coletor apresenta um comprimento aproximado de 1m e a uma distância de 80m do aspersor o coletor apresenta um comprimento aproximado de 2,66m, etc.).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Local

Os trabalhos de campo do presente estudo foram conduzidos numa área plana, com solo descoberto, localizada nas dependências do Laboratório de Hidráulica da Escola Superior de Agricultura de Lavras, situada na região sul de Minas Gerais, geograficamente definida pelas coordenadas de 21° e 14' de latitude Sul, 45° 00' de longitude Oeste e altitude de 910 m. As médias anuais de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa são 19,3 °C, 1411 mm e 77,7% respectivamente (FAO, 1985).

#### 3.2. Aspersor Ensaiado

Para realização dos ensaios foi utilizado o aspersor da ASBRASIL modelo ZAD-30 com ângulo de inclinação de jato de 30° e com dois bocais de diâmetros nominais iguais à 3,8 mm. O aspersor

utilizado foi pré-selecionado em função da sua performance quanto a uniformidade de rotação.

### 3.3. Caracterização dos métodos de amostragem

#### 3.3.1. Método de amostragem em Malha

Neste trabalho considera-se como método de amostragem em malha o método de amostragem tradicional apresentado pela Norma NBR 8989 (1985) da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. A malha espacial de coletores foi composta por uma matriz de 14x14 coletores totalizando-se 196 coletores, espaçados de 2m. Como coletor utilizou-se de latas de óleo (Fig.4a) com diâmetro de 8,33 cm e altura de 18,5 cm, situados a uma altura de 40cm da superfície do solo.

#### 3.3.2. Método de amostragem Radial e derivações R1, R2, R3 e R4.

Para a metodologia de amostragem radial considera-se



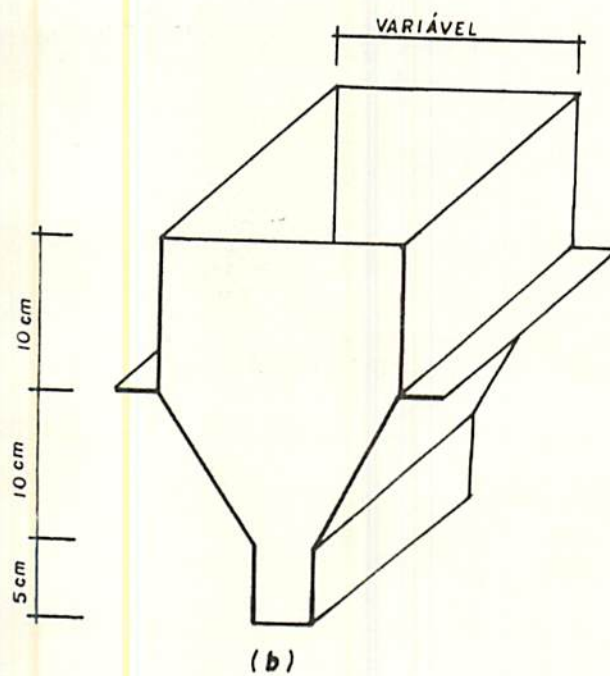
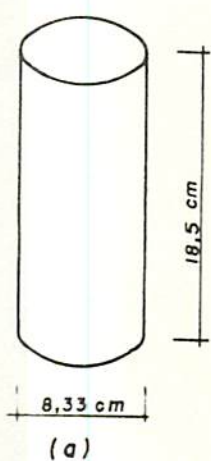


FIG. 4. Representação esquemática dos coletores ensaiados.

como radial a média obtida dos coletores locados nos quatro semi-eixos ortogonais, centrados no aspersor e, conseqüentemente, cada eixo ortogonal é uma das derivações  $R_i$ . Os coletores também apresentavam-se espaçados de 2m nesta metodologia sendo que o primeiro coletor se encontrava a 1m do aspersor. Os coletores foram os mesmos apresentados para o método de amostragem em Malha. Estes coletores também estavam com área de coleta à uma altura de 40 cm.

### 3.3.3. Método de amostragem Radial CEMAGREF.

Para a metodologia proposta pelo CEMAGREF, a amostra era composta de 23 coletores espaçados de 0.61m. A metodologia é caracterizada pelos coletores serem construídos segundo uma zona de observação limitada por um setor circular que forma ao centro um ângulo de  $1^\circ$  e 50'. Os coletores instalados (Fig. 4b) neste setor apresentavam seção retangular com largura uniforme de 20cm e comprimento crescente com o setor circular, o primeiro coletor apresentava comprimento igual à aproximadamente 2cm e sucessivamente os comprimentos iam crescendo até o último coletor que apresentava comprimento igual a 46cm. Estes coletores estavam à uma área de coleta de 40cm.

### 3.4. Procedimento de campo

#### 3.4.1. Considerações gerais

O fornecimento de água ao aspersor foi feito derivando-se água do reservatório, próximo a área do teste, por meio de conjunto moto bomba. A água foi conduzida em tubos de aço-zincado de engate rápido. A cada ensaio o aspersor funcionava por 60 minutos.

O aspersor foi instalado à 1 m de altura, funcionando com pressão constante de 200 kPa (20 mca). Para ajuste da pressão constante fez-se necessário o uso de um registro de gaveta instalado na saída da bomba, seguido de um manômetro em U e também da utilização de um manômetro Bourbon graduado em  $\text{kgf.cm}^{-2}$  (previamente calibrado com manômetro de peso) para determinação da pressão na base do aspersor. Durante a realização do ensaio também foi determinada a pressão de operação no bocal do aspersor utilizando-se de um manômetro de Bourbon graduado em  $\text{kgf. cm}^{-2}$  e acoplado a um tubo de pitot.

A vazão do aspersor, para cada ensaio, foi determinada pelo processo direto, utilizando-se de um cronômetro com precisão de centésimos de segundos e fazendo uso de um recipiente de



volume conhecido de 20 litros.

A velocidade de rotação completa foi determinada medindo-se o tempo total necessário para o aspersor efetuar um giro completo. Esta determinação foi feita em 3 repetições ao longo do tempo do ensaio de distribuição. A velocidade de rotação por quadrante foi determinada medindo-se o tempo no qual o aspersor molhou cada um dos quadrantes. Em cada quadrante foram feitas 3 repetições, ao longo do tempo de ensaio de distribuição, como no ensaio da vazão, também se utilizou de um cronômetro com graduação de centésimo de segundos. Os tempos transcorridos para a revolução completa sofreram transformação de unidades para caracterização na unidade usual.

Os tempos em cada quadrante foram analisados para se verificar a uniformidade de rotação dos aspersores.

Para verificar as perdas por evaporação, durante cada ensaio, foram utilizados três coletores que foram mantidos próximos a área do ensaio. Com os dados de peso correspondente à massa de água precipitada nos coletores e do peso específico da água ( $1\text{g}/\text{cm}^3$ ), estimou-se a altura de água evaporada em cada coletor, levando-se em consideração a área de captação.

Os ensaios foram realizados durante o amanhecer e entardecer para que não houvesse a influência do vento. Para um melhor controle utilizou-se de um anemômetro de canecas,

instalado a 2m de altura em relação ao solo, sendo considerados apenas os ensaios onde realmente a velocidade do vento foi desprezível.

#### 3.4.2. Disposição dos coletores nos ensaios de amostragem

Na Figura 5, encontram-se esquematizados as disposições dos coletores na área para os 37 ensaios realizados entre as metodologias propostas. Observa-se as disposições de coletores: em malha, Radial e derivações e Radial CEMAGREF.

Os coletores foram dispostos na área de ensaio de tal maneira que durante o mesmo ensaio fosse possível a coleta dos dados das disposições em malha, Radial e derivações e Radial CEMAGREF simultaneamente, para que as possíveis influências atmosféricas fossem as mesmas nos três métodos de amostragem.

#### 3.4. Comparação entre os métodos de amostragem

O objetivo de um método de amostragem é providenciar estratégias para obtenção de informações sobre uma dada população em estudo. A amostra subsidia as inferências feitas sobre uma população, e essa amostra é obtida segundo um método de coleta ( o método de amostragem ) bem definido.

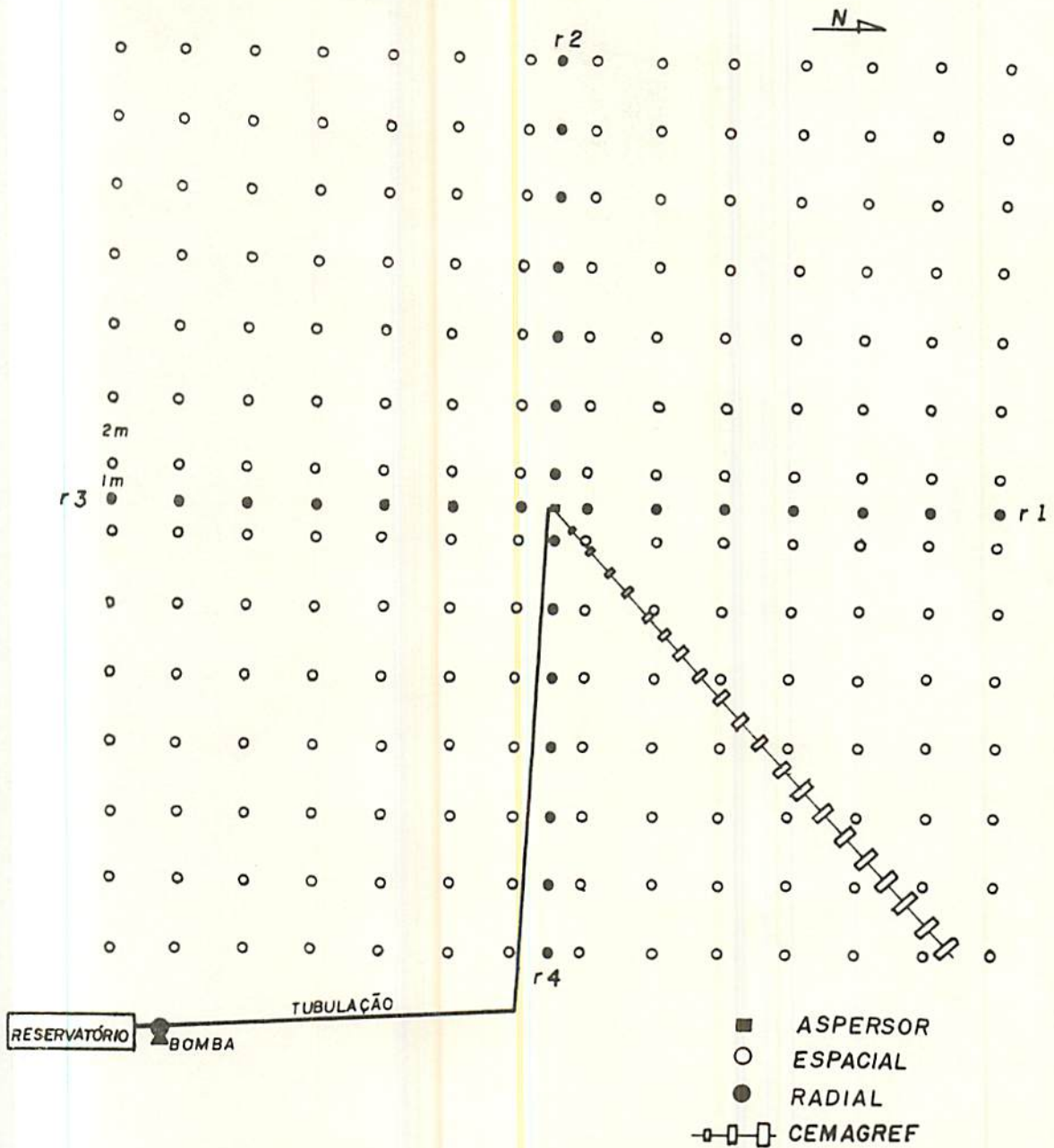


FIG. 5: Disposições dos coletores para os três métodos de amostragem nos ensaios de distribuição de água do aspersor.



A comparação de métodos de amostragem é feita essencialmente comparando a qualidade das inferências baseadas nas amostras produzidas pelos métodos. Se dois métodos produzem inferências equivalentes, então estes métodos podem ser considerados equivalentes.

Quanto à estimação da função média e da função desvio-padrão, neste trabalho considera-se equivalente dois métodos de amostragens se eles atribuem as mesmas qualidades para os estimadores pontuais ( não - tendenciosidade e variância mínima, máxima verossimilhança, etc.) e se eles produzem intervalos de confiança sobrepostos.

Nos métodos de amostragem estudados, os estimadores pontuais  $\hat{\mu}(\cdot)$  e  $\hat{\sigma}(\cdot)$  para as funções média e desvio-padrão respectivamente possuem as mesmas qualidades. Os intervalos de confiança para as funções  $\mu(\cdot)$  e  $\sigma(\cdot)$  são obtidas pelas fórmulas apresentadas por GRAYBILL (1976):

$$\hat{\mu}(d) \pm \sqrt{p \cdot F_{\alpha; p, n-p} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\mu}(d)]} \dots \dots \dots \text{Eq. 20}$$

e

$$\hat{\sigma}(d) \pm \sqrt{p' \cdot F_{\alpha; p', n-p'} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]} \dots \dots \dots \text{Eq. 21}$$

para todos os valores de d.

(p-1) e (p'-1) são respectivamente os graus dos polinômios ajustados para as funções média e desvio-padrão pelo método dos quadrados mínimos.

F<sub>α,p,n-p</sub> e F<sub>α,p',n-p'</sub> são os valores da estatística de F com níveis de significância α e com (p,n-p) e (p',n-p') graus de liberdade.

Var[μ̂(d)] e Var[σ̂(d)] são as variâncias estimadas dos estimadores μ̂(d) e σ̂(d).

Para a função média μ(.), se um modelo linear polinomial do tipo

$$\mu(d) = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \dots + \beta_{p-1} d^{p-1} \dots \text{Eq. 22}$$

é ajustado, então Var[μ̂(d)] é dada por:

$$\text{Var}[\hat{\mu}(d)] = \hat{\sigma}_{\mu}^2 \underline{u}'(d) (U'U)^{-1} \underline{u}(d) \dots \text{Eq. 23}$$

onde:

$$\hat{\sigma}_{\mu}^2 = \frac{1}{l-p} \cdot \tilde{\underline{\mu}}' [I - U(U'U)^{-1}U'] \tilde{\underline{\mu}} \dots \text{Eq. 24}$$

sendo:

$$\tilde{\underline{\mu}} = [ \tilde{\mu}(d_1), \dots, \tilde{\mu}(d_l) ] \dots \text{Eq. 25}$$

sendo que,  $d_1, \dots, d_l$  são os diferentes  $l$  valores para as distâncias  $d$  encontradas na amostra de  $n$  pontos.

Também tem-se que:

$$U = \begin{bmatrix} 1 & d_1 & d_1^2 & \dots & d_1^{p-1} \\ 1 & d_l & d_l^2 & \dots & d_l^{p-1} \end{bmatrix} \dots \dots \dots \text{Eq. 26}$$

e

$$\underline{u}'(d) = [ 1 \ d \ d^2 \ \dots \ d^{p-1} ] \dots \dots \dots \text{Eq. 27}$$

Para a função desvio-padrão  $\sigma(\cdot)$ , se um modelo linear polinomial do tipo

$$\sigma(d) = \gamma_0 + \gamma_1 d + \gamma_2 d^2 + \dots + \gamma_{p-1} d^{p-1} \dots \dots \text{Eq. 28}$$

é ajustado, então  $\widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]$  é dada por:

$$\widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)] = \hat{\sigma}_{\sigma}^2 \cdot \underline{u}'(d) (V'V)^{-1} \underline{u}(d) \dots \dots \dots \text{Eq. 29}$$

onde:

$$\hat{\sigma}_{\sigma}^2 = \frac{1}{l-p} \tilde{\sigma}' [ I - V(V'V)^{-1}V' ] \tilde{\sigma} \dots \dots \dots \text{Eq. 30}$$

sendo:

$$\tilde{\sigma} = [ \tilde{\sigma}(d_1), \dots, \tilde{\sigma}(d_l) ] \dots \dots \dots \text{Eq. 31}$$



$d_1, \dots, d_l$  como no caso da função média.

Tem-se também que

$$V = \begin{bmatrix} 1 & d_1 & d_1^2 & \dots & d_1^{p'-1} \\ 1 & d_l & d_l^2 & \dots & d_l^{p'-1} \end{bmatrix} \dots \dots \dots \text{Eq. 92}$$

e

$$\underline{v}'(d) = [ 1 \quad d \quad d^2 \quad \dots \quad d^{p'-1} ] \dots \dots \dots \text{Eq. 99}$$

Calculados pois os valores de  $\widehat{\text{Var}}[\hat{\mu}(d)]$  e  $\widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]$ ,  
 pode-se construir os intervalos de confiança em torno das curvas  
 de  $\hat{\mu}(d)$  e  $\hat{\sigma}(d)$ , respectivamente, para um dado método de  
 amostragem.

Como o método de amostragem em malha é considerado o  
 mais representativo da distribuição espacial de água pelo  
 aspersor, relacionado inclusive nas Normas da ABNT, ele será  
 tomado como um referencial de comparação, e os outros métodos  
 aqui estudados (Radial CEMAGREF, Radial e suas derivações R1, R2,  
 etc) terão seus intervalos de confiança comparados cada um por  
 si com o método de amostragem em Malha.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Características operacionais do aspersor

Os tempos médios de rotação por quadrante e os tempos médios transcorridos para uma revolução completa estão apresentados no Quadro 1 (médias de 3 repetições). Concluiu-se que o tipo de aspersor utilizado apresentou-se com rotação relativamente uniforme na pressão ensaiada. Observa-se ainda no Quadro 1, que a velocidade de rotação média mais alta foi de 1,28 rpm e a mais baixa foi de 1,20 rpm. Estes resultados estão de acordo com recomendações de BERNARDO (1989) e CHRISTIANSEN (1942) que consideraram que a rotação dos aspersores deve variar de 0,5 a 2,0 e 1,0 a 4,0 rpm, respectivamente.

Os resultados dos ensaios de vazão do aspersor (também média de três repetições), podem ser vistos no Quadro 1. As vazões médias oscilaram entre  $1,455\text{m}^3/\text{h}$  e  $1,470\text{m}^3/\text{h}$ , com média geral dos 37 ensaios de  $1,465\text{m}^3/\text{h}$ . Ainda no Quadro 1, observa-se que a velocidade média do vento na maioria dos ensaios foi

QUADRO 1: Valores médios do tempo de rotação, vazão e velocidade do vento para 37 ensaios de distribuição com tempo de duração de ensaio de 1 h e pressão constante de 200 kPa.

| ENSAIO<br>NÚMERO | TEMPO DE ROTAÇÃO<br>DO ASPERSOR (s) |    |    |    |             | 360  | VELOCIDADE        | VAZÃO | VENTO |
|------------------|-------------------------------------|----|----|----|-------------|------|-------------------|-------|-------|
|                  | 1Q                                  | 2Q | 3Q | 4Q | MÉDIA (rpm) |      | M <sup>3</sup> /h | Km/h  |       |
| 1                | 12                                  | 13 | 12 | 12 | 49          | 1,22 | 1,455             | 0,41  |       |
| 2                | 12                                  | 13 | 12 | 12 | 49          | 1,22 | 1,459             | 0,32  |       |
| 3                | 13                                  | 12 | 11 | 12 | 48          | 1,25 | 1,458             | 0,00  |       |
| 4                | 12                                  | 12 | 11 | 12 | 47          | 1,28 | 1,469             | 0,00  |       |
| 5                | 12                                  | 13 | 12 | 12 | 49          | 1,22 | 1,460             | 0,00  |       |
| 6                | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,462             | 0,00  |       |
| 7                | 11                                  | 12 | 12 | 12 | 47          | 1,28 | 1,460             | 0,00  |       |
| 8                | 12                                  | 13 | 13 | 12 | 50          | 1,20 | 1,463             | 0,00  |       |
| 9                | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,470             | 0,00  |       |
| 10               | 12                                  | 13 | 12 | 13 | 50          | 1,20 | 1,469             | 0,00  |       |
| 11               | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,461             | 0,00  |       |
| 12               | 12                                  | 12 | 11 | 12 | 47          | 1,28 | 1,460             | 0,00  |       |
| 13               | 12                                  | 12 | 12 | 13 | 49          | 1,22 | 1,467             | 0,00  |       |
| 14               | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,465             | 0,60  |       |
| 15               | 11                                  | 12 | 13 | 12 | 48          | 1,25 | 1,466             | 0,00  |       |
| 16               | 12                                  | 13 | 12 | 12 | 49          | 1,22 | 1,465             | 0,31  |       |
| 17               | 12                                  | 13 | 12 | 12 | 49          | 1,22 | 1,466             | 0,00  |       |
| 18               | 12                                  | 11 | 12 | 13 | 48          | 1,25 | 1,466             | 0,00  |       |
| 19               | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,460             | 0,00  |       |
| 20               | 12                                  | 12 | 12 | 13 | 49          | 1,22 | 1,468             | 0,00  |       |
| 21               | 12                                  | 13 | 12 | 12 | 49          | 1,22 | 1,469             | 0,00  |       |
| 22               | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,465             | 0,42  |       |
| 23               | 12                                  | 12 | 11 | 12 | 47          | 1,28 | 1,463             | 0,20  |       |
| 24               | 12                                  | 11 | 12 | 12 | 47          | 1,28 | 1,469             | 0,00  |       |
| 25               | 12                                  | 12 | 13 | 12 | 49          | 1,22 | 1,470             | 0,00  |       |
| 26               | 12                                  | 12 | 13 | 12 | 49          | 1,22 | 1,468             | 0,00  |       |
| 27               | 12                                  | 13 | 13 | 12 | 50          | 1,20 | 1,465             | 0,00  |       |
| 28               | 12                                  | 13 | 12 | 12 | 49          | 1,22 | 1,466             | 0,30  |       |
| 29               | 11                                  | 12 | 12 | 12 | 47          | 1,28 | 1,467             | 0,00  |       |
| 30               | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,467             | 0,00  |       |
| 31               | 11                                  | 12 | 12 | 12 | 47          | 1,28 | 1,460             | 0,00  |       |
| 32               | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,465             | 0,00  |       |
| 33               | 12                                  | 13 | 11 | 12 | 48          | 1,25 | 1,469             | 0,50  |       |
| 34               | 12                                  | 11 | 12 | 12 | 47          | 1,28 | 1,470             | 0,00  |       |
| 35               | 12                                  | 12 | 12 | 12 | 48          | 1,25 | 1,465             | 0,00  |       |
| 36               | 12                                  | 12 | 11 | 12 | 47          | 1,28 | 1,467             | 0,00  |       |
| 37               | 11                                  | 12 | 12 | 12 | 47          | 1,28 | 1,468             | 0,49  |       |

 $\bar{x} = 1,465$



praticamente nula, e, mesmo nos ensaios onde se verificou a ocorrência do vento, o maior valor ocorrido foi de 0,6 km/h, ou 0,17 m/s, o que pode ser considerado desprezível. A evaporação máxima encontrada para os 37 ensaios foi menor do que 0,400mm.

#### 4.2. Perfis de precipitação para os métodos de amostragem em Malha, Radial e suas derivações R1, R2, R3, R4 e Radial CEMAGREF.

Os valores de média aritmética das lâminas de água coletadas, de desvio-padrão e do coeficiente de variação (CV) para o método de amostragem em Malha, Radial e derivações R1, R2, R3, R4 e Radial CEMAGREF relativos a 37 ensaios estão apresentados nos Quadros 2 à 8. Para o método de amostragem em Malha o coletor mais próximo do aspersor se encontrava a 1,414 m e o coletor mais distante se encontrava a 12,728 m. Para o método de amostragem Radial e suas derivações o coletor mais próximo do aspersor se encontrava a 1m e o mais distante se encontrava a 13m. No método de amostragem Radial CEMAGREF o coletor mais próximo se encontrava a 0,61m e mais distante a 13,21m do aspersor. Para cada um dos métodos de amostragem apresentados e em função da distância do coletor ao aspersor foi determinado a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação (CV), valores estes provenientes de 37 ensaios. Os perfis médios da lâmina, do

QUADRO 2: Valores de média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem em Malha.

| DISTANCIA<br>DO<br>COLETOR(m) | AMOSTRAGEM EM MALHA |                |         |
|-------------------------------|---------------------|----------------|---------|
|                               | MÉDIA(mm)           | DESV. PAD.(mm) | C.V.(%) |
| 1,414                         | 5,85                | 0,90           | 15,38   |
| 3,162                         | 4,14                | 0,55           | 13,29   |
| 4,243                         | 3,89                | 0,57           | 14,65   |
| 5,099                         | 3,75                | 0,51           | 13,60   |
| 5,831                         | 3,41                | 0,48           | 14,08   |
| 7,071                         | 2,92                | 0,50           | 17,12   |
| 7,616                         | 2,89                | 0,48           | 16,61   |
| 8,602                         | 2,75                | 0,50           | 18,18   |
| 9,055                         | 2,73                | 0,50           | 18,32   |
| 9,487                         | 2,70                | 0,52           | 19,26   |
| 9,899                         | 2,48                | 0,52           | 20,97   |
| 10,296                        | 2,35                | 0,62           | 26,38   |
| 11,045                        | 1,85                | 0,81           | 43,78   |
| 11,402                        | 1,46                | 0,87           | 59,59   |
| 12,083                        | 0,80                | 0,83           | 103,75  |
| 12,728                        | 0,38                | 0,62           | 163,16  |
| 13,038                        | 0,00                | 0,00           | 0,00    |

QUADRO 3: Valores de média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial.

| DISTANCIA<br>DO<br>COLETOR(m) | AMOSTRAGEM RADIAL |               |          |
|-------------------------------|-------------------|---------------|----------|
|                               | MÉDIA(mm)         | DESV.PAD.(mm) | C.V. (%) |
| 1,00                          | 6,62              | 0,99          | 14,95    |
| 3,00                          | 4,06              | 0,59          | 14,53    |
| 5,00                          | 3,64              | 0,53          | 14,56    |
| 7,00                          | 2,92              | 0,50          | 17,12    |
| 9,00                          | 2,69              | 0,48          | 17,84    |
| 11,00                         | 1,84              | 0,78          | 42,39    |
| 13,00                         | 0,00              | 0,00          | 0,00     |



QUADRO 4: Valores de média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial R1.

| DISTANCIA<br>DO<br>COLETOR(m) | AMOSTRAGEM RADIAL R1 |               |          |
|-------------------------------|----------------------|---------------|----------|
|                               | MÉDIA(mm)            | DESV.PAD.(mm) | C.V. (%) |
| 1,00                          | 7,06                 | 1,32          | 18,72    |
| 3,00                          | 4,30                 | 0,56          | 12,97    |
| 5,00                          | 3,71                 | 0,48          | 13,00    |
| 7,00                          | 2,87                 | 0,44          | 15,22    |
| 9,00                          | 2,62                 | 0,48          | 18,40    |
| 11,00                         | 1,82                 | 0,73          | 40,40    |
| 13,00                         | 0,00                 | 0,00          | 0,00     |

QUADRO 5: Valores de média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial R2.

| DISTÂNCIA<br>DO<br>COLETOR(m) | AMOSTRAGEM RADIAL R2 |               |          |
|-------------------------------|----------------------|---------------|----------|
|                               | MÉDIA(mm)            | DÉSV.PAD.(mm) | C.V. (%) |
| 1,00                          | 6,40                 | 0,89          | 13,86    |
| 3,00                          | 3,83                 | 0,51          | 13,37    |
| 5,00                          | 3,34                 | 0,46          | 13,69    |
| 7,00                          | 2,65                 | 0,40          | 15,25    |
| 9,00                          | 2,56                 | 0,50          | 19,55    |
| 11,00                         | 2,06                 | 0,83          | 40,47    |
| 13,00                         | 0,00                 | 0,00          | 0,00     |

QUADRO 6: Valores de média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial R3.

| DISTANCIA<br>DO<br>COLETOR(m) | AMOSTRAGEM RADIAL R3 |               |          |
|-------------------------------|----------------------|---------------|----------|
|                               | MÉDIA(mm)            | DESV.PAD.(mm) | C.V. (%) |
| 1,00                          | 6,25                 | 0,74          | 11,81    |
| 3,00                          | 3,86                 | 0,51          | 13,23    |
| 5,00                          | 3,70                 | 0,53          | 14,31    |
| 7,00                          | 3,08                 | 0,48          | 15,69    |
| 9,00                          | 2,87                 | 0,41          | 14,19    |
| 11,00                         | 2,02                 | 0,63          | 31,33    |
| 13,00                         | 0,00                 | 0,00          | 0,00     |



QUADRO 7: Valores de média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial R4.

| DISTÂNCIA<br>DO<br>COLETOR (m) | AMOSTRAGEM RADIAL R4 |                |          |
|--------------------------------|----------------------|----------------|----------|
|                                | MÉDIA (mm)           | DÉSV.PAD. (mm) | C.V. (%) |
| 1,00                           | 6,88                 | 0,71           | 10,31    |
| 3,00                           | 4,23                 | 0,64           | 15,02    |
| 5,00                           | 3,79                 | 0,56           | 14,88    |
| 7,00                           | 3,07                 | 0,55           | 17,80    |
| 9,00                           | 2,69                 | 0,49           | 18,07    |
| 11,00                          | 1,46                 | 0,77           | 52,37    |
| 13,00                          | 0,00                 | 0,00           | 0,00     |

QUADRO 8: Valores de média, do desvio-padrão e do coeficiente de variação das lâminas de água coletadas em 37 ensaios em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para o método de amostragem Radial CEMAGREF.

| DISTÂNCIA<br>DO<br>COLETOR (m) | AMOSTRAGEM RADIAL CEMAGREF |                 |          |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------|----------|
|                                | MÉDIA (mm)                 | DÉSV. PAD. (mm) | C.V. (%) |
| 0,61                           | 6,00                       | 1,89            | 31,56    |
| 1,21                           | 5,39                       | 0,69            | 12,79    |
| 1,81                           | 4,84                       | 0,54            | 11,21    |
| 2,41                           | 4,38                       | 0,48            | 11,00    |
| 3,01                           | 4,21                       | 0,43            | 10,13    |
| 3,61                           | 4,13                       | 0,44            | 10,67    |
| 4,21                           | 3,80                       | 0,40            | 10,58    |
| 4,81                           | 3,54                       | 0,45            | 12,64    |
| 5,41                           | 3,20                       | 0,35            | 11,05    |
| 6,01                           | 2,96                       | 0,35            | 11,69    |
| 6,61                           | 2,69                       | 0,33            | 12,42    |
| 7,21                           | 2,45                       | 0,35            | 14,39    |
| 7,81                           | 2,41                       | 0,37            | 15,26    |
| 8,41                           | 2,31                       | 0,39            | 16,89    |
| 9,01                           | 2,22                       | 0,37            | 16,57    |
| 9,61                           | 2,05                       | 0,33            | 16,25    |
| 10,21                          | 1,72                       | 0,39            | 22,45    |
| 10,81                          | 1,38                       | 0,55            | 39,65    |
| 11,41                          | 0,91                       | 0,60            | 66,40    |
| 12,01                          | 0,46                       | 0,45            | 97,34    |
| 12,61                          | 0,19                       | 0,30            | 156,61   |
| 13,21                          | 0,00                       | 0,00            | 0,00     |

desvio-padrão e do coeficiente de variação CV para cada um dos métodos de amostragem em função da distância do coletor ao aspersor estão apresentados nas figuras 6 a 20.

Em todos os métodos de amostragem observou-se para a lâmina média um perfil com aplicação de água elevada próxima ao aspersor, decrescendo até o final do raio ( Fig. 6 a 10). Esse tipo de perfil é citado por CHRISTIANSEN (1942), BILANSKI & KIDDER (1958) e KINKAID (1991) como sendo característico de bocais circulares trabalhando em baixas pressões. Ainda segundo KINCAID (1991), essa forma do perfil é desejável, pois conduz a melhores uniformidades. Resultados semelhantes foram encontrados por FISCHER & WALLENDER (1988).

Os resultados obtidos para os desvios-padrão estão de acordo com citações de FISCHER & WALLENDER (1988). Observou-se um maior desvio-padrão nas duas extremidades consequentemente uma maior variabilidade em coletores situados nessas posições extremas. Isto comprova a possível ação do defletor, da velocidade de rotação e da pressão de serviço em alterar o perfil de distribuição de água de um aspersor (Fig.11 a 15 ). O mesmo aspecto ocorre com o coeficiente de variação, que para todos os métodos de amostragem considerados neste estudo verificou-se a existência de um comportamento semelhante. Nos coletores próximos ao aspersor tende a ser alto, mantendo-se constante até aumentar



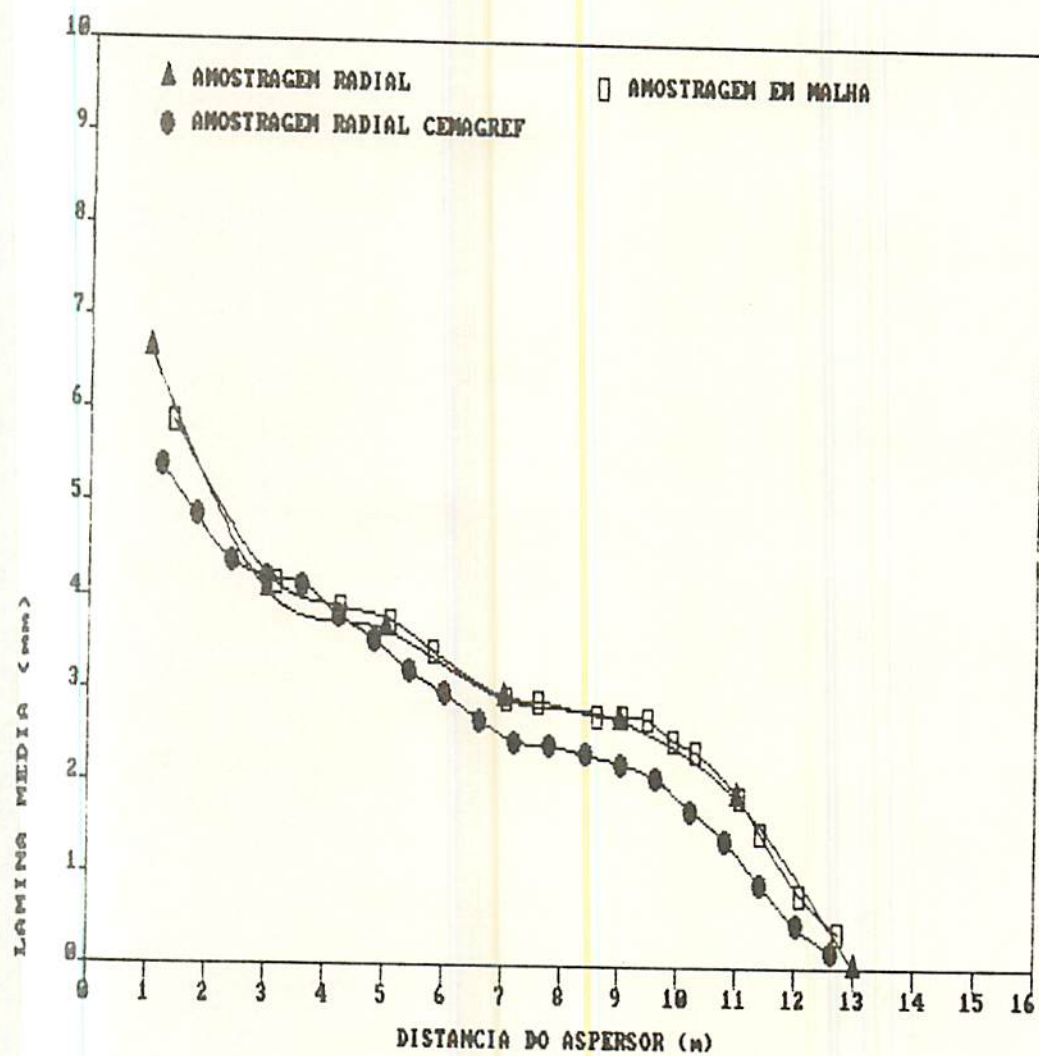


FIG. 6: Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

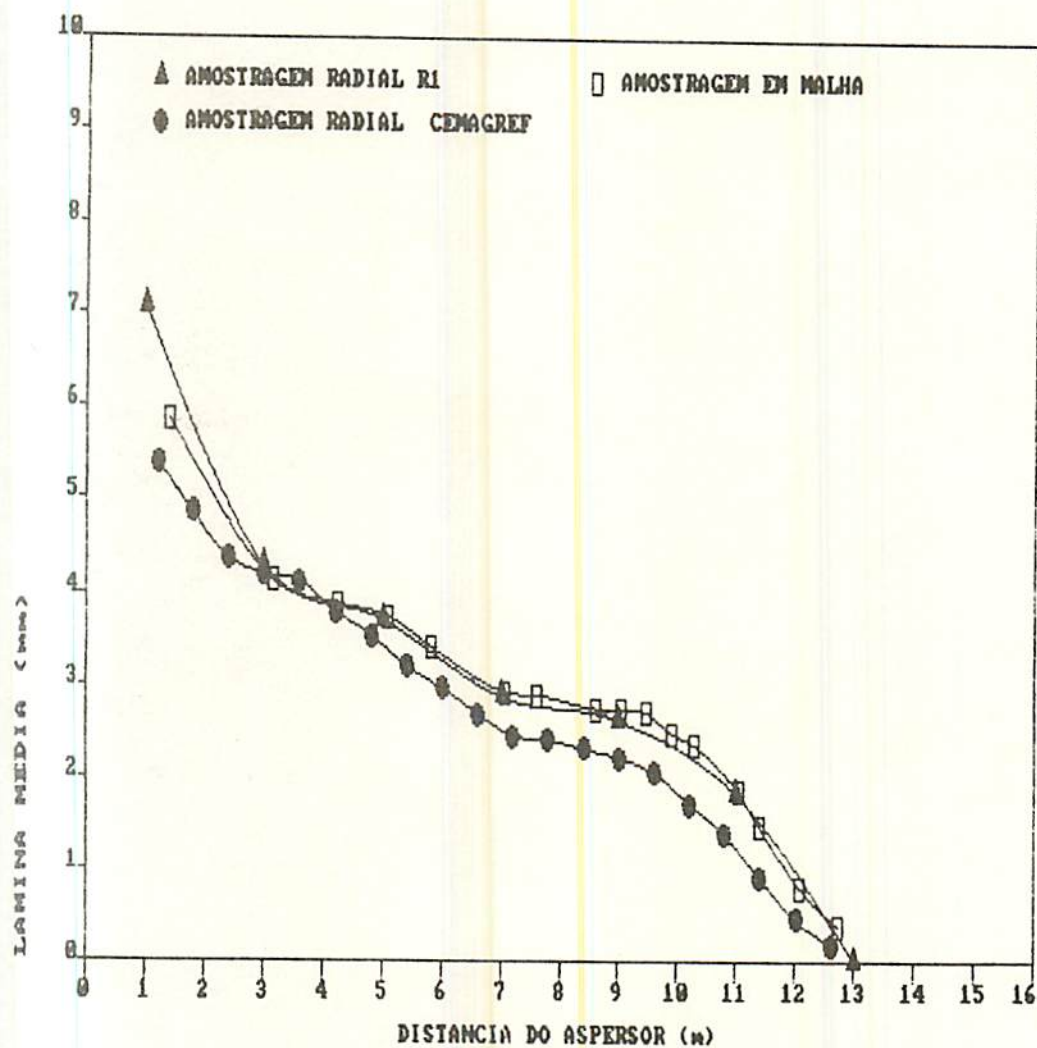


FIG. 7: Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R1 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

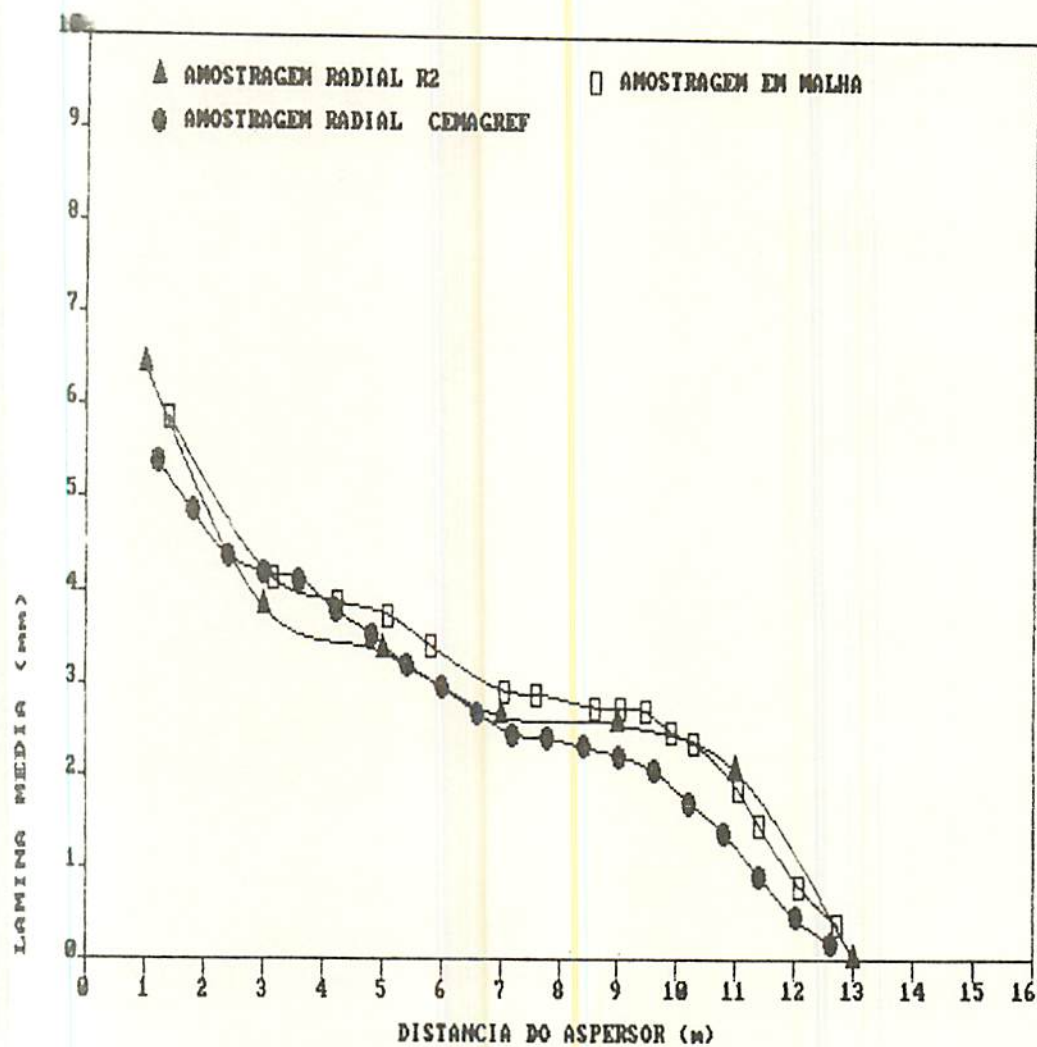


FIG. 8: Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R2 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.



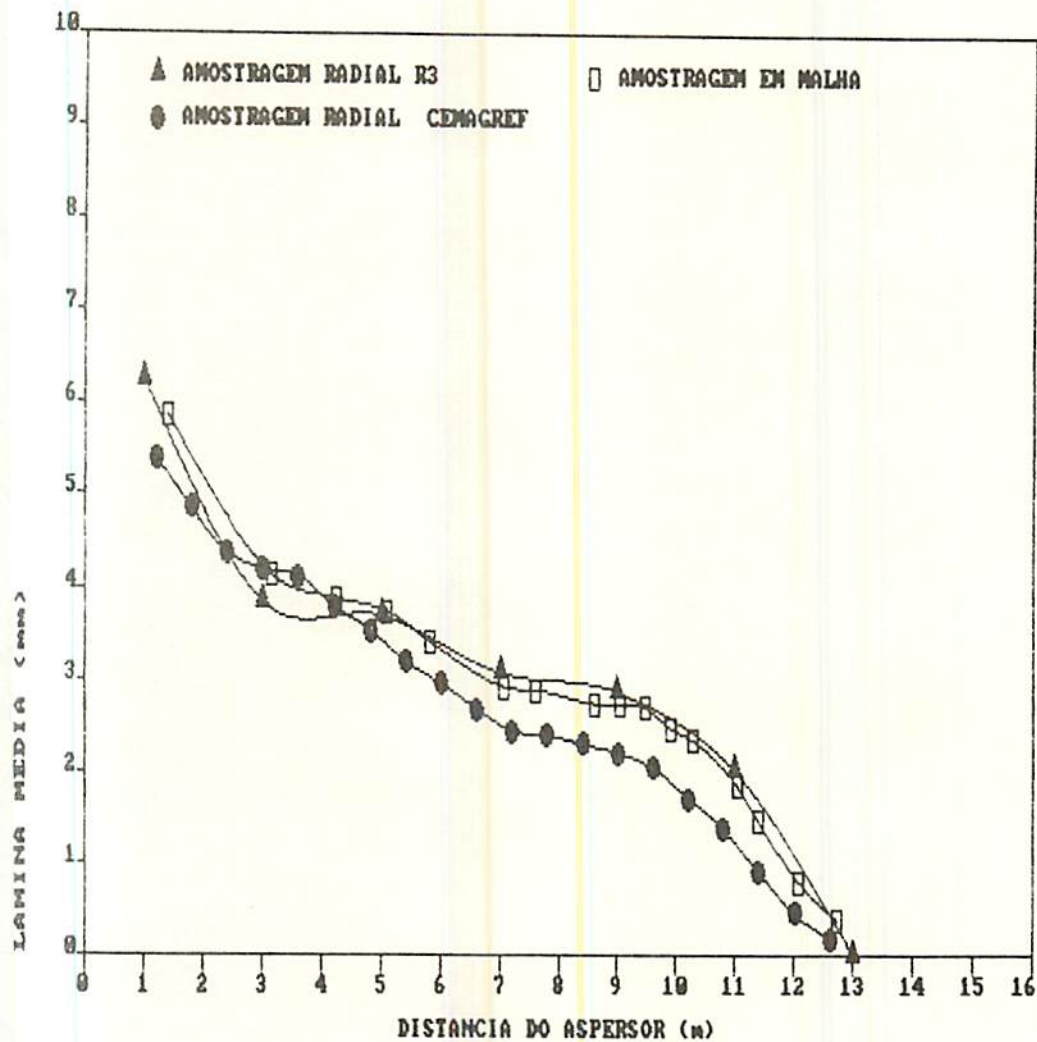


FIG. 9: Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R3 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

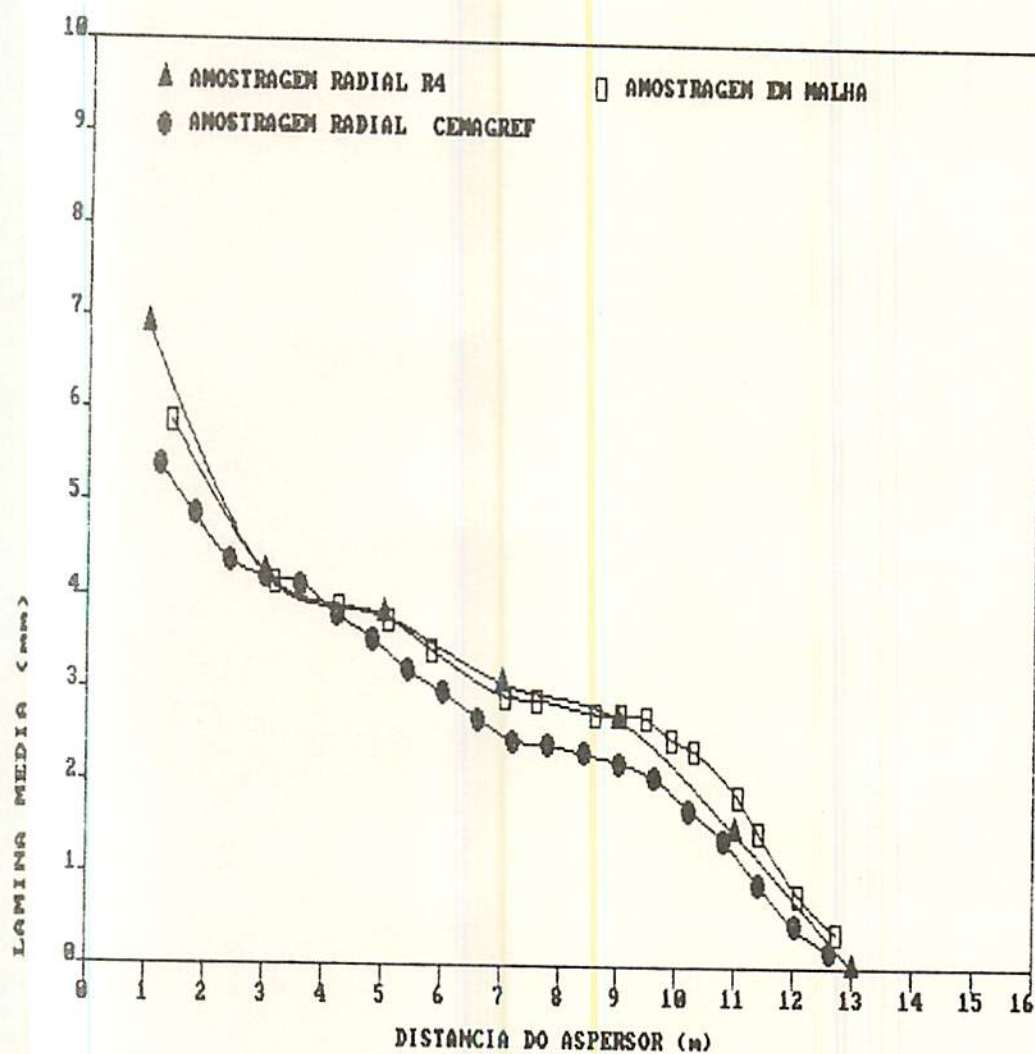


FIG.10: Função média das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R4 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

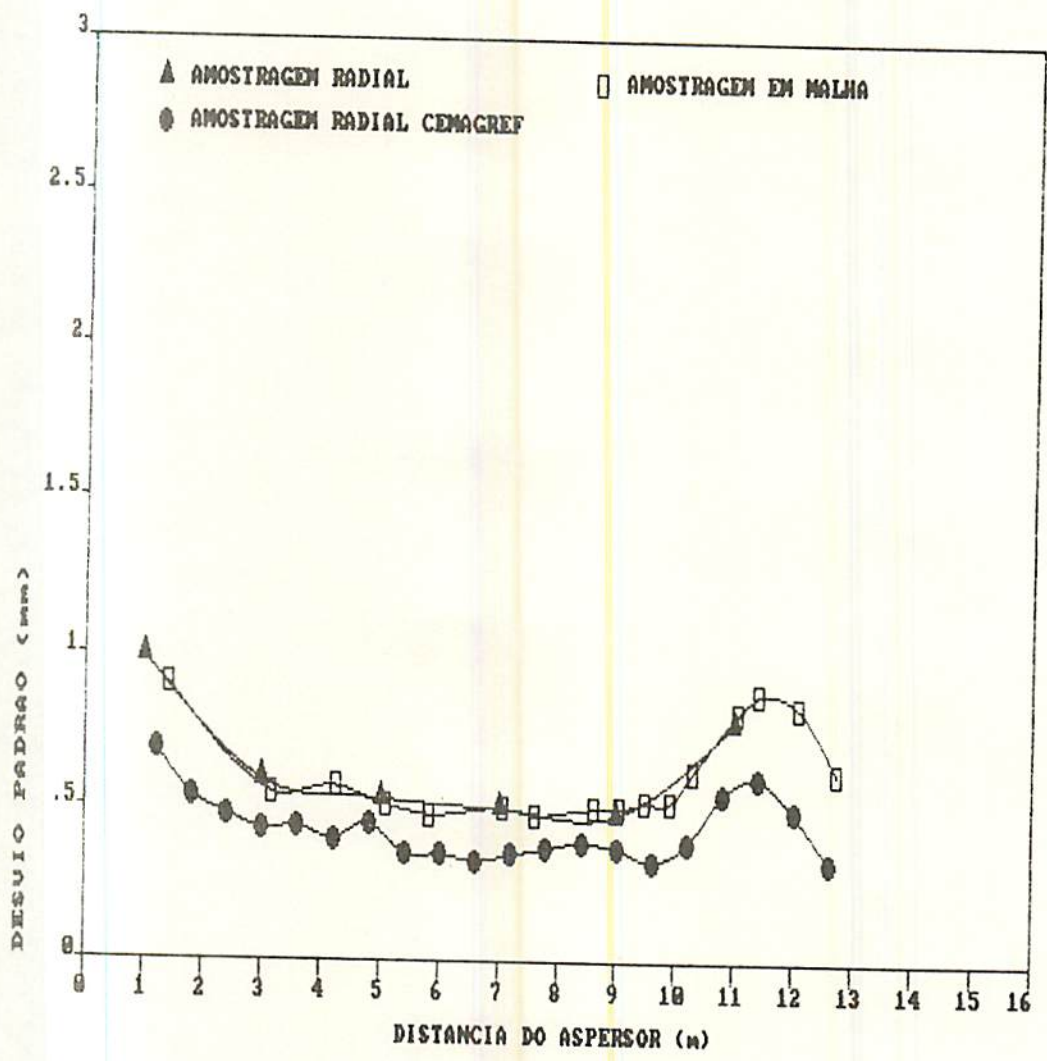


FIGURA 11: Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.



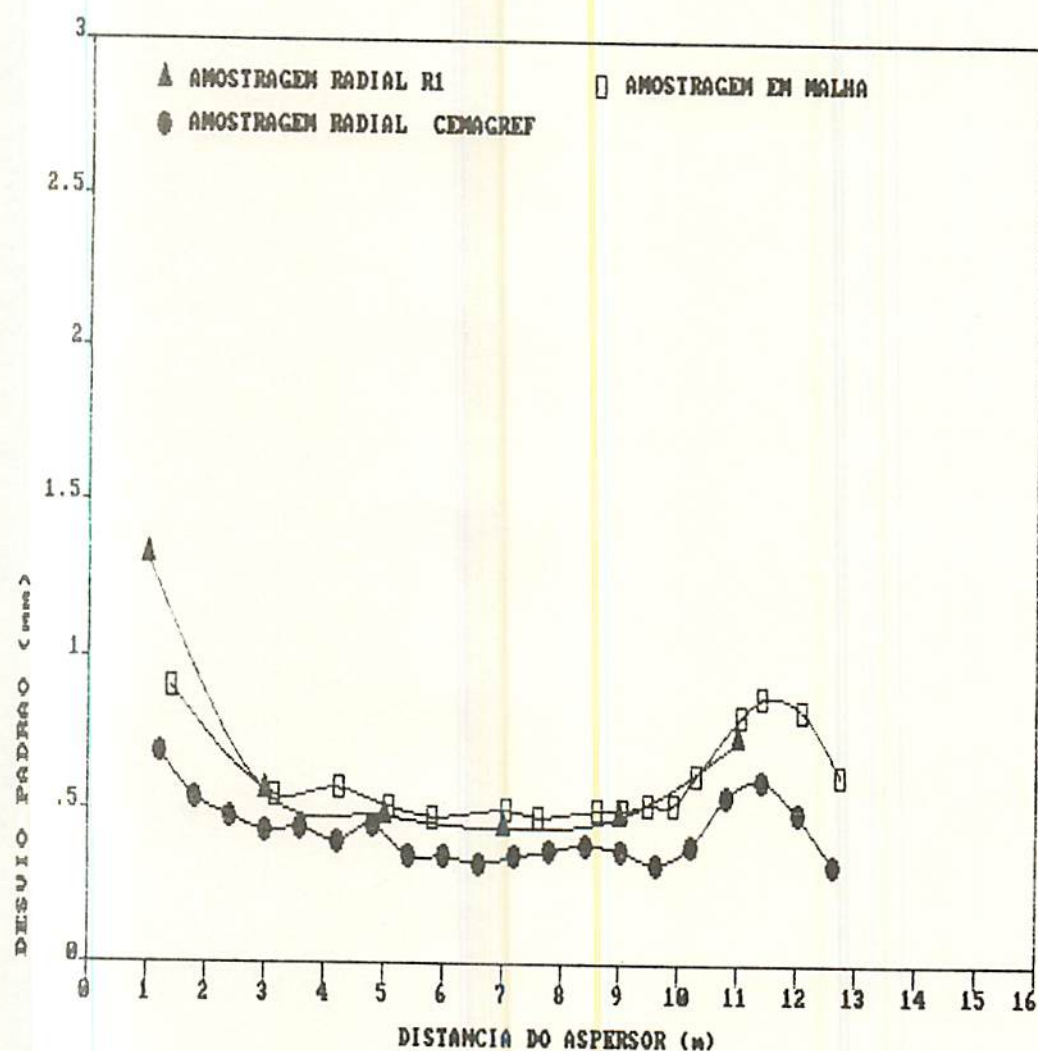


FIGURA 12: Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R1 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

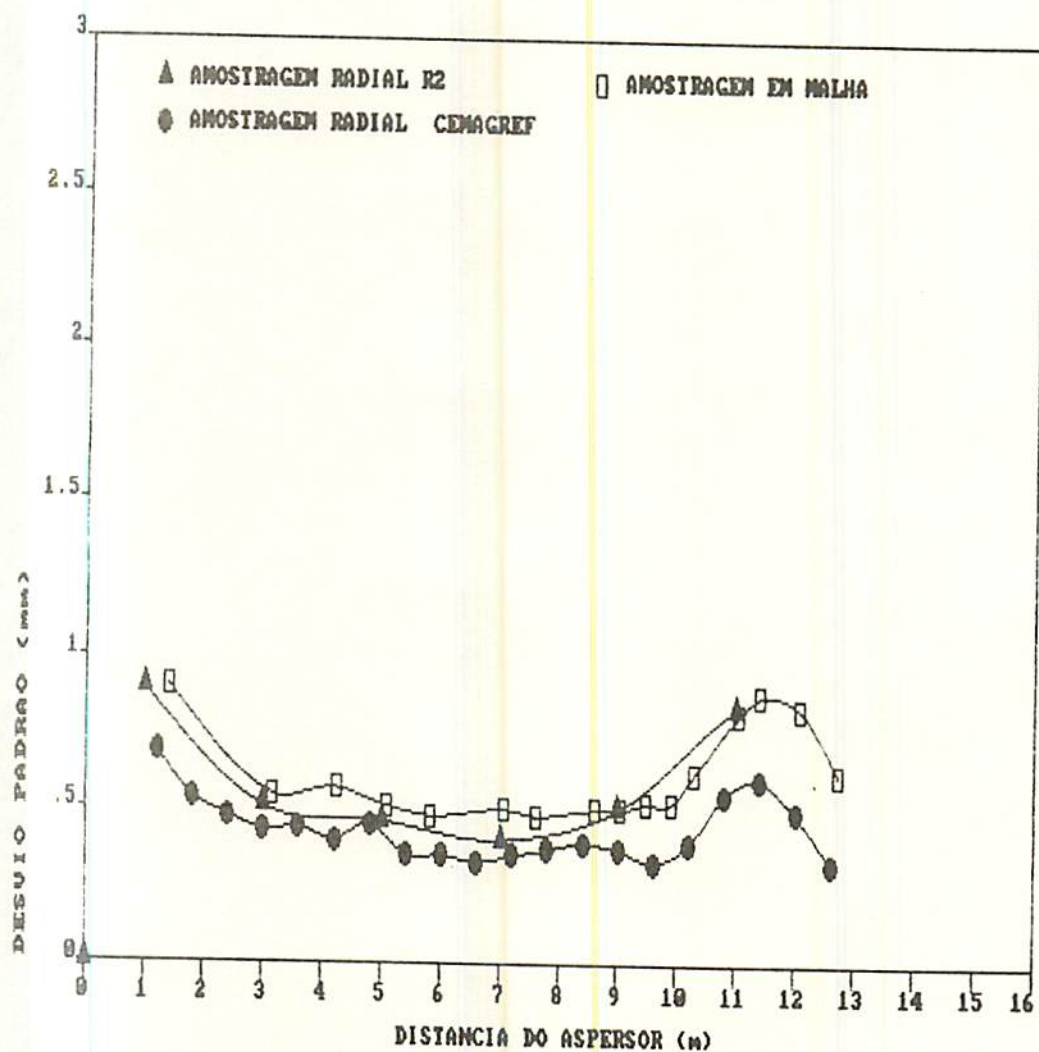


FIGURA 13: Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R2 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

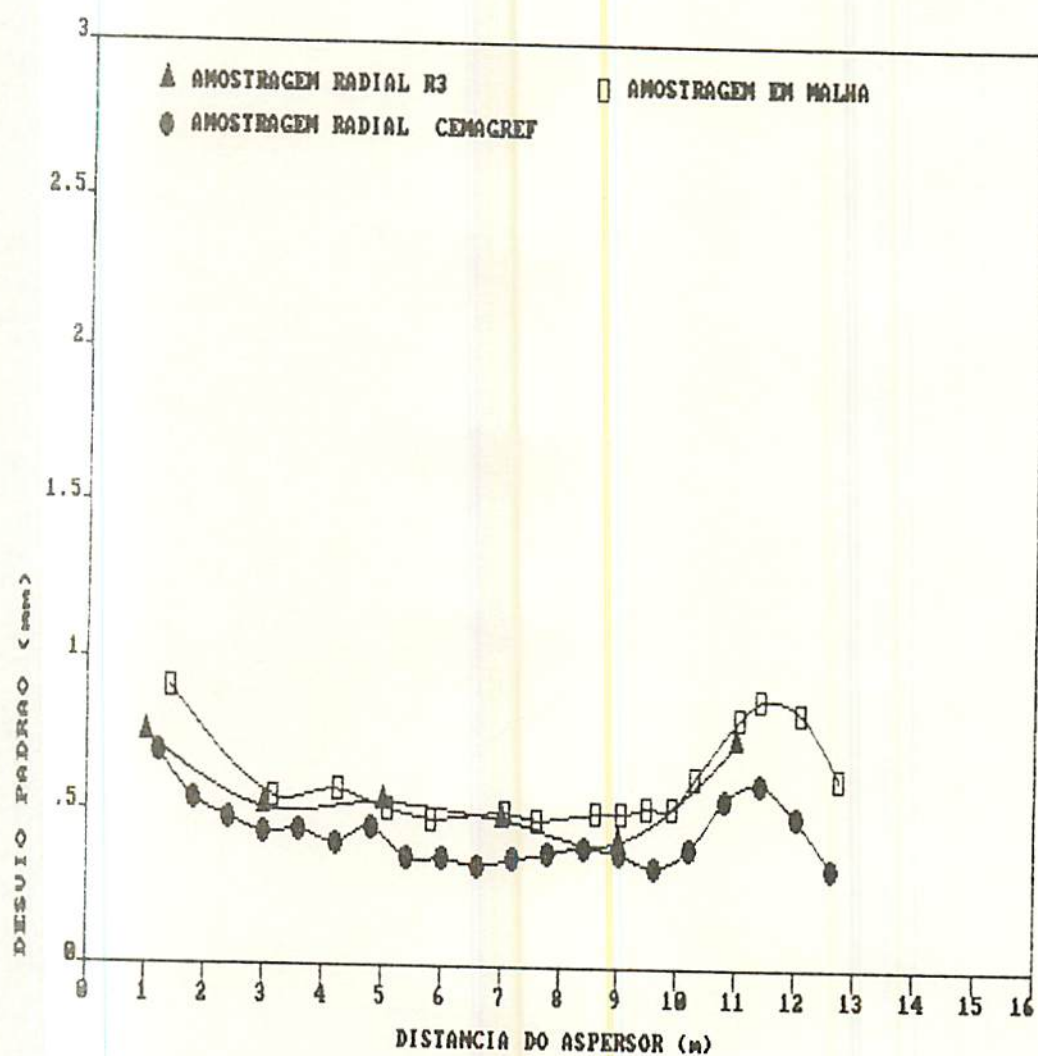


FIGURA 14: Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R3 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.



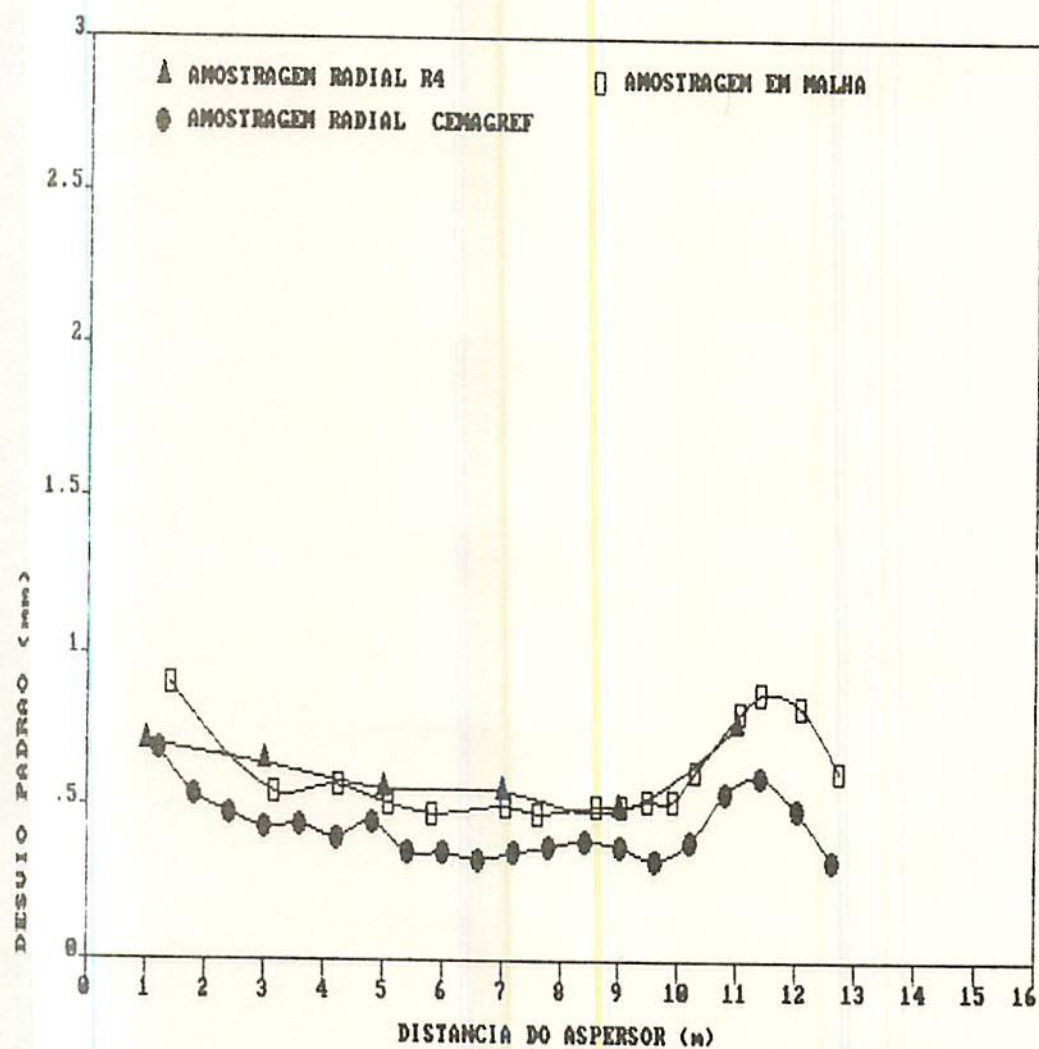


FIGURA 15: Função desvio-padrão das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R4 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

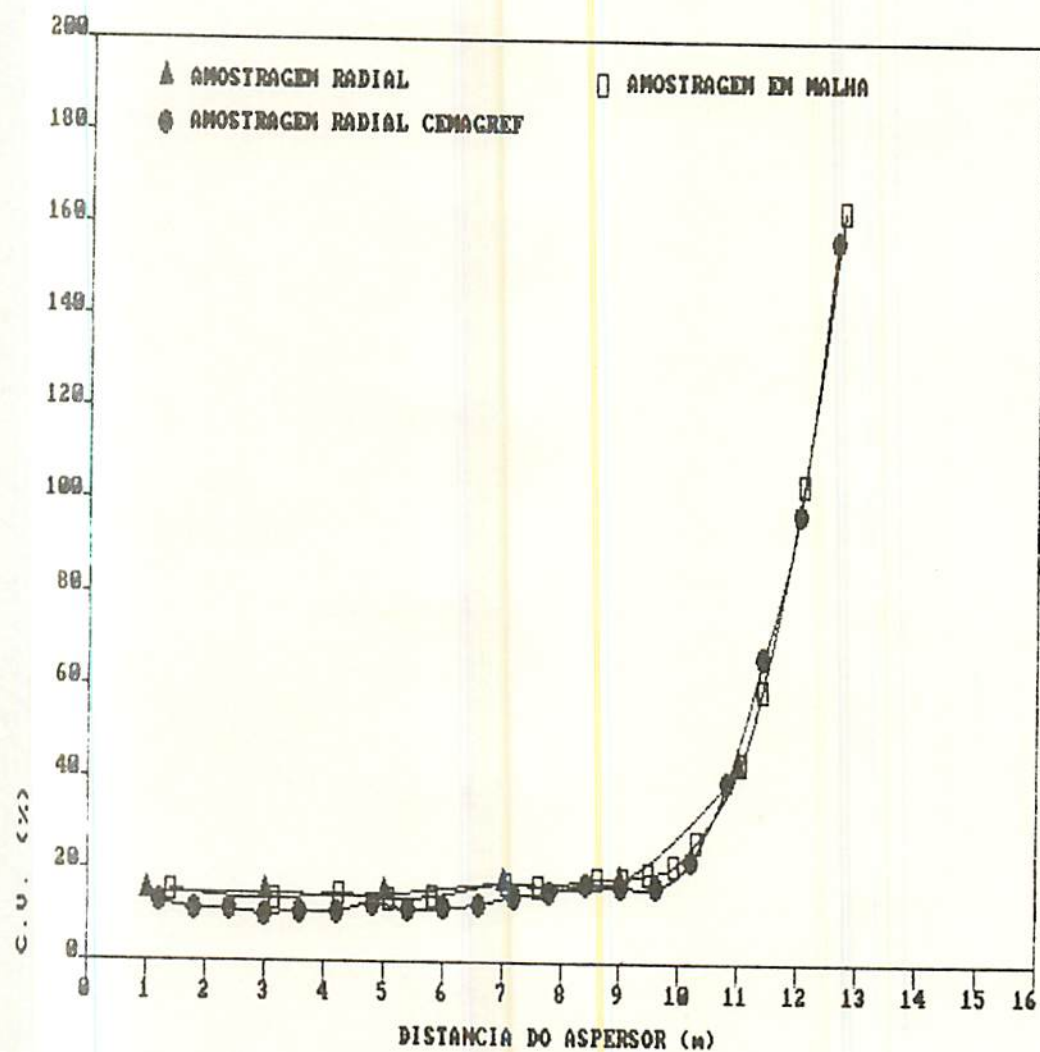


FIGURA 16: Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

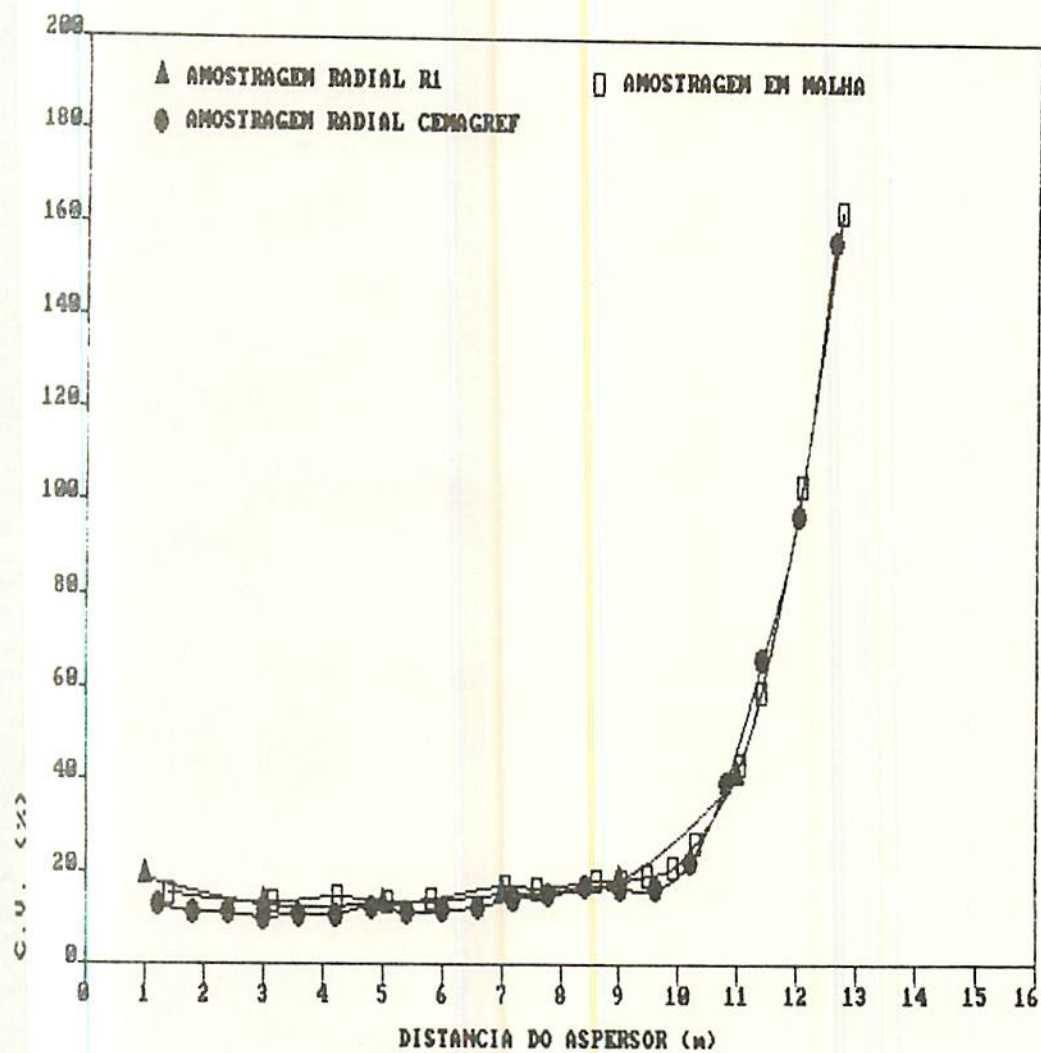


FIGURA 17: Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R1 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.



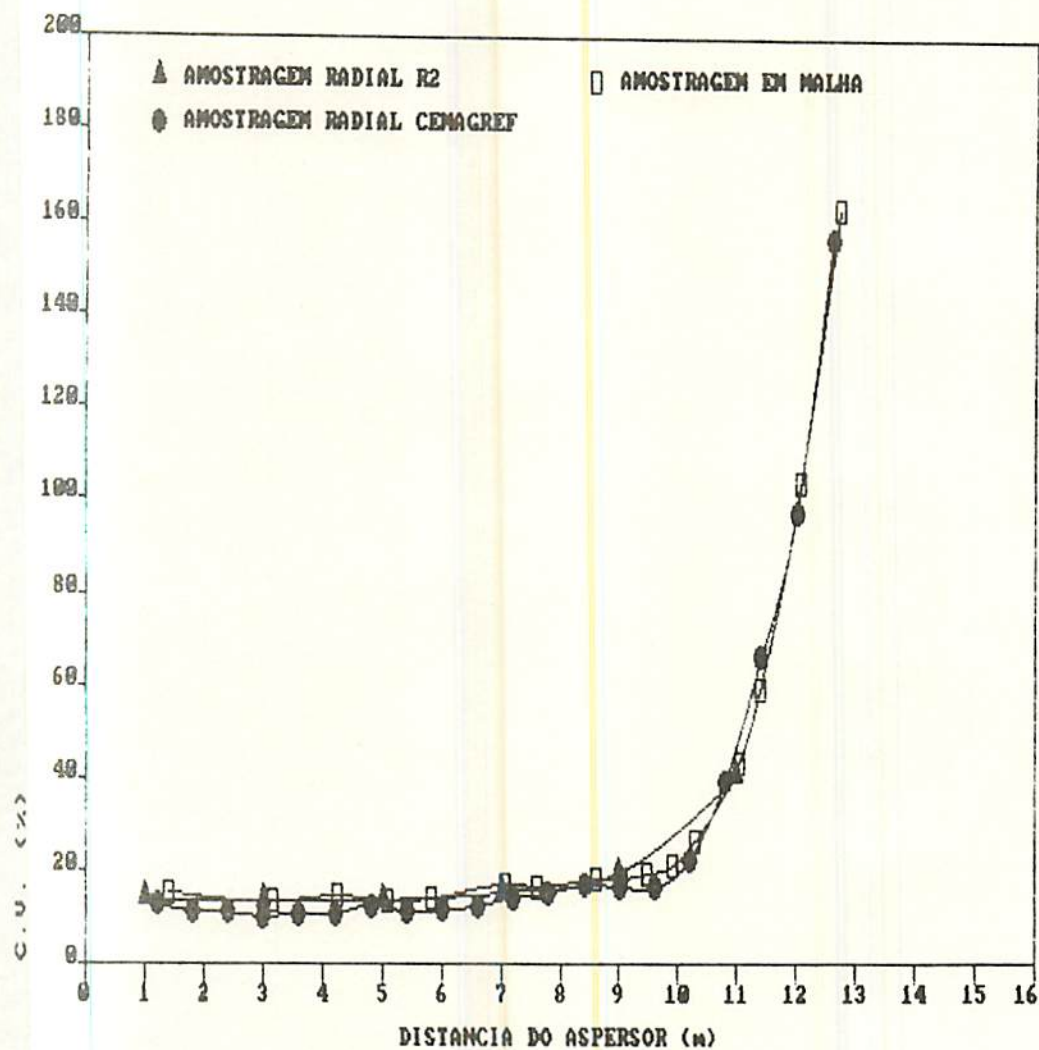


FIGURA 18: Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R2 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

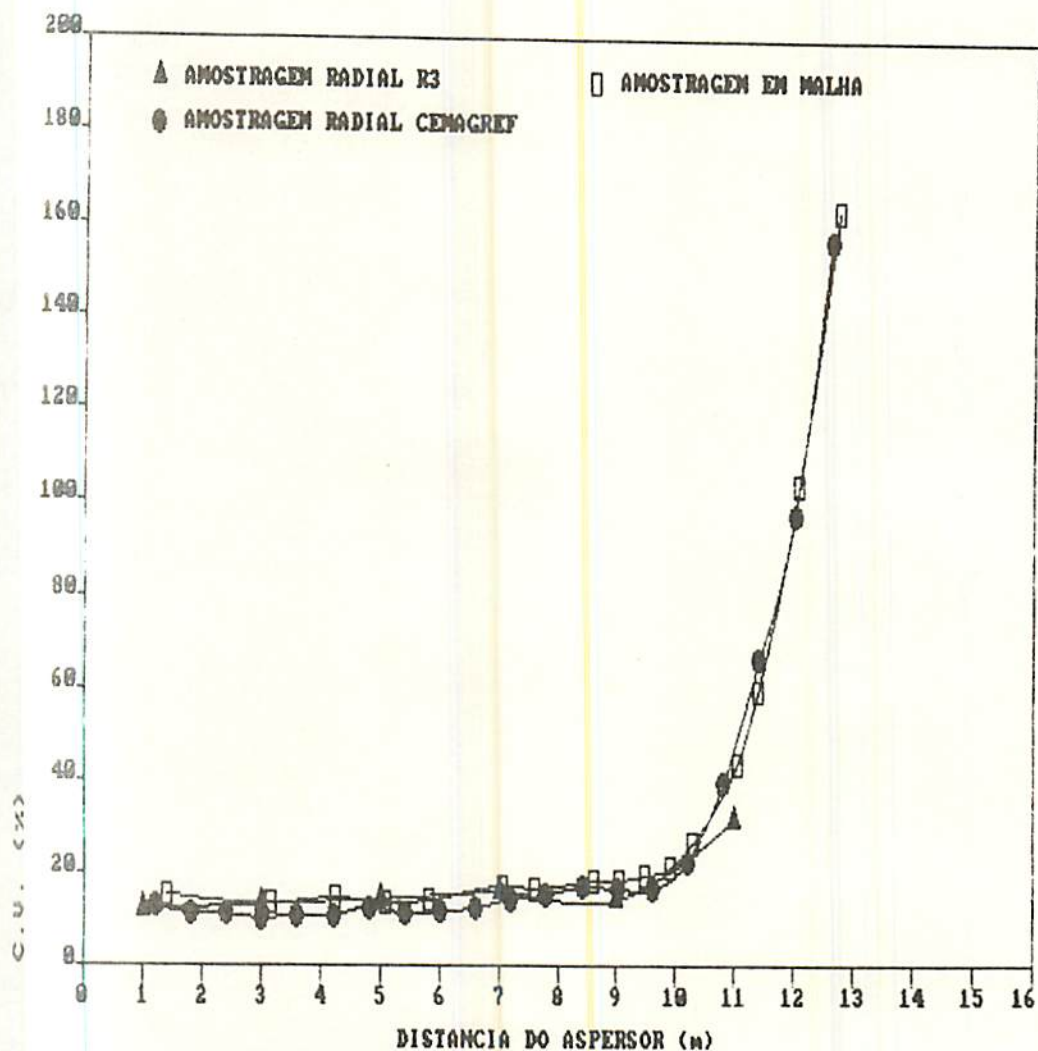


FIGURA 19: Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R3 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.

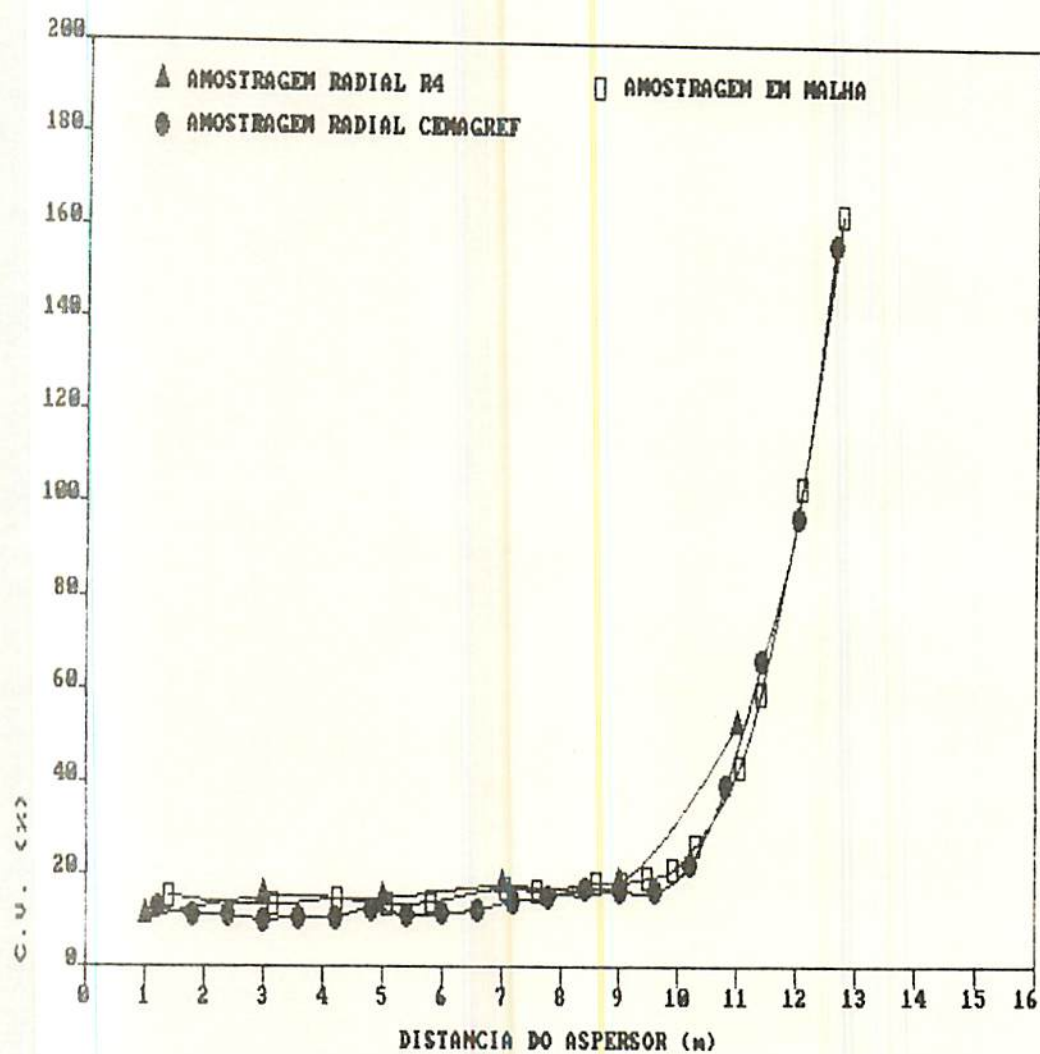


FIGURA 20: Função coeficiente de variação das lâminas de água coletadas para os métodos de amostragem em Malha, Radial R4 e Radial CEMAGREF em diferentes distâncias do coletor ao aspersor para 37 ensaios realizados.



na extremidade final do raio do aspersor (Fig. 16 a 20). O método proposto pelo CEMAGREF apresentou-se sistematicamente diferente das demais pois o aumento do tamanho dos coletores provocou um aumento na área de coleta causando uma menor variabilidade das lâminas coletadas( menor valor de desvio-padrão e CV ).

#### 4.3. Ajuste dos dados à distribuição Normal

Foi necessário neste estudo ajustar a distribuição Normal aos dados amostrais pois se deseja fazer conclusões mais abrangentes sobre os métodos de amostragem. Para cada método de amostragem para verificação da distribuição de água aqui representado, foi estudado um possível caráter normal.

Para cada método de amostragem foi determinado a média e o desvio-padrão dos volumes de água coletados em cada coletor no intervalo de 1 a 11m do aspersor, valor este estabelecido devido a grande variabilidade dos dados encontrados até a distância de 1m do aspersor e após a distância equivalente de 11m do aspersor, isto permitiu um ajuste melhor dos modelos lineares das funções média e desvio-padrão. De posse dos dados foi estabelecido para cada método de amostragem apresentado um modelo linear polinomial para a função média e para a função desvio-padrão em função da distância do coletor ao aspersor, como

expressados pelas equações 22 e 28.

Os modelos ajustados para cada método de amostragem se encontram nos Quadros 9 e 10, observando-se para todos os métodos e funções o melhor ajuste para o polinômio de terceiro grau.

De posse desses modelos obteve-se os desvios padronizados para cada método de amostragem estudado. Para a verificação da normalidade, os dados foram ordenados em classes e a frequência teórica foi calculada com base na distribuição Normal. As frequências teóricas foram agrupadas para aplicação do teste de aderência de quiquadrado, conforme recomendação de SNEDECOR & COCHRAN (1985). Os valores de quiquadrado calculados não foram significativos ao nível de 5%, confirmando a hipótese de que os dados se distribuem normalmente. As Figuras 21 a 27 permitem uma melhor visualização da distribuição de frequências para os volumes padronizados de água coletados para todos os métodos de amostragem estudados. Os parâmetros estimadores utilizados para a determinação do grau de liberdade do quiquadrado tabelado foram respectivamente a média e o desvio-padrão.

QUADRO 9- Equações ajustadas para a função média de lâminas coletadas em diferentes distâncias do coletor ao aspersor e respectivos coeficientes de determinação para cada método de amostragem estudado.

| Método de Amostragem | Equações   | r <sup>2</sup> |
|----------------------|--|----------------|
| Em Malha             | $\mu(d) = 7.62893 - 1.54499d + 0.18965d^2 - 0.008736d^3$ | 0.9851         |
| Radial               | $\mu(d) = 8.35657 - 2.07086d + 0.27971d^2 - 0.01323d^3$  | 0.9878         |
| Raio 1               | $\mu(d) = 8.92475 - 2.19071d + 0.28195d^2 - 0.01288d^3$  | 0.9901         |
| Raio 2               | $\mu(d) = 8.12576 - 2.04203d + 0.26416d^2 - 0.01171d^3$  | 0.9876         |
| Raio 3               | $\mu(d) = 7.85361 - 1.94838d + 0.27809d^2 - 0.01359d^3$  | 0.9793         |
| Raio 4               | $\mu(d) = 8.73943 - 2.22259d + 0.31280d^2 - 0.01555d^3$  | 0.9907         |
| Radial CEMAGREF      | $\mu(d) = 6.22453 - 0.83574d + 0.06664d^2 - 0.00275d^3$  | 0.9901         |



QUADRO 10- Equações ajustadas para a função desvio-padrão de lâminas coletadas em diferentes distâncias do coletor ao aspersor e respectivos coeficientes de determinação para cada método de amostragem estudado.

| Método de Amostragem | Equações   | $r^2$  |
|----------------------|--|--------|
| Em Malha             | $\sigma(d) = 1.07292 - 0.16081d + 0.00728d^2 - 0.00041d^3$ | 0.8641 |
| Radial               | $\sigma(d) = 1.18101 - 0.23248d + 0.01967d^2 - 0.00019d^3$ | 0.9319 |
| Raio 1               | $\sigma(d) = 1.79064 - 0.56904d + 0.07115d^2 - 0.00258d^3$ | 0.9599 |
| Raio 2               | $\sigma(d) = 1.08149 - 0.22688d + 0.01832d^2 + 0.00001d^3$ | 0.9652 |
| Raio 3               | $\sigma(d) = 0.79405 - 0.07854d + 0.00114d^2 + 0.00041d^3$ | 0.7939 |
| Raio 4               | $\sigma(d) = 0.67998 + 0.04094d - 0.02079d^2 + 0.00161d^3$ | 0.9037 |
| Radial CEMAGREF      | $\sigma(d) = 0.00113 - 0.12728d + 0.00962d^2 - 0.00003d^3$ | 0.8056 |



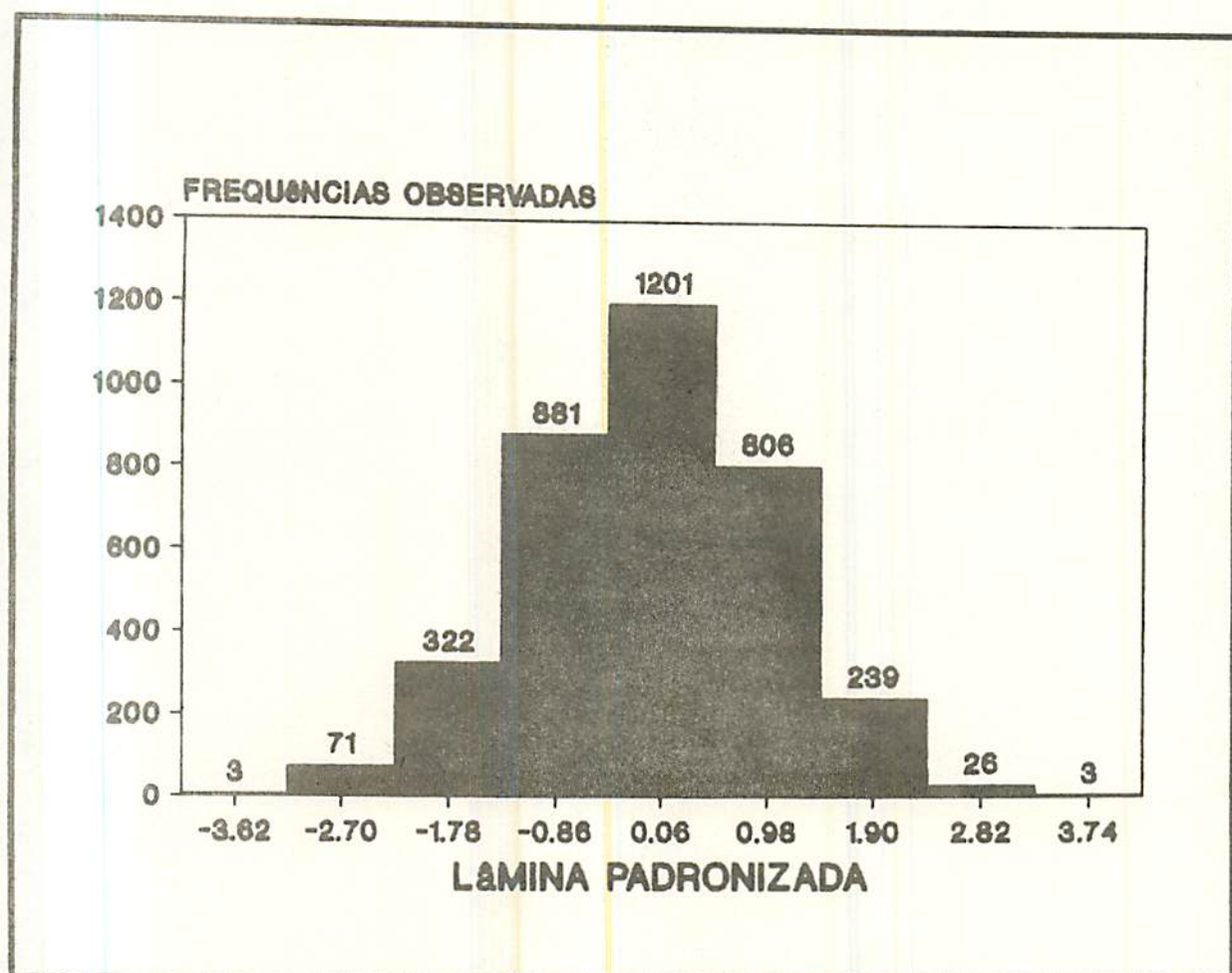


FIGURA-21: Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem em malha.

$$\chi_c^2 = 10.2314$$

$$\chi_{(5\%,6)}^2 = 12.5900$$

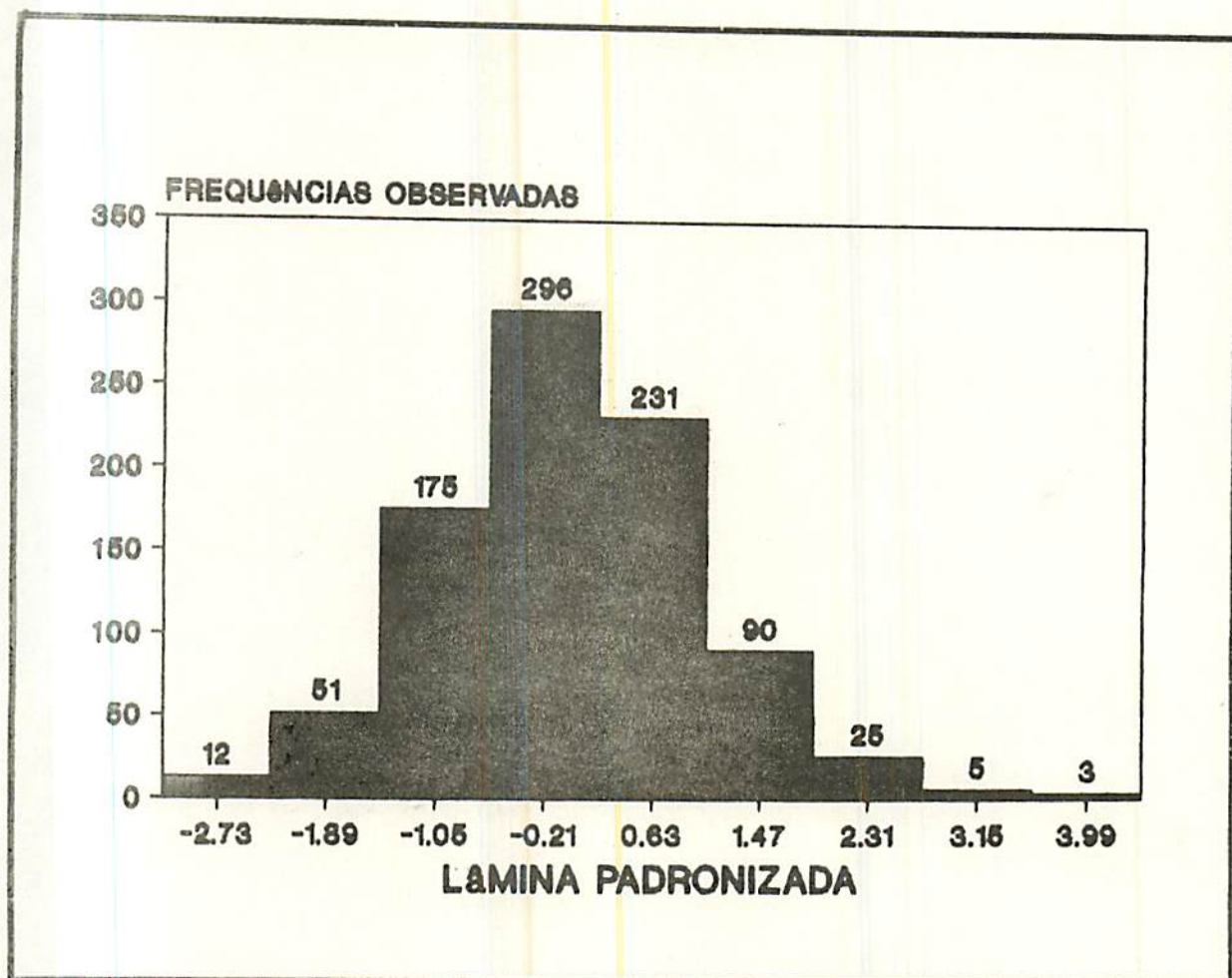
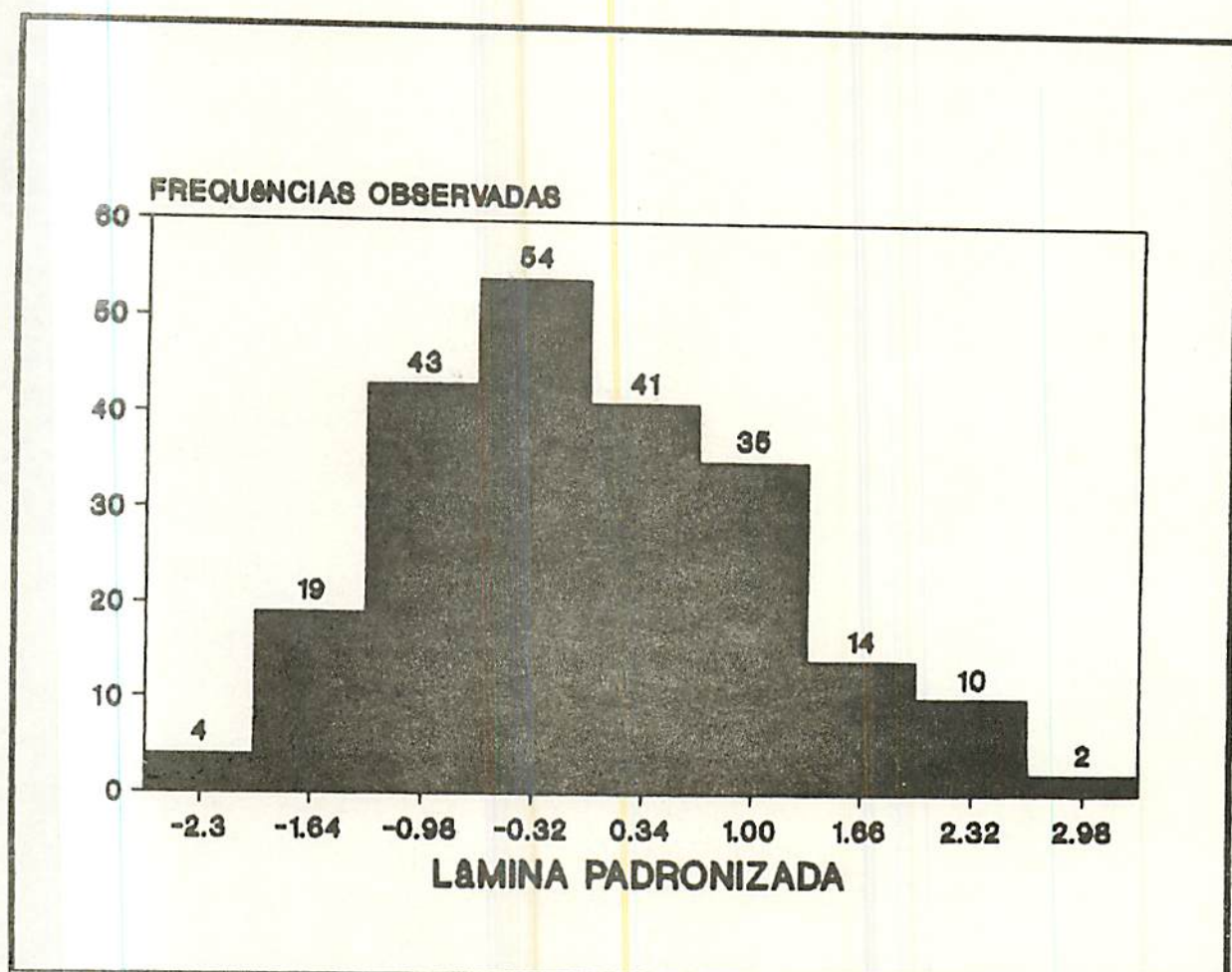


FIGURA-22: Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial.

$$\chi_c^2 = 10.7115$$

$$\chi_{(5\%,5)}^2 = 11.0700$$



**FIGURA-23:** Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial R1.

$$\chi_c^2 = 9.8095$$

$$\chi_{(5\%, 6)}^2 = 12.5900$$



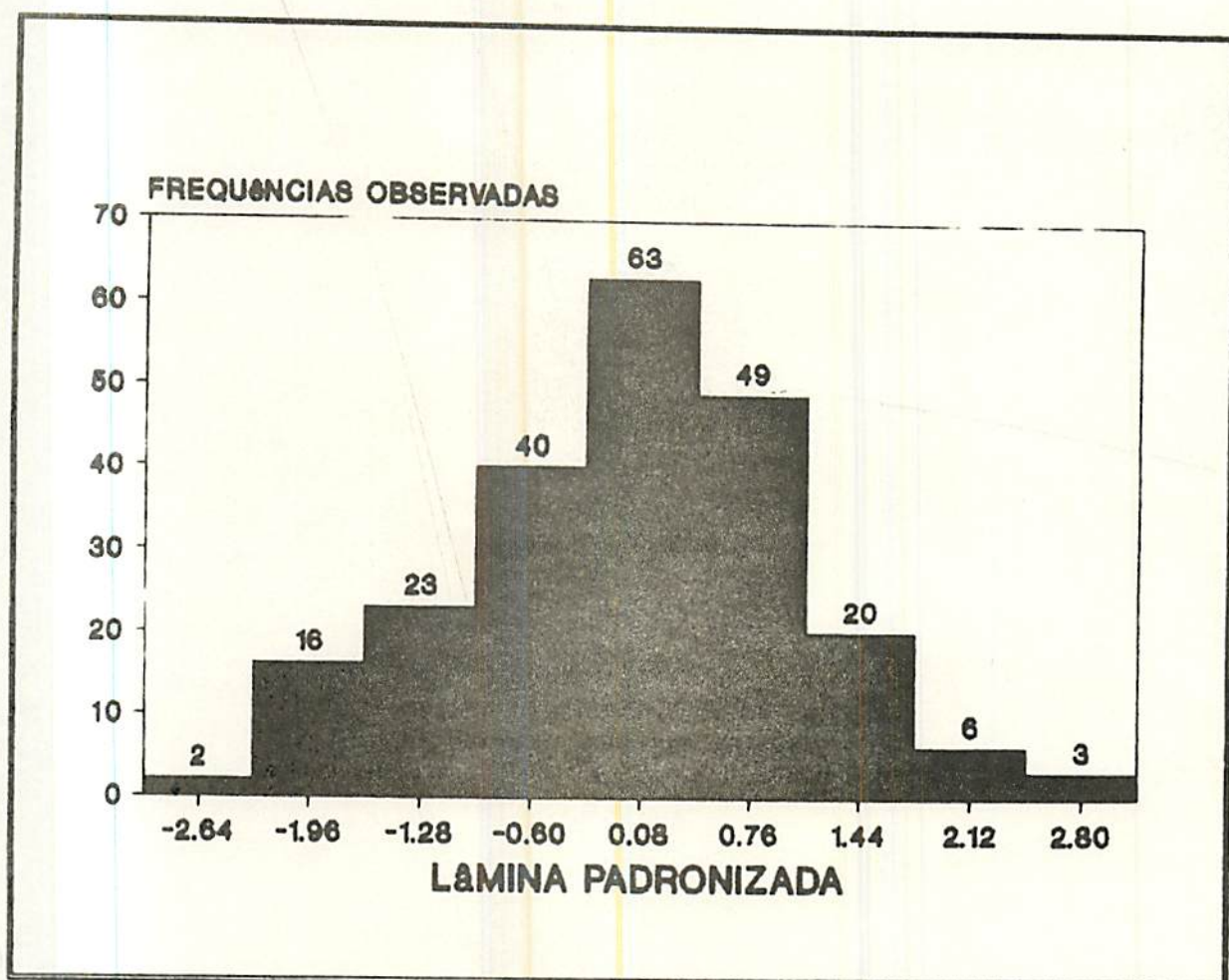


FIGURA-24: Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial R2.

$$\chi_c^2 = 8.1060$$

$$\chi_{(5\%, 6)}^2 = 12.5900$$

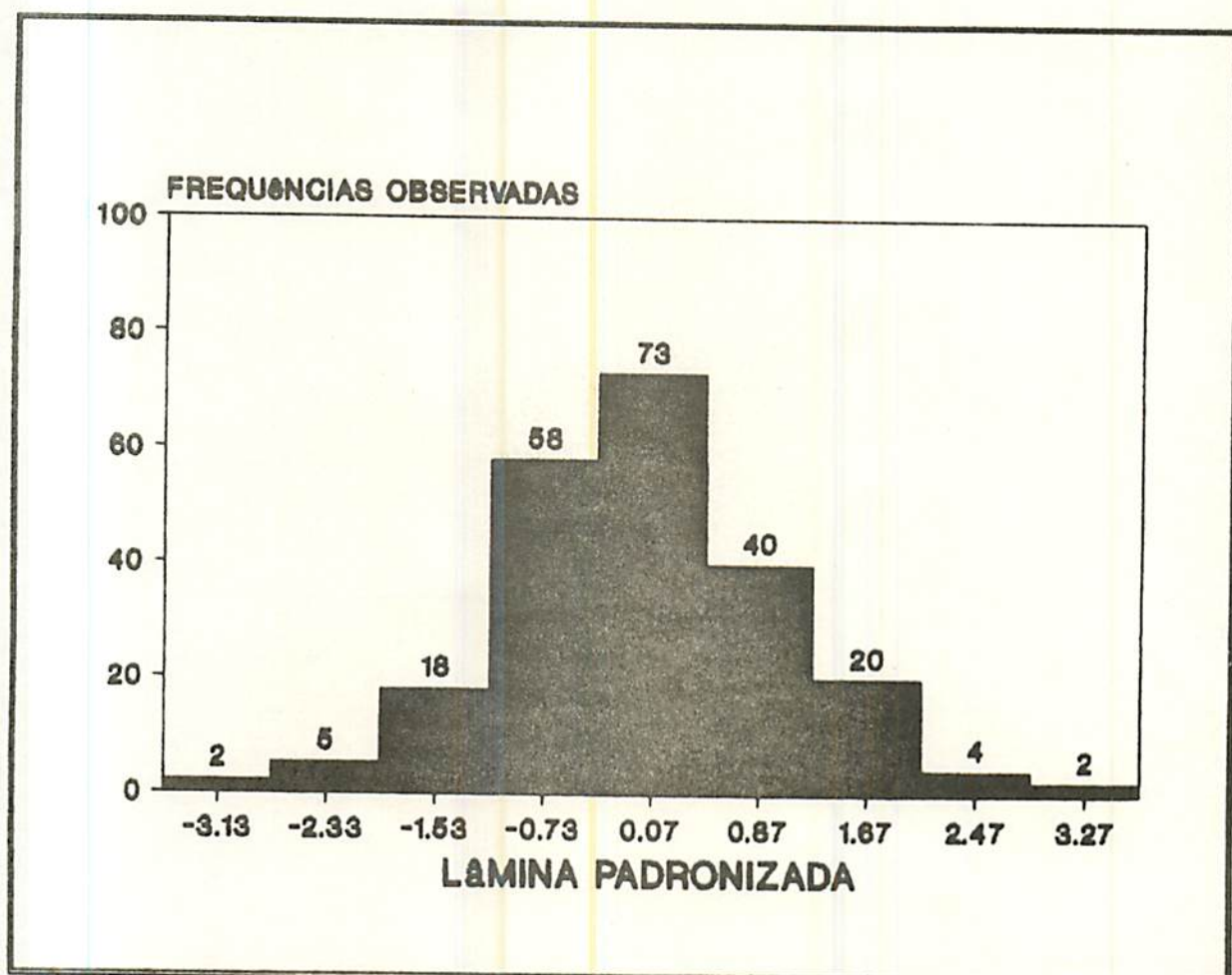


FIGURA-25: Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial R3.

$$\chi_c^2 = 5.5549$$

$$\chi_{(5\%,5)}^2 = 11.0700$$

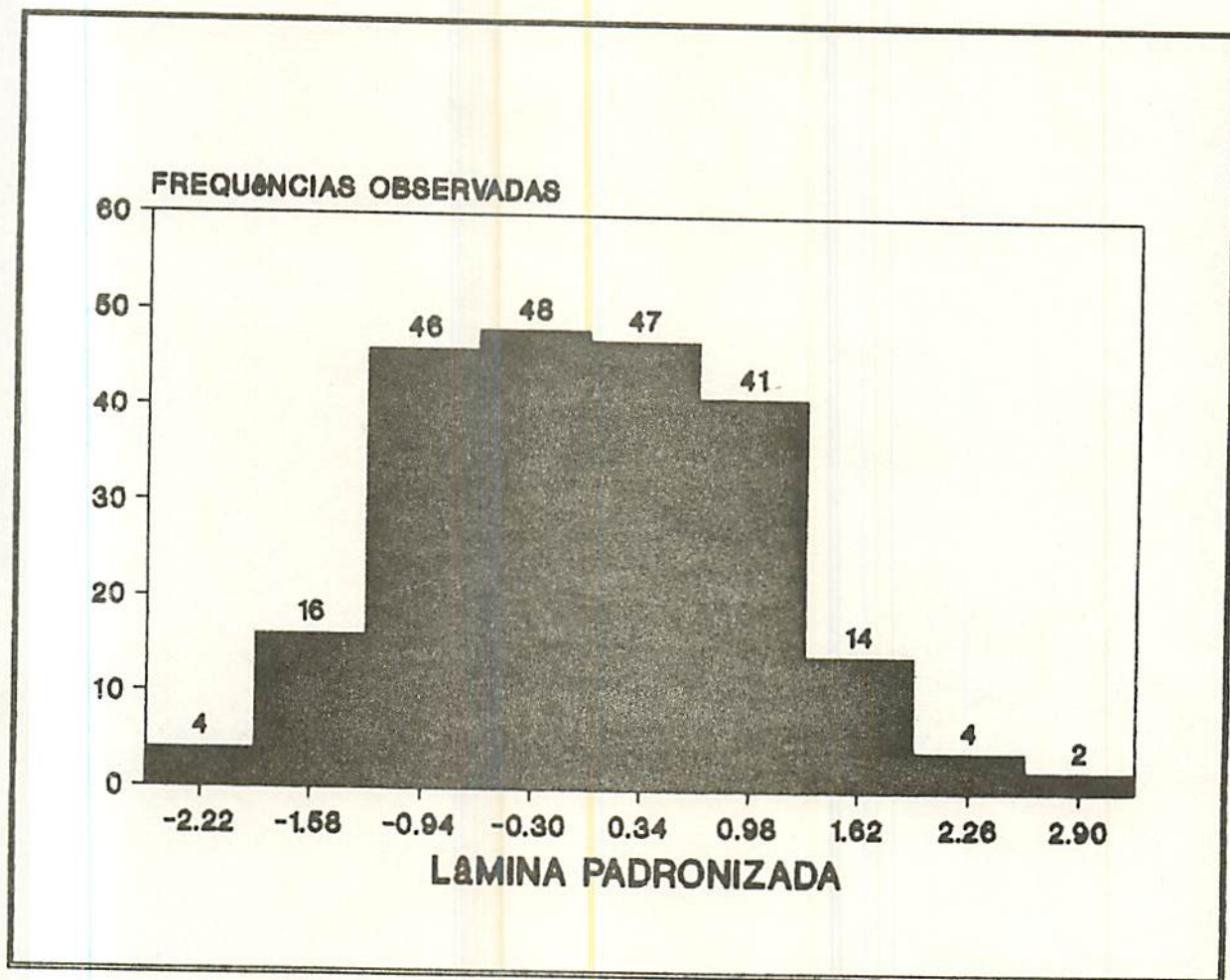


FIGURA-26: Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial R4.

$$\chi_c^2 = 10.1614$$

$$\chi_{(5\%, 6)}^2 = 12.5900$$



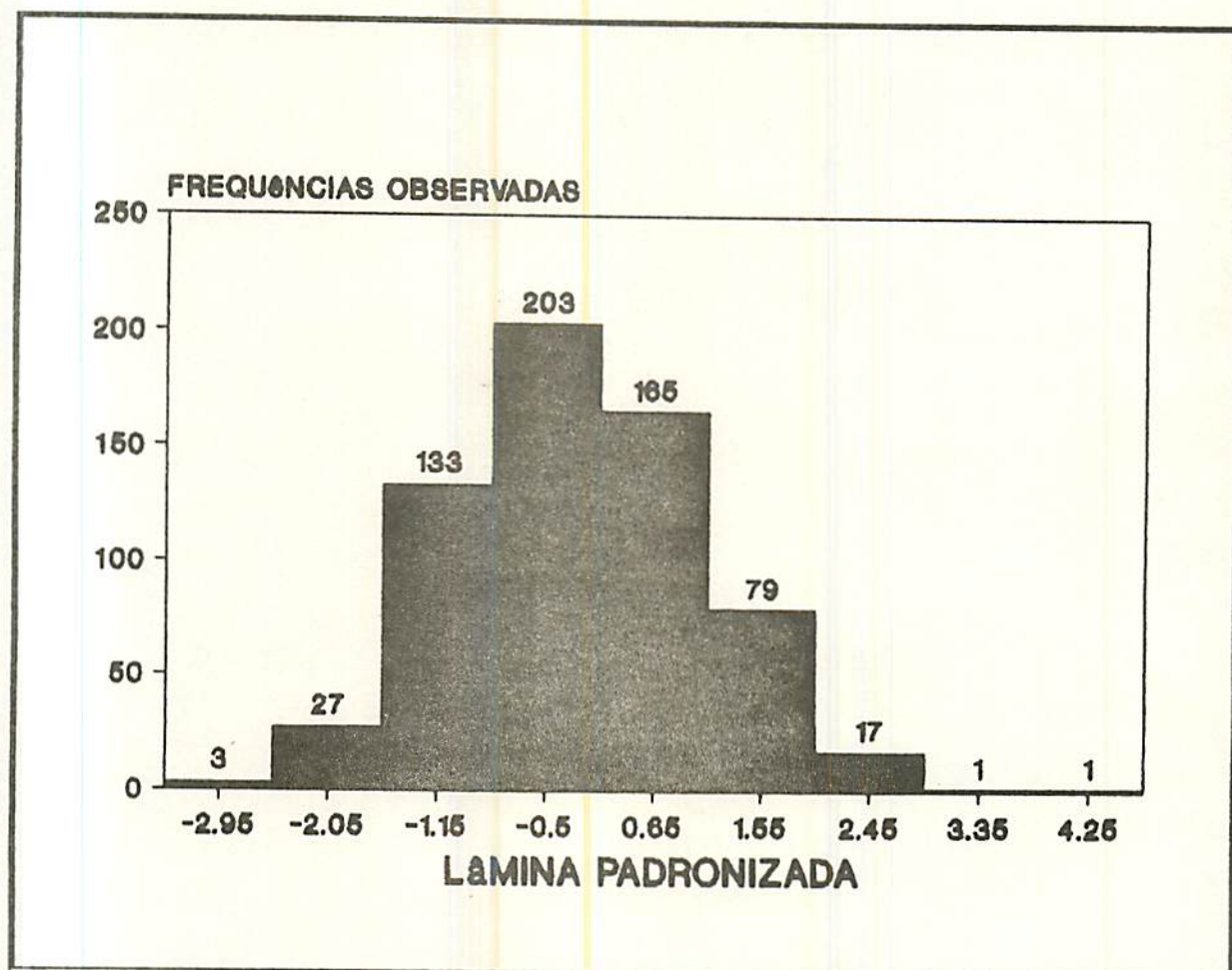


FIGURA-27: Distribuição de frequências para as lâminas padronizadas de água coletadas para o método de amostragem Radial CEMAGREF.

$$\chi_c^2 = 5.4913$$

$$\chi_{(5\%,5)}^2 = 11.0700$$

#### 4.4. Comparação entre os métodos de amostragem

No presente estudo o método de amostragem em Malha é, a priori, mais representativo da distribuição espacial de água pelo aspersor, por isso foi aqui tomado como referencial de comparação. De posse das informações das equações ajustadas para a função média e função desvio-padrão das lâminas coletadas em diferentes distâncias do coletor ao aspersor, Quadros 9 e 10, construiu-se um intervalo de confiança para a função média e função desvio-padrão usando as equações 20 e 21 segundo GRAYBILL (1976), para cada método de amostragem, comparando todos com o método de amostragem em Malha.

Os graus dos polinômios ajustados para a função média e função desvio-padrão pelo método dos quadrados mínimos foram respectivamente igual a 3, sendo então os valores para  $p$  e  $p'$  das equações 20 e 21 iguais a 4 como apresentado nos quadros 11 a 24. Os valores da estatística de  $F$  com níveis de significância de 5% de probabilidade e com  $(p, n-p)$  e  $(p', n-p')$  graus de liberdade também são apresentados nos Quadros 11 a 24. O valor de  $n$  pontos difere dentro do intervalo de 1 a 11 metros para os métodos de amostragem apresentados, valendo 6 para o método de amostragem Radial e suas derivações R1, R2, R3 e R4, 13 para o

QUADRO 11- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem em Malha.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p \cdot F_{\alpha; p, n-p} \cdot \text{Var}[\mu(d)]}$ | $\mu(d)$ | $L_{\text{inf}}$ | $L_{\text{sup}}$ |
|-----------------------|--|----------|------------------|------------------|
| 1                     | 0,69179  | 6,26485  | 5,57307          | 6,95664          |
| 2                     | 0,38457  | 5,22767  | 4,84310          | 5,61224          |
| 3                     | 0,31380  | 4,46497  | 4,15117          | 4,77877          |
| 4                     | 0,30737  | 3,92433  | 3,61696          | 4,23171          |
| 5                     | 0,27773  | 3,55334  | 3,27561          | 3,83107          |
| 6                     | 0,24289  | 3,29959  | 3,05669          | 3,54248          |
| 7                     | 0,23872  | 3,11065  | 2,87193          | 3,34936          |
| 8                     | 0,25311  | 2,93411  | 2,68100          | 3,18721          |
| 9                     | 0,24413  | 2,71756  | 2,47343          | 2,96168          |
| 10                    | 0,24172  | 2,40858  | 2,16685          | 2,65030          |
| 11                    | 0,44563  | 1,95475  | 1,50912          | 2,40038          |

$$p = 4 ; n = 3$$

$$F_{5\%; 4, 9} = 3,63$$



QUADRO 12- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem em Malha.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p' F_{\alpha; p', n-p'} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]}$ | $\hat{\sigma}(d)$ | $L_{inf}$ | $L_{sup}$ |
|-----------------------|--|-------------------|-----------|-----------|
| 1                     | 0,26853  | 0,91981           | 0,65128   | 1,18833   |
| 2                     | 0,14927  | 0,78373           | 0,63446   | 0,93301   |
| 3                     | 0,12180  | 0,66716           | 0,54536   | 0,78897   |
| 4                     | 0,11931  | 0,57256           | 0,45325   | 0,69188   |
| 5                     | 0,10780  | 0,50241           | 0,39460   | 0,61021   |
| 6                     | 0,09428  | 0,45916           | 0,36488   | 0,55344   |
| 7                     | 0,09266  | 0,44528           | 0,35262   | 0,53795   |
| 8                     | 0,09825  | 0,46326           | 0,36501   | 0,56150   |
| 9                     | 0,09476  | 0,51554           | 0,42078   | 0,61030   |
| 10                    | 0,09383  | 0,60461           | 0,51078   | 0,69843   |
| 11                    | 0,17298  | 0,73292           | 0,55994   | 0,90590   |

$$p' = 4 ; n = 13$$

$$F_{5\%; 4, 9} = 3.63$$

QUADRO 13- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p \cdot F_{\alpha; p, n-p} \cdot \widehat{\text{Var}}[\widehat{\mu}(d)]}$ | $\widehat{\mu}(d)$ | $L_{\text{inf}}$ | $L_{\text{sup}}$ |
|-----------------------|--|--------------------|------------------|------------------|
| 1                     | 2,48615  | 6,55220            | 4,06605          | 9,03835          |
| 2                     | 1,78482  | 5,22788            | 3,44306          | 7,01270          |
| 3                     | 1,93217  | 4,30422            | 2,37206          | 6,23639          |
| 4                     | 1,92668  | 3,70185            | 1,77518          | 5,62853          |
| 5                     | 1,72531  | 3,34138            | 1,61607          | 5,06669          |
| 6                     | 1,59787  | 3,14342            | 1,54555          | 4,74130          |
| 7                     | 1,72074  | 3,02859            | 1,30785          | 4,74933          |
| 8                     | 1,91074  | 2,91750            | 1,00676          | 4,82823          |
| 9                     | 1,88711  | 2,73076            | 0,84365          | 4,61787          |
| 10                    | 1,67000  | 2,38899            | 0,71899          | 4,05900          |
| 11                    | 2,31932  | 1,81281            | -0,50651         | 4,13213          |

$$p = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19.2$$

QUADRO 14- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p' F_{\alpha; p', n-p'} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]}$ | $\hat{\sigma}(d)$ | $L_{\text{inf}}$ | $L_{\text{sup}}$ |
|-----------------------|--|-------------------|------------------|------------------|
| 1                     | 0,71170  | 0,96802           | 0,25632          | 1,67971          |
| 2                     | 0,51093  | 0,79326           | 0,28233          | 1,30419          |
| 3                     | 0,55311  | 0,65563           | 0,10252          | 1,20874          |
| 4                     | 0,55154  | 0,55401           | 0,00247          | 1,10556          |
| 5                     | 0,49390  | 0,48730           | -0,00660         | 0,98119          |
| 6                     | 0,45741  | 0,45437           | -0,00304         | 0,91179          |
| 7                     | 0,49259  | 0,45413           | -0,03846         | 0,94671          |
| 8                     | 0,54698  | 0,48545           | -0,06153         | 1,03243          |
| 9                     | 0,54021  | 0,54723           | 0,00701          | 1,08744          |
| 10                    | 0,47806  | 0,63835           | 0,16028          | 1,11641          |
| 11                    | 0,66394  | 0,75770           | 0,09376          | 1,42164          |

$$p' = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19.2$$



QUADRO 15- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R1.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p F_{\alpha;p,n-p} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\mu}(d)]}$ | $\hat{\mu}(d)$ | $L_{inf}$ | $L_{sup}$ |
|-----------------------|--|----------------|-----------|-----------|
| 1                     | 2,48516  | 7,00311        | 4,51796   | 9,48827   |
| 2                     | 1,78411  | 5,56807        | 3,78396   | 7,35217   |
| 3                     | 1,93139  | 4,54231        | 2,61092   | 6,47370   |
| 4                     | 1,92591  | 3,84855        | 1,92264   | 5,77446   |
| 5                     | 1,72462  | 3,40948        | 1,68486   | 5,13410   |
| 6                     | 1,59723  | 3,14780        | 1,55057   | 4,74504   |
| 7                     | 1,72005  | 2,98622        | 1,26617   | 4,70626   |
| 8                     | 1,90998  | 2,84742        | 0,93745   | 4,75739   |
| 9                     | 1,88636  | 2,65411        | 0,76776   | 4,54047   |
| 10                    | 1,66934  | 2,32900        | 0,65966   | 3,99833   |
| 11                    | 2,31840  | 1,79477        | -0,52363  | 4,11316   |

$$p = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%;4,2} = 19.2$$

QUADRO 16- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R1.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p' F_{\alpha; p', n-p'} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]}$ | $\hat{\sigma}(d)$ | $L_{inf}$ | $L_{sup}$ |
|-----------------------|--|-------------------|-----------|-----------|
| 1                     | 0,91204  | 1,29017           | 0,37813   | 2,20221   |
| 2                     | 0,65476  | 0,91652           | 0,26176   | 1,57128   |
| 3                     | 0,70881  | 0,65419           | -0,05462  | 1,36301   |
| 4                     | 0,70680  | 0,48771           | -0,21909  | 1,19451   |
| 5                     | 0,63293  | 0,40158           | -0,23135  | 1,03451   |
| 6                     | 0,58618  | 0,38031           | -0,20587  | 0,96649   |
| 7                     | 0,63125  | 0,40842           | -0,22283  | 1,03967   |
| 8                     | 0,70095  | 0,47041           | -0,23054  | 1,17137   |
| 9                     | 0,69229  | 0,55081           | -0,14148  | 1,24309   |
| 10                    | 0,61264  | 0,63411           | 0,02147   | 1,24675   |
| 11                    | 0,85084  | 0,70483           | -0,14601  | 1,55568   |

$$p' = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19.2$$

QUADRO 17- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R2.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p \cdot F_{\alpha; p, n-p} \cdot \widehat{\text{Var}}[\widehat{\mu}(d)]}$ | $\widehat{\mu}(d)$ | $L_{inf}$ | $L_{sup}$ |
|-----------------------|--|--------------------|-----------|-----------|
| 1                     | 2,37141  | 6,33618            | 3,96477   | 8,70758   |
| 2                     | 1,70245  | 5,00463            | 3,30219   | 6,70708   |
| 3                     | 1,84299  | 4,06084            | 2,21785   | 5,90383   |
| 4                     | 1,83775  | 3,43452            | 1,59676   | 5,27227   |
| 5                     | 1,64568  | 3,05537            | 1,40969   | 4,70105   |
| 6                     | 1,52413  | 2,85312            | 1,32900   | 4,37725   |
| 7                     | 1,64132  | 2,75748            | 1,11616   | 4,39880   |
| 8                     | 1,82255  | 2,69816            | 0,87561   | 4,52071   |
| 9                     | 1,80002  | 2,60487            | 0,80486   | 4,40489   |
| 10                    | 1,59293  | 2,40733            | 0,81440   | 4,00026   |
| 11                    | 2,21228  | 2,03525            | -0,17703  | 4,24753   |

$$p = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19.2$$



QUADRO 18- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R2.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p' F_{\alpha; p', n-p'} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]}$ | $\hat{\sigma}(d)$ | $L_{\text{inf}}$ | $L_{\text{sup}}$ |
|-----------------------|--|-------------------|------------------|------------------|
| 1                     | 0,52521  | 0,87294           | 0,34772          | 1,39815          |
| 2                     | 0,37705  | 0,70109           | 0,32404          | 1,07815          |
| 3                     | 0,40818  | 0,56603           | 0,15785          | 0,97421          |
| 4                     | 0,40702  | 0,46781           | 0,06079          | 0,87483          |
| 5                     | 0,36448  | 0,40651           | 0,04202          | 0,77099          |
| 6                     | 0,33756  | 0,38219           | 0,04463          | 0,71975          |
| 7                     | 0,36352  | 0,39492           | 0,03141          | 0,75844          |
| 8                     | 0,40365  | 0,44478           | 0,04113          | 0,84844          |
| 9                     | 0,39866  | 0,53183           | 0,13317          | 0,93049          |
| 10                    | 0,35280  | 0,65614           | 0,30334          | 1,00894          |
| 11                    | 0,48997  | 0,81778           | 0,32781          | 1,30775          |

$$p' = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19.2$$

QUADRO 19- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R3.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p \cdot F_{\alpha; p, n-p} \cdot \widehat{\text{Var}}[\widehat{\mu}(d)]}$ | $\widehat{\mu}(d)$ | $L_{\text{inf}}$ | $L_{\text{sup}}$ |
|-----------------------|--|--------------------|------------------|------------------|
| 1                     | 2,81727  | 6,16973            | 3,35246          | 8,98700          |
| 2                     | 2,02253  | 4,96051            | 2,93797          | 6,98304          |
| 3                     | 2,18950  | 4,14439            | 1,95489          | 6,33389          |
| 4                     | 2,18328  | 3,63986            | 1,45658          | 5,82314          |
| 5                     | 1,95509  | 3,36534            | 1,41027          | 5,32045          |
| 6                     | 1,81069  | 3,23937            | 1,42868          | 5,05005          |
| 7                     | 1,94991  | 3,18034            | 1,23043          | 5,13025          |
| 8                     | 2,16522  | 3,10674            | 0,94152          | 5,27195          |
| 9                     | 2,13845  | 2,93703            | 0,79858          | 5,07548          |
| 10                    | 1,89242  | 2,58968            | 0,69725          | 4,48210          |
| 11                    | 2,62822  | 1,98314            | -0,64508         | 4,61136          |

$$p = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19.2$$

QUADRO 20- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R3.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p' F_{\alpha; p', n-p'} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]}$ | $\hat{\sigma}(d)$ | $L_{\text{inf}}$ | $L_{\text{e}}$ |
|-----------------------|--|-------------------|------------------|----------------|
| 1                     | 0,72423  | 0,71706           | -0,00717         | 1,44129        |
| 2                     | 0,51993  | 0,64480           | 0,12487          | 1,16473        |
| 3                     | 0,56285  | 0,57968           | 0,01683          | 1,14253        |
| 4                     | 0,56125  | 0,52415           | -0,03710         | 1,08540        |
| 5                     | 0,50259  | 0,48063           | -0,02196         | 0,98323        |
| 6                     | 0,46547  | 0,45156           | -0,01391         | 0,91703        |
| 7                     | 0,50126  | 0,43937           | -0,06189         | 0,94063        |
| 8                     | 0,55661  | 0,44647           | -0,11014         | 1,00308        |
| 9                     | 0,54973  | 0,47532           | -0,07441         | 1,02505        |
| 10                    | 0,48648  | 0,52833           | 0,04185          | 1,01481        |
| 11                    | 0,67563  | 0,60794           | -0,06770         | 1,28357        |

$$p' = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19.2$$



QUADRO 21- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R4.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p \cdot F_{\alpha; p, n-p} \cdot \widehat{\text{Var}}[\widehat{\mu}(d)]}$ | $\widehat{\mu}(d)$ | $L_{\text{inf}}$ | $L_{\text{sup}}$ |
|-----------------------|--|--------------------|------------------|------------------|
| 1                     | 2,40171  | 6,81410            | 4,41237          | 9,21579          |
| 2                     | 1,72422  | 5,42099            | 3,69677          | 7,14522          |
| 3                     | 1,86660  | 4,46682            | 2,60022          | 6,33342          |
| 4                     | 1,86134  | 3,85822            | 1,99688          | 5,71956          |
| 5                     | 1,66689  | 3,50185            | 1,83496          | 5,16874          |
| 6                     | 1,54389  | 3,30436            | 1,76047          | 4,84824          |
| 7                     | 1,66265  | 3,17241            | 1,50976          | 4,83506          |
| 8                     | 1,84626  | 3,01264            | 1,16639          | 4,85891          |
| 9                     | 1,82356  | 2,73174            | 0,90818          | 4,55530          |
| 10                    | 1,61404  | 2,23633            | 0,62229          | 3,85037          |
| 11                    | 2,24121  | 1,43310            | -0,80813         | 3,67429          |

$$p = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19.2$$

QUADRO 22- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial R4.

Distância

| d<br>(m) | $\sqrt{p' F_{\alpha; p', n-p'} \cdot \widehat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]}$ | $\hat{\sigma}(d)$ | $L_{inf}$ | $L_{sup}$ |
|----------|--|-------------------|-----------|-----------|
| 1        | 0,44759  | 0,70174           | 0,25415   | 1,14934   |
| 2        | 0,32133  | 0,69157           | 0,37025   | 1,01290   |
| 3        | 0,34786  | 0,65913           | 0,31128   | 1,00699   |
| 4        | 0,34687  | 0,61407           | 0,26720   | 0,96094   |
| 5        | 0,31061  | 0,56604           | 0,25542   | 0,87665   |
| 6        | 0,28767  | 0,52469           | 0,23704   | 0,81236   |
| 7        | 0,30979  | 0,49968           | 0,18989   | 0,80947   |
| 8        | 0,34399  | 0,50067           | 0,15667   | 0,84466   |
| 9        | 0,33974  | 0,53730           | 0,19755   | 0,87704   |
| 10       | 0,30066  | 0,61923           | 0,31857   | 0,91989   |
| 11       | 0,41756  | 0,75611           | 0,33856   | 1,17367   |

$$p' = 4 ; n = 6$$

$$F_{5\%; 4, 2} = 19,2$$

QUADRO 23- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função média em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial CEMAGREF.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{P.F_{\alpha;p,n-p} \cdot \widehat{Var}[\widehat{\mu}(d)]}$ | $\widehat{\mu}(d)$ | $L_{inf}$ | $L_{sup}$ |
|-----------------------|---|--------------------|-----------|-----------|
| 1                     | 0,41982   | 5,45267            | 5,03285   | 5,87249   |
| 2                     | 0,21531   | 4,79756            | 4,58225   | 5,01287   |
| 3                     | 0,19214   | 4,24268            | 4,05054   | 4,43482   |
| 4                     | 0,19765   | 3,77151            | 3,57386   | 3,96916   |
| 5                     | 0,18001   | 3,36752            | 3,18752   | 3,54753   |
| 6                     | 0,16649   | 3,01420            | 2,84772   | 3,18069   |
| 7                     | 0,18050   | 2,69502            | 2,51452   | 2,87552   |
| 8                     | 0,19933   | 2,39346            | 2,19413   | 2,59279   |
| 9                     | 0,19576   | 2,09300            | 1,89724   | 2,28877   |
| 10                    | 0,21903   | 1,77712            | 1,55809   | 1,99614   |
| 11                    | 0,41911   | 1,42929            | 1,01018   | 1,84840   |

$$p = 4 ; n = 17$$

$$F_{5\%;4,13} = 3.19$$



QUADRO 24- Valores para o limite superior e limite inferior dos intervalos de confiança da função desvio-padrão em diferentes distâncias do aspersor para o método de amostragem Radial CEMAGREF.

| Distância<br>d<br>(m) | $\sqrt{p' \cdot F_{\alpha; p', n-p'} \cdot \hat{\text{Var}}[\hat{\sigma}(d)]}$ | $\hat{\sigma}(d)$ | $L_{inf}$ | $L_{sup}$ |
|-----------------------|--|-------------------|-----------|-----------|
| 1                     | 0,15462  | 0,65344           | 0,49882   | 0,80806   |
| 2                     | 0,07930  | 0,55478           | 0,47548   | 0,63408   |
| 3                     | 0,07076  | 0,47495           | 0,40419   | 0,54572   |
| 4                     | 0,07280  | 0,41376           | 0,34096   | 0,48655   |
| 5                     | 0,06630  | 0,37099           | 0,30469   | 0,43728   |
| 6                     | 0,06132  | 0,34644           | 0,28512   | 0,40776   |
| 7                     | 0,06648  | 0,33991           | 0,27343   | 0,40639   |
| 8                     | 0,07341  | 0,35119           | 0,27778   | 0,42461   |
| 9                     | 0,07210  | 0,38009           | 0,30799   | 0,45219   |
| 10                    | 0,08067  | 0,42640           | 0,34573   | 0,50707   |
| 11                    | 0,15436  | 0,48991           | 0,33555   | 0,64427   |

$$p' = 4 ; n = 17$$

$$F_{5\%; 4, 13} = 3.19$$

método de amostragem em Malha e 17 para o método de amostragem Radial apresentado pelo CEMAGREF. As variâncias estimadas dos estimadores  $\hat{\mu}(d)$  e  $\hat{\sigma}(d)$  foram determinadas pelas equações 23 e 29.

#### 4.4.1. Método de amostragem em Malha x Método de amostragem Radial e suas derivações R1, R2, R3 e R4.

Nos Quadros 13 a 22 são apresentados numericamente os valores encontrados para os limites inferior e limite superior dos intervalos de confiança para a função média e para a função desvio-padrão em função da distância do aspersionador, para o método de amostragem Radial e para cada derivação do método de amostragem Radial (R1, R2, R3 e R4). Comparando-se com os Quadros 11 e 12 que são estes limites para o método de amostragem em Malha verifica-se haver uma sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média e para a função desvio-padrão do método de amostragem Radial em relação ao método de amostragem em Malha, a mesma observação se verifica para as derivações do método de amostragem Radial (R1, R2, R3 e R4). Essas comprovações são também verificadas nas Figuras 28 à 37. Essas observações permitem a verificação da existência de uma

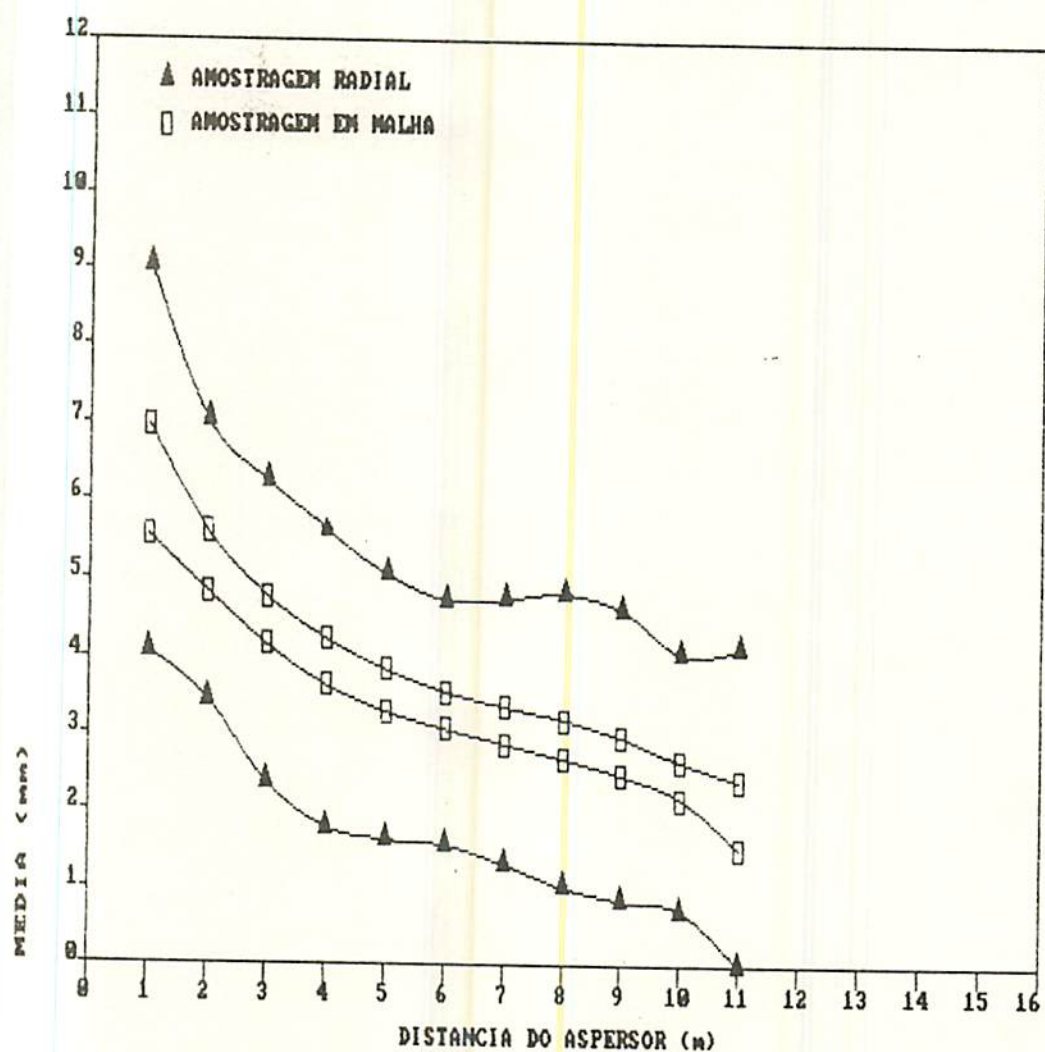


FIGURA-28: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial e em Malha.



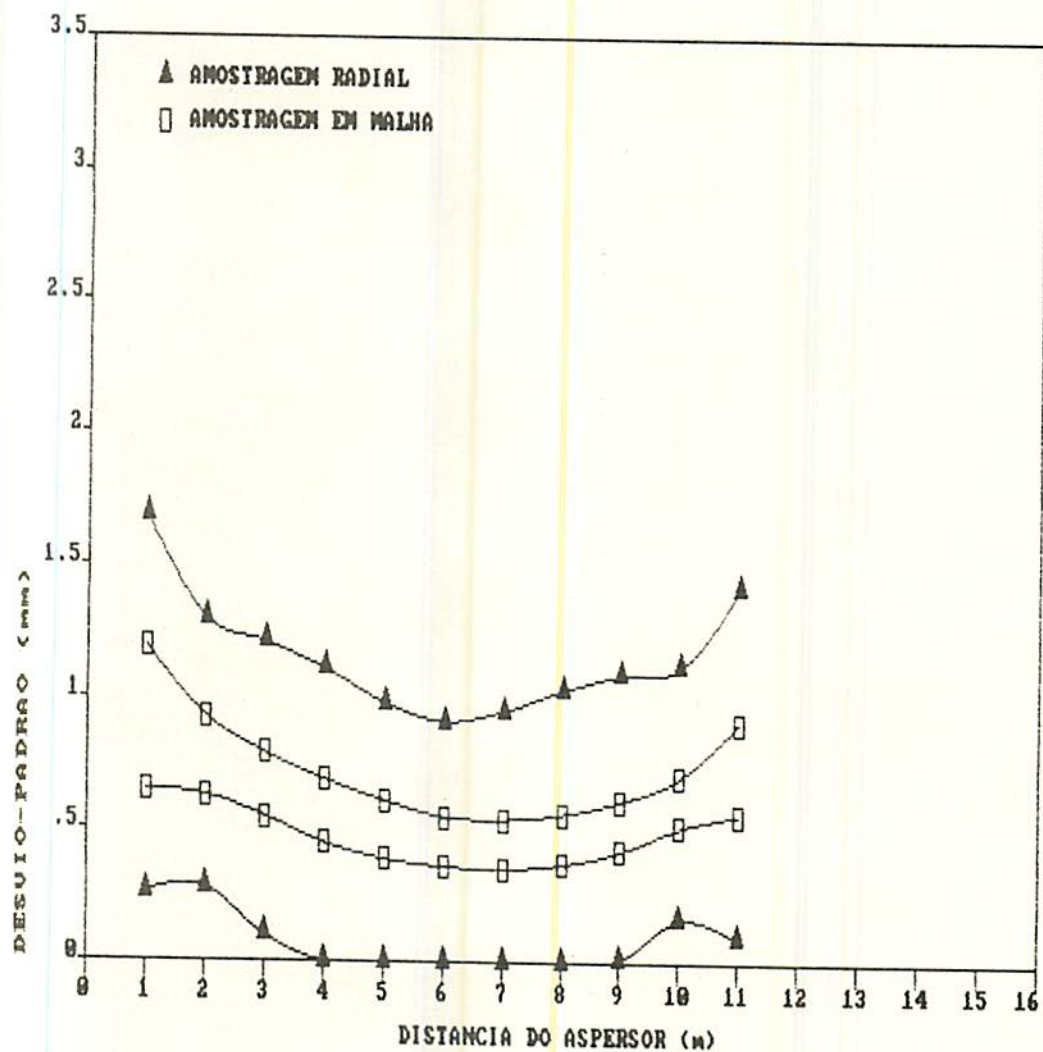


FIGURA-29: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial e em Malha.

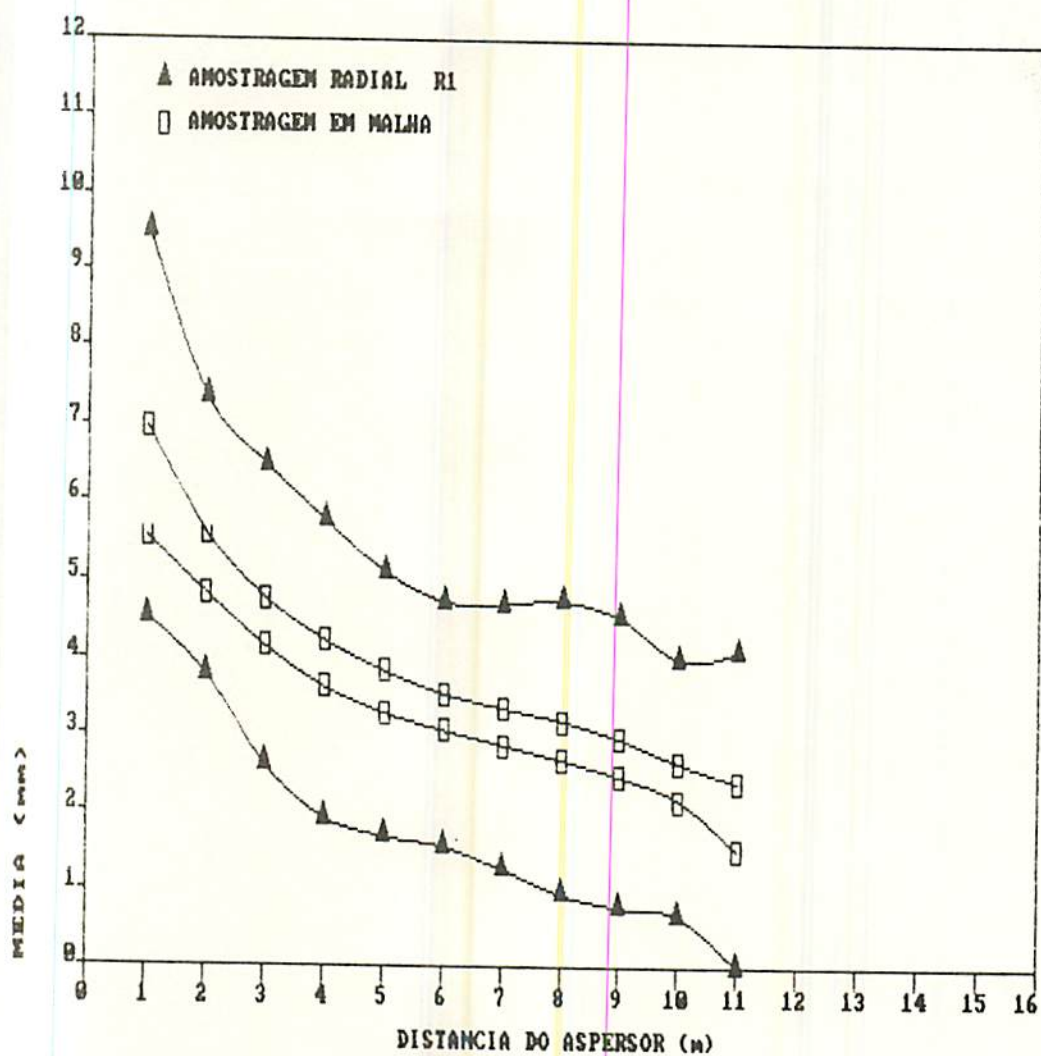


FIGURA-30: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R1 e em Malha.

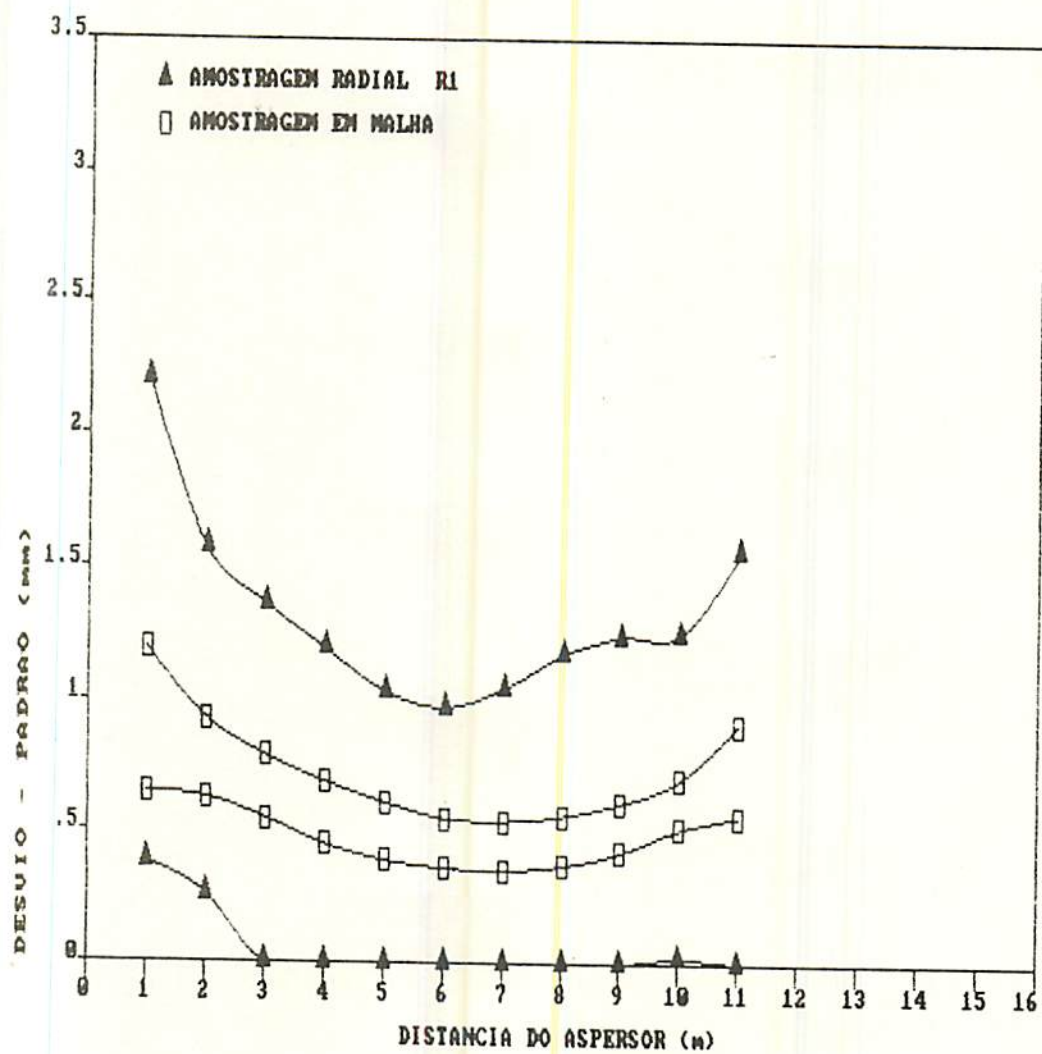


FIGURA-31: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R1 e em Malha.



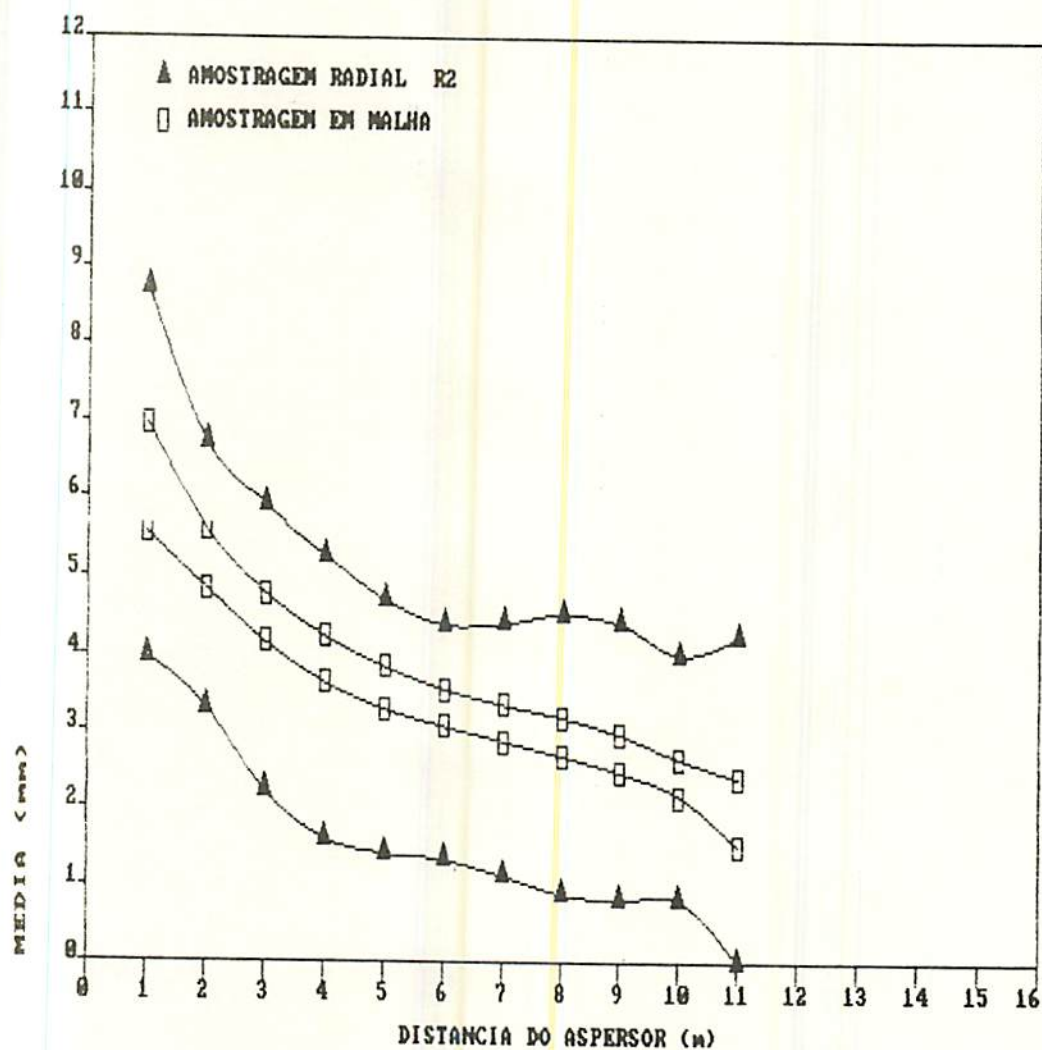


FIGURA-32: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R2 e em Malha.

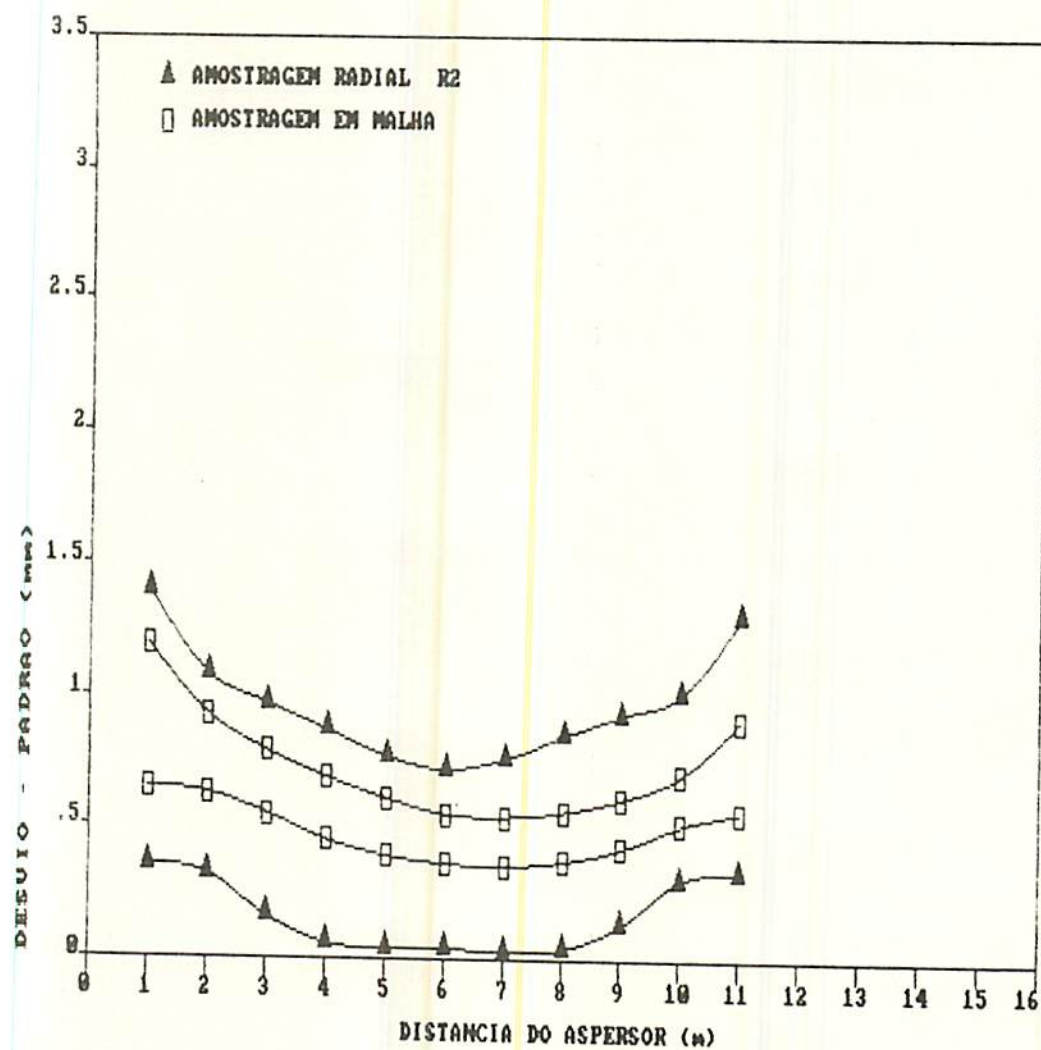


FIGURA-33: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R2 e em Malha.

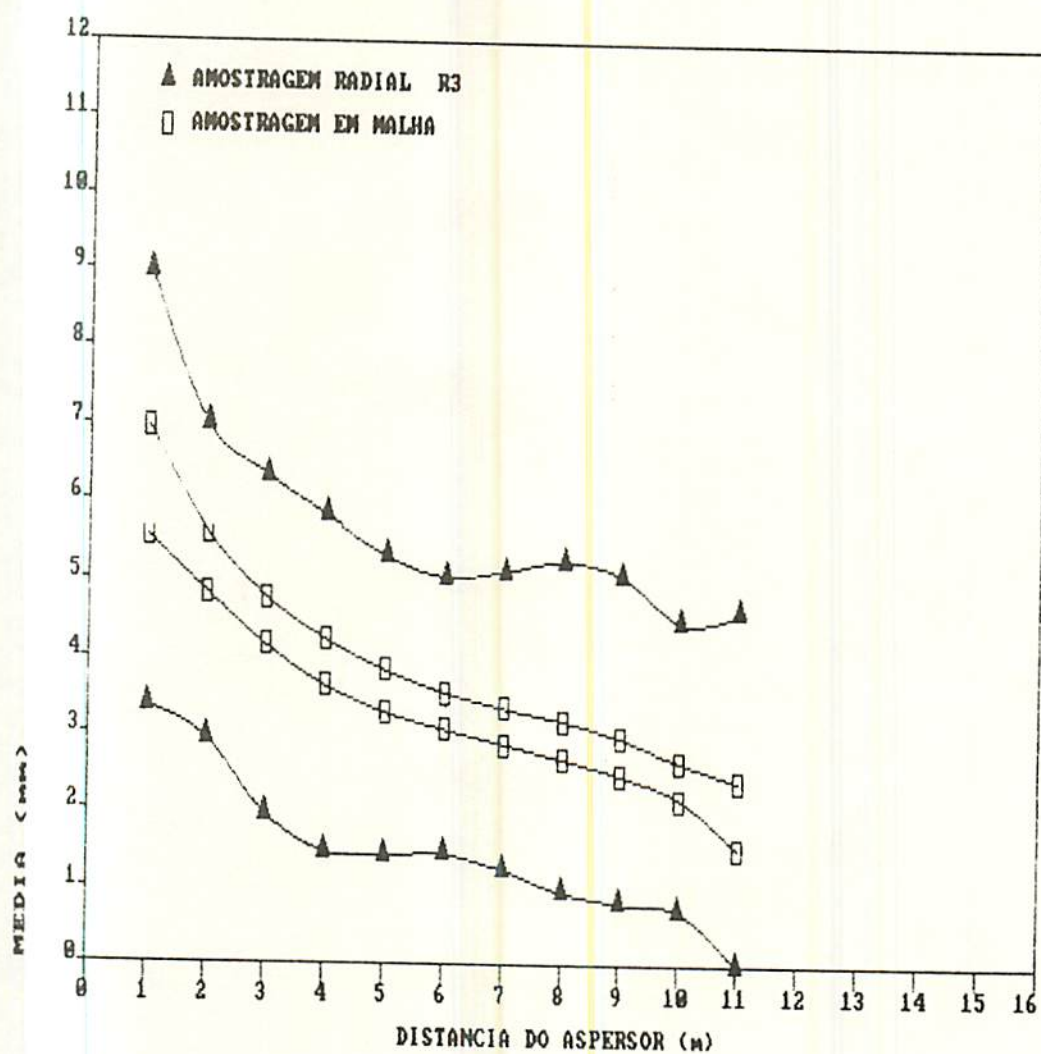


FIGURA-34: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R3 e em Malha.

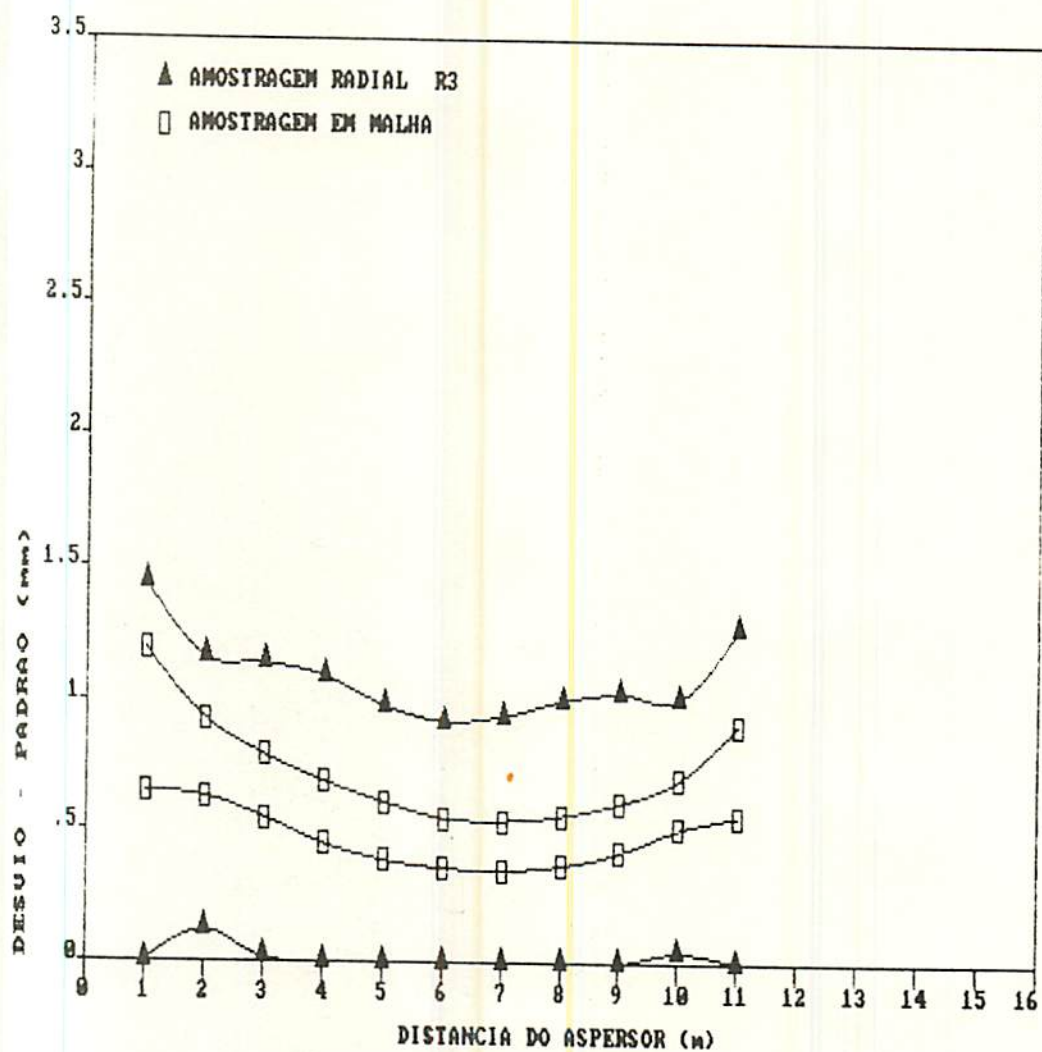


FIGURA-35: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R3 e em Malha.



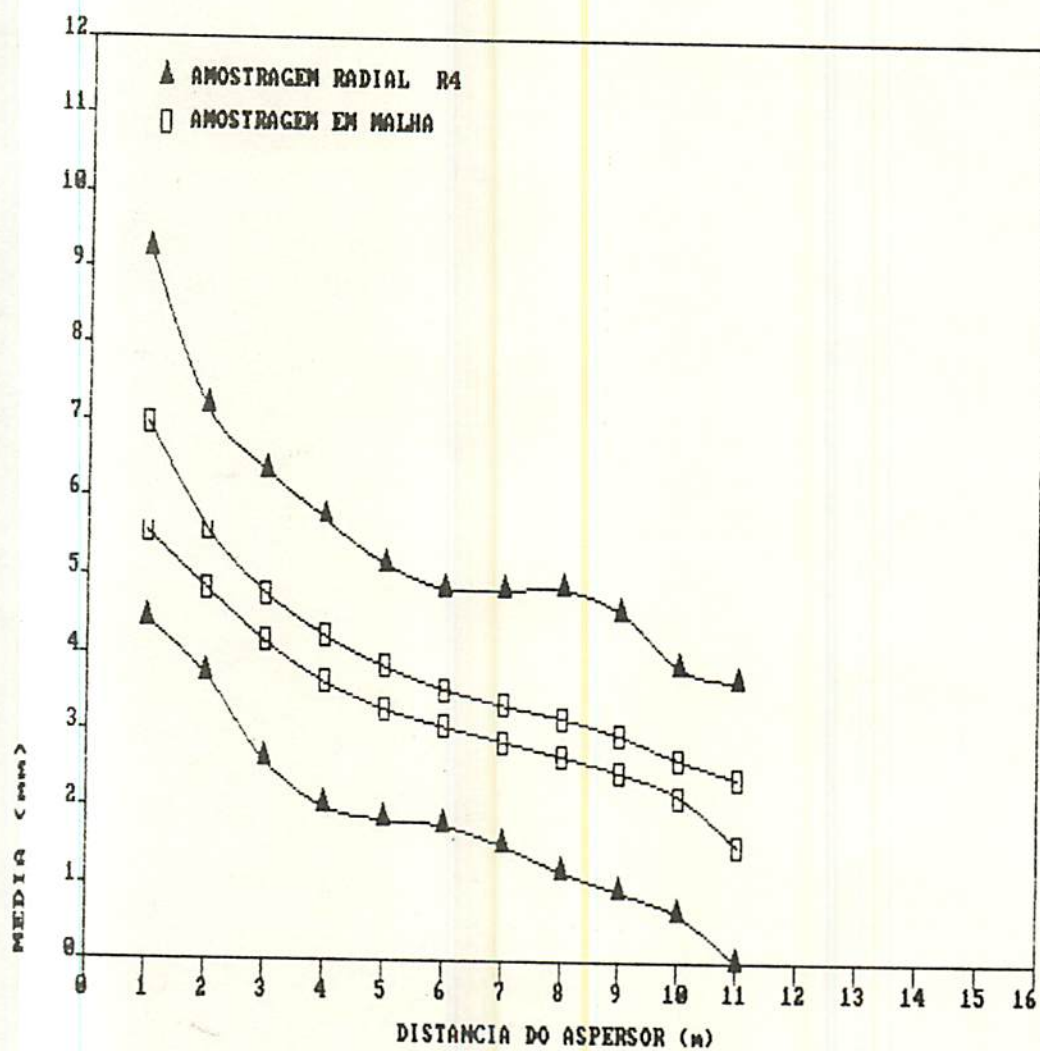


FIGURA-36: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R4 e em Malha.

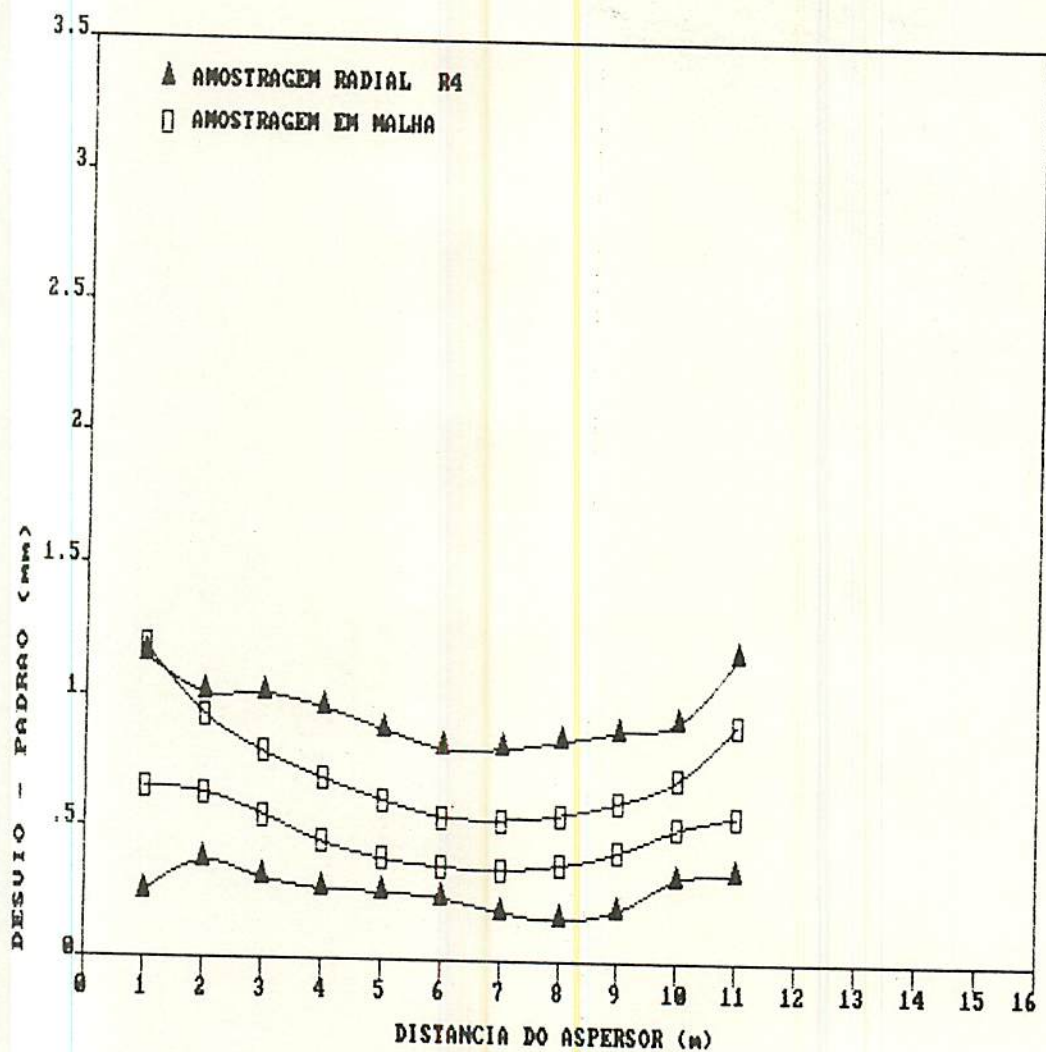


FIGURA-37: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial R4 e em Malha.

equivalência entre o método de amostragem Radial e o método de amostragem em Malha sendo que a equivalência também se verifica entre as derivações R1, R2, R3 e R4 e o método de amostragem em Malha.

#### 4.4.2. Método de amostragem em Malha x Método de amostragem Radial CEMAGREF.

Nos Quadros 23 e 24 são apresentados numericamente os valores encontrados para os limites inferior e limites superior dos intervalos de confiança para a função média e função desvio-padrão para as lâminas de água coletadas, em função da distância do aspersor para o método de amostragem Radial apresentado pelo CEMAGREF. Comparando-se com os Quadros 11 e 12 já apresentados pelo método de amostragem em Malha verifica-se não haver uma sobreposição completa para a função média das lâminas e para a função desvio-padrão. Pelas Fig. 38 e 39 pode-se verificar que o método de amostragem Radial apresentado pelo CEMAGREF apresenta-se com um comportamento sistematicamente diferente, mostrando não possuir uma equivalência com o método de amostragem em Malha. Uma possível explicação deste fato, pode ser a variação no tamanho dos coletores ao longo do raio para este método de amostragem.

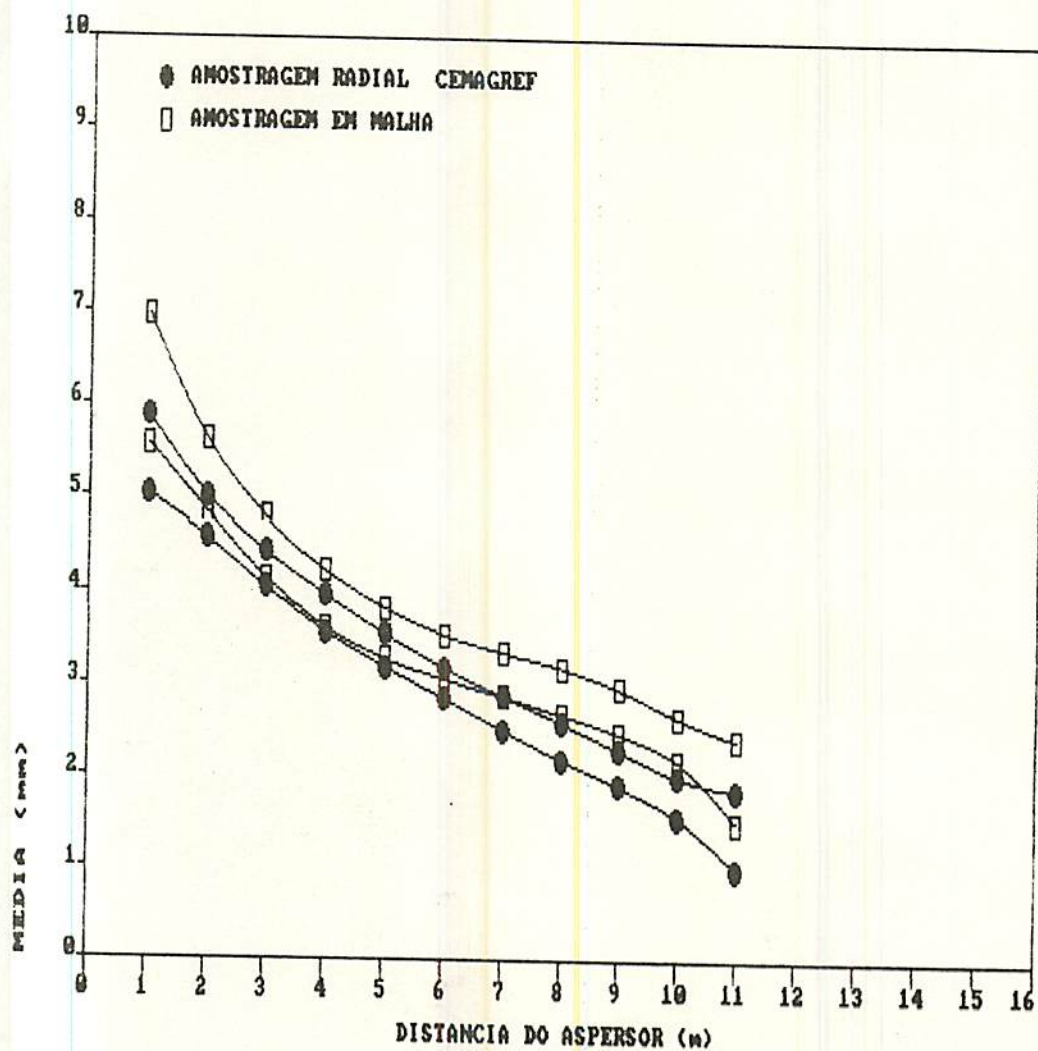


FIGURA-38: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial CEMAGREF e em Malha.



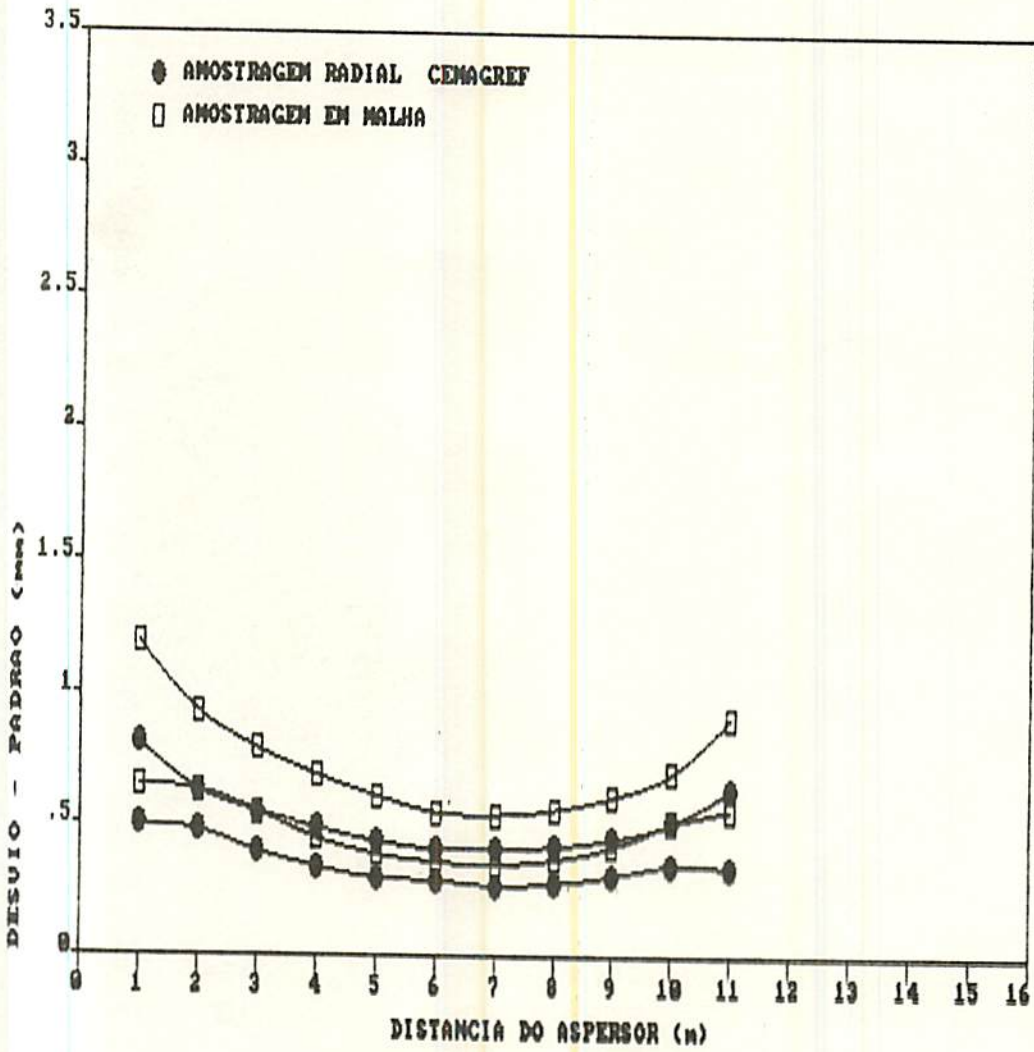


FIGURA-39: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para os métodos de amostragem Radial CEMAGREF e em Malha.

#### 4.4.3. Método de amostragem Radial CEMAGREF x Método de amostragem Radial e suas derivações R1, R2, R3 e R4.

De posse dos Quadros 23 e 24 que representam os resultados encontrados para os limites inferior e limites superior dos intervalos de confiança para a função média e função desvio-padrão para o método de amostragem Radial CEMAGREF, pode-se comparar (Quadros 13 a 22) os resultados já apresentados pelo método de amostragem Radial e suas derivações R1, R2, R3 e R4. Verifica-se haver uma sobreposição de intervalos de confiança tanto para a função média como para a função desvio-padrão entre os dois métodos, como pode se observar nas Figuras 40 a 49. Esses resultados mostram que o método de amostragem Radial CEMAGREF embora não tenha se verificado equivalente ao método de amostragem em Malha, não pode ser classificado como não-equivalente ao método de amostragem Radial e suas respectivas derivações R1, R2, R3 e R4. A razão para esta aparente equivalência entre os métodos pode estar no fato de que o número de dados gerado nos dois métodos não permitiu uma inferência mais sensível, a ponto de discriminar um entre os dois métodos.

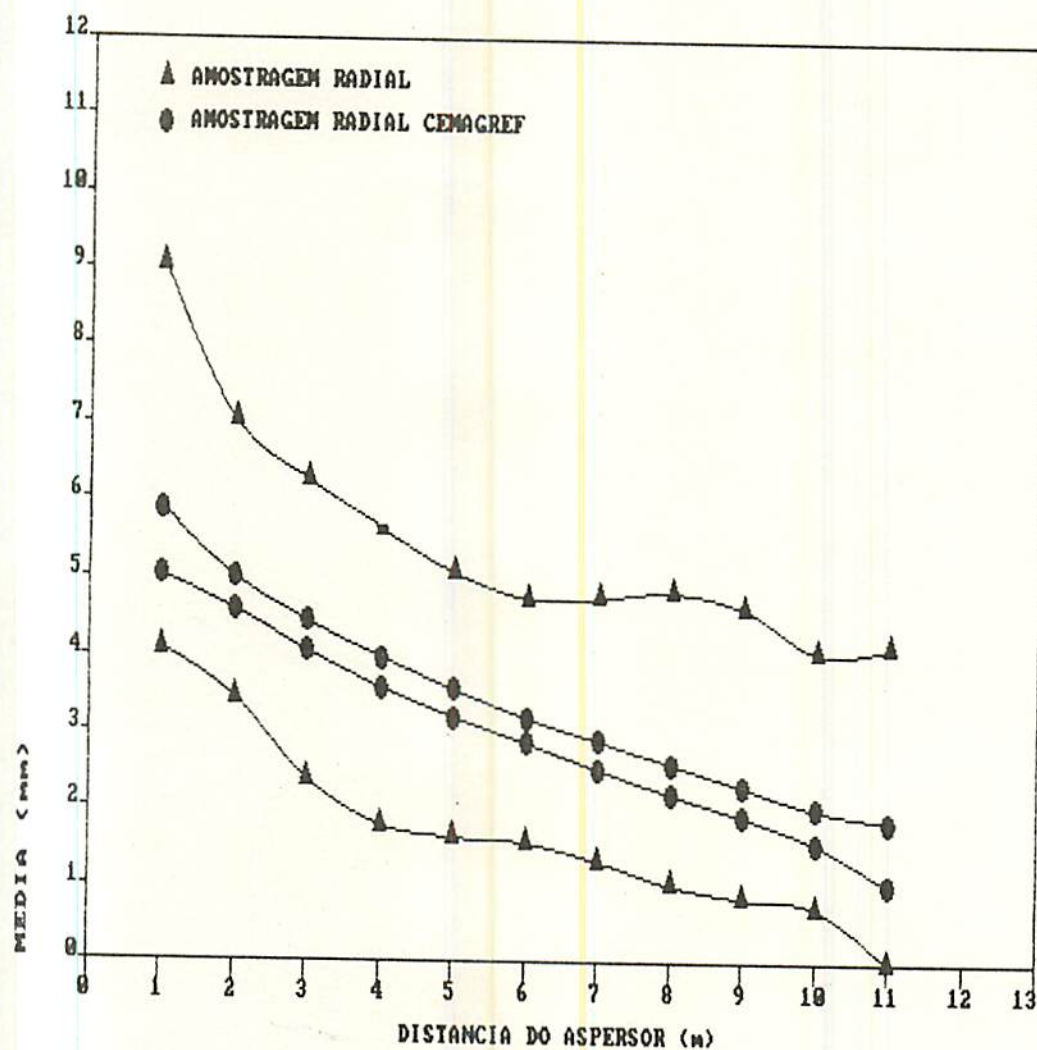


FIGURA-40: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial e Radial CEMAGREF.

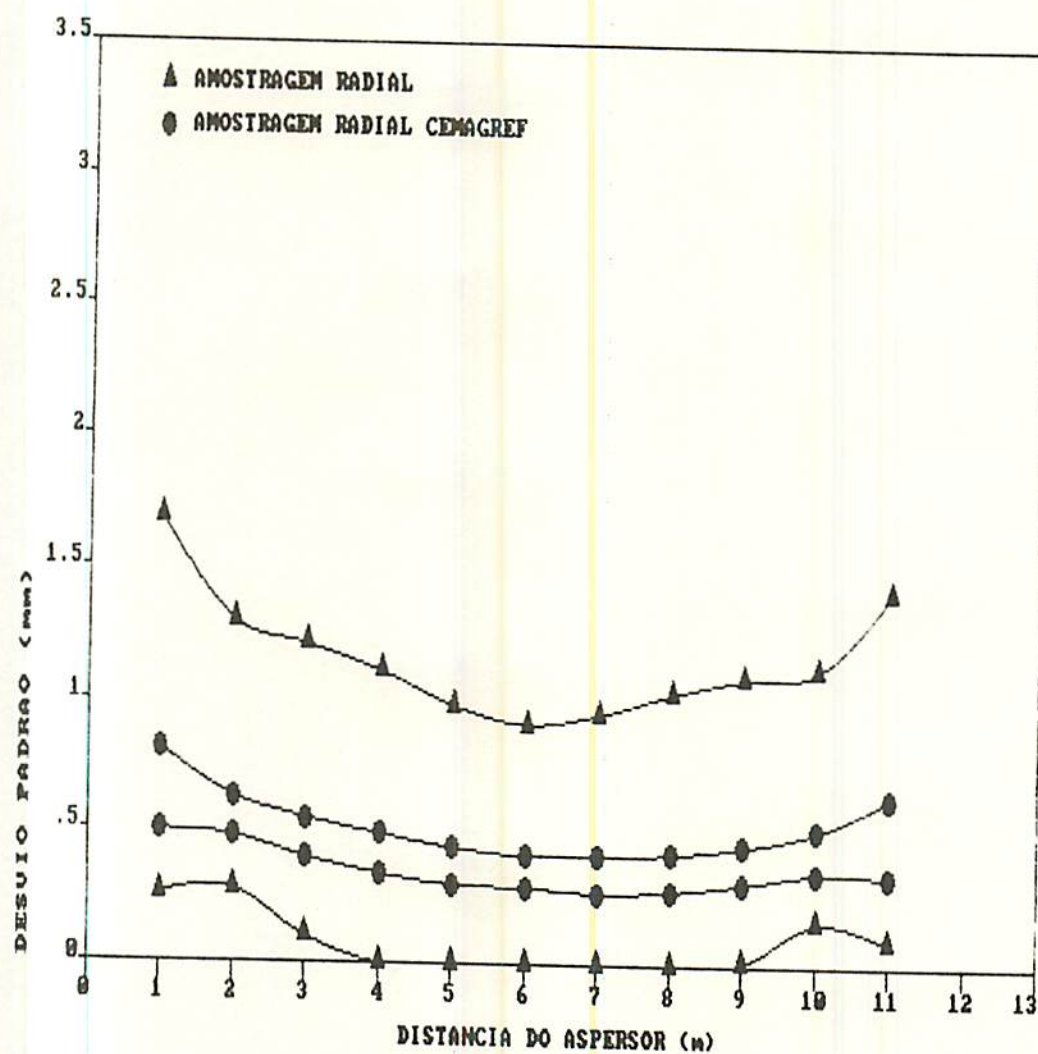


FIGURA-41: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial e Radial CEMAGREF.



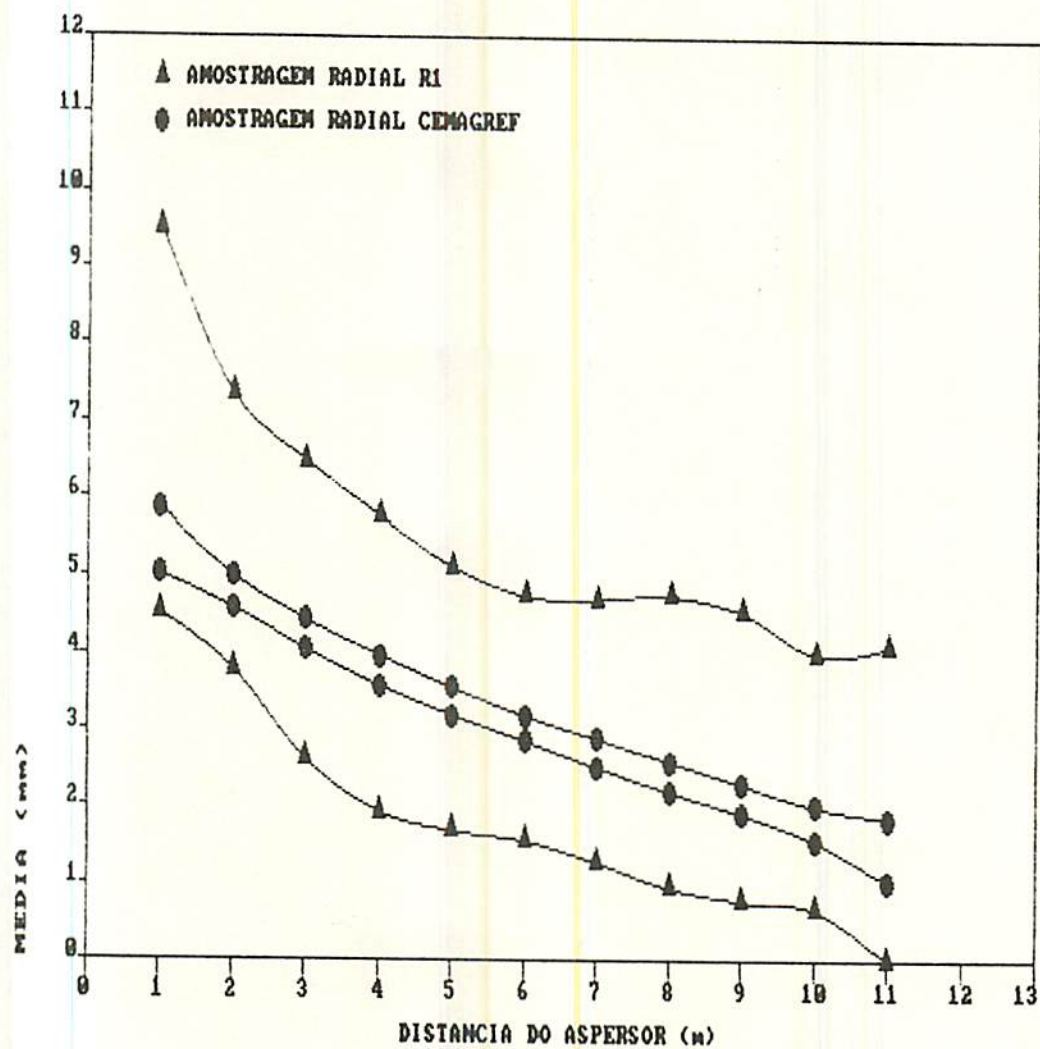


FIGURA-42: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial R1 e Radial CEMAGREF.

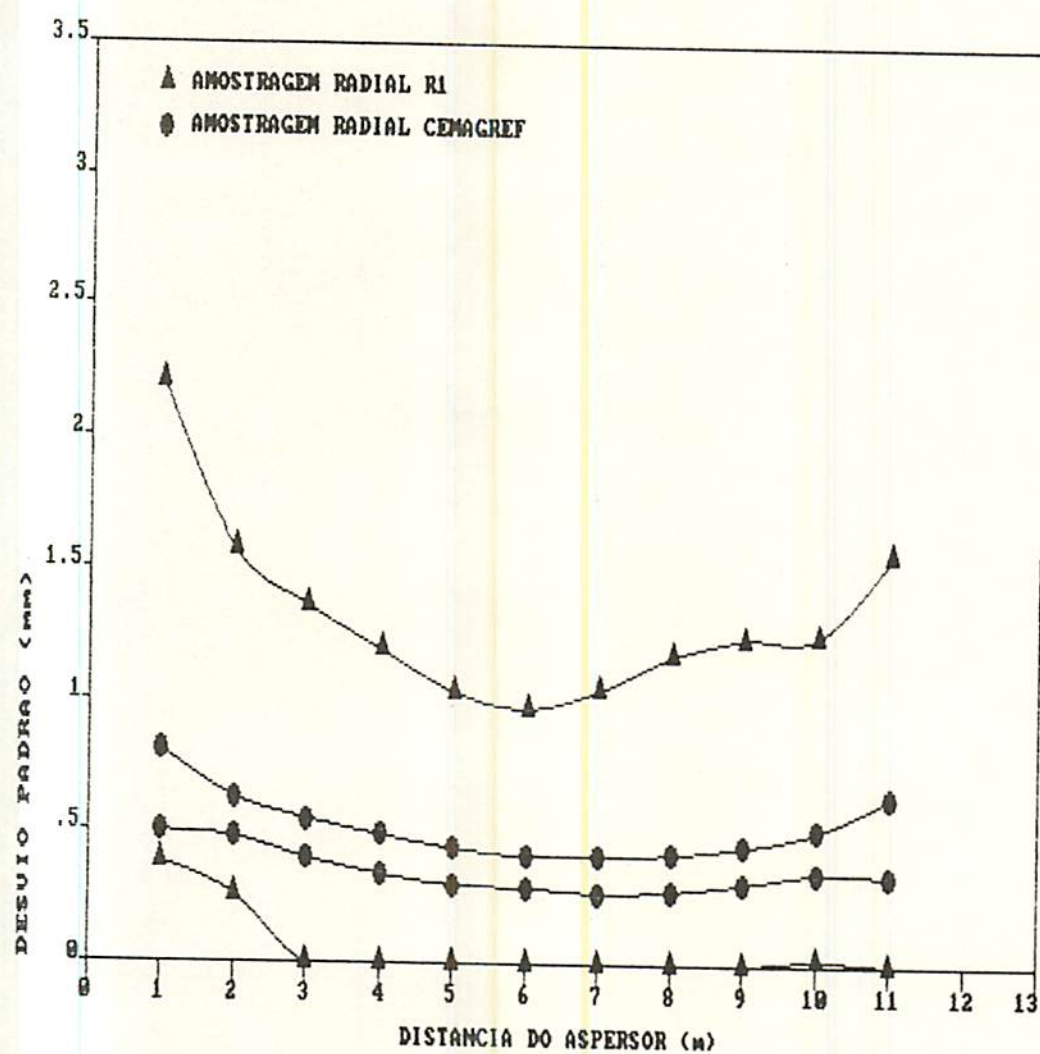


FIGURA-43: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial R1 e Radial CEMAGREF.

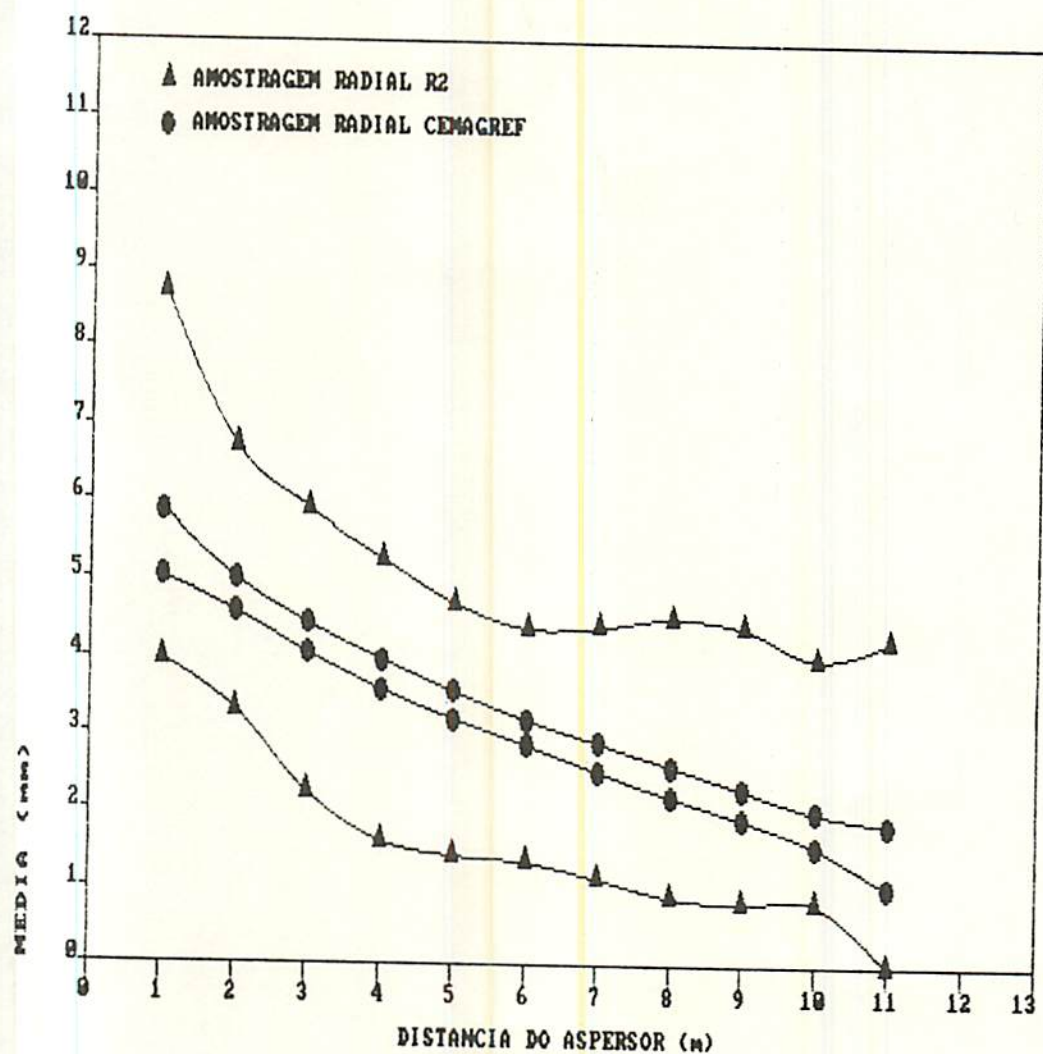


FIGURA-44: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial R2 e Radial CEMAGREF.

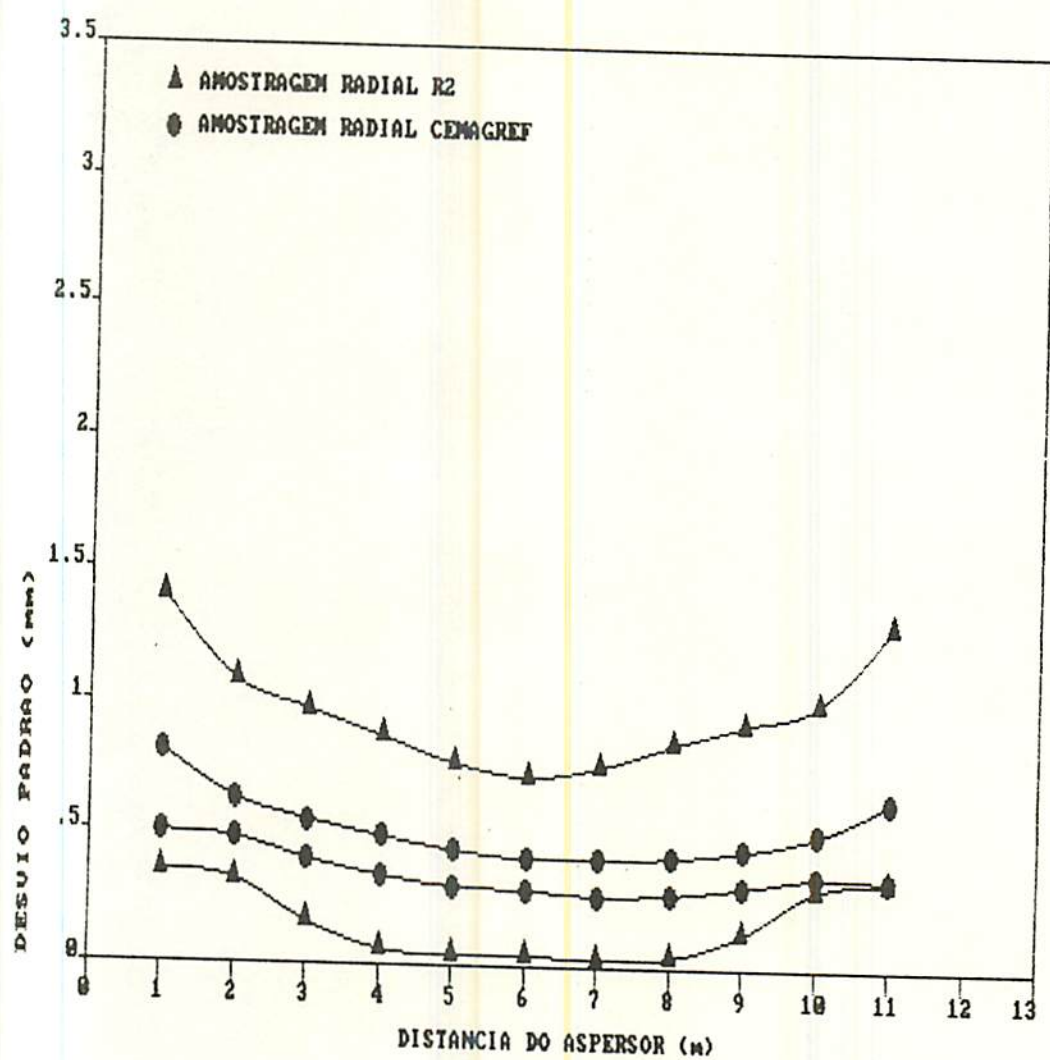


FIGURA-45: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial R2 e Radial CEMAGREF.



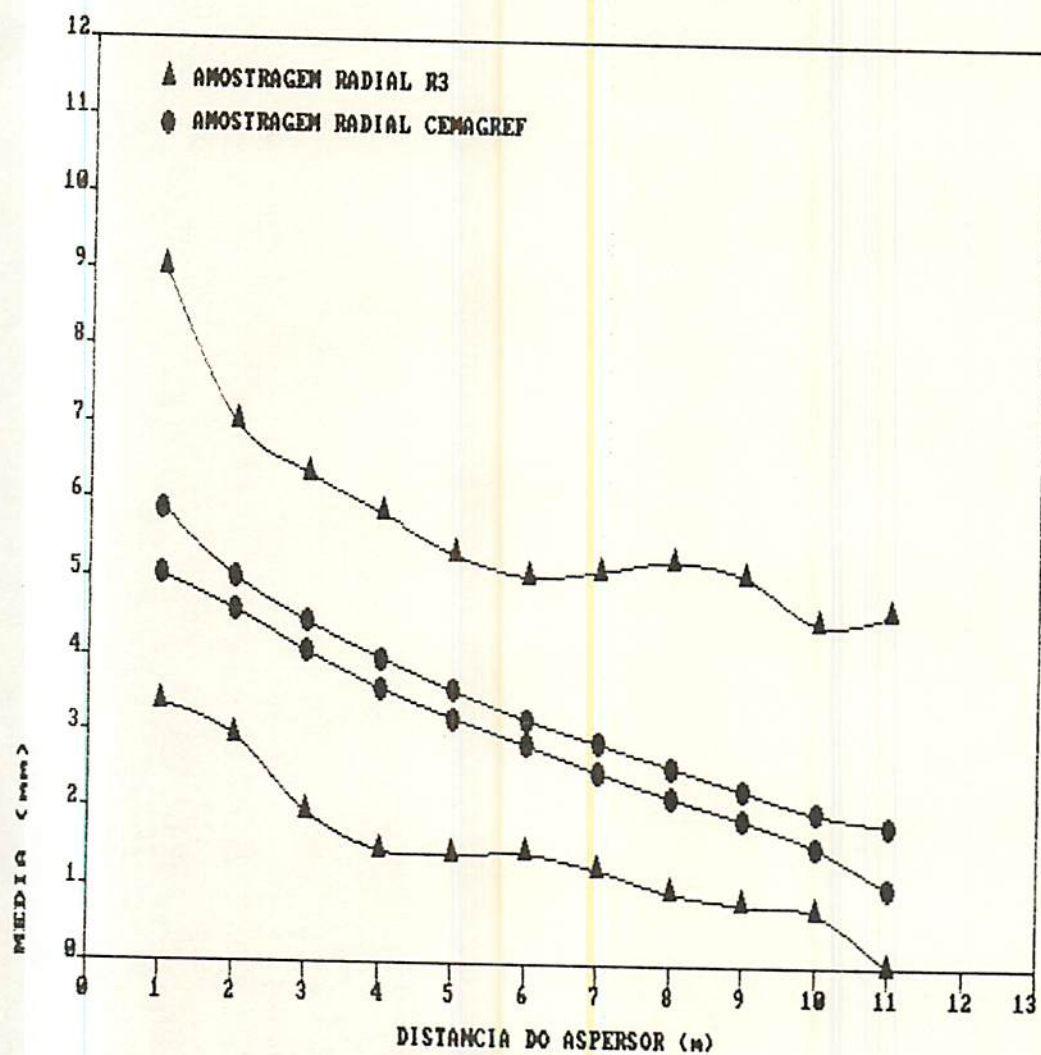


FIGURA-46: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial R3 e Radial CEMAGREF.

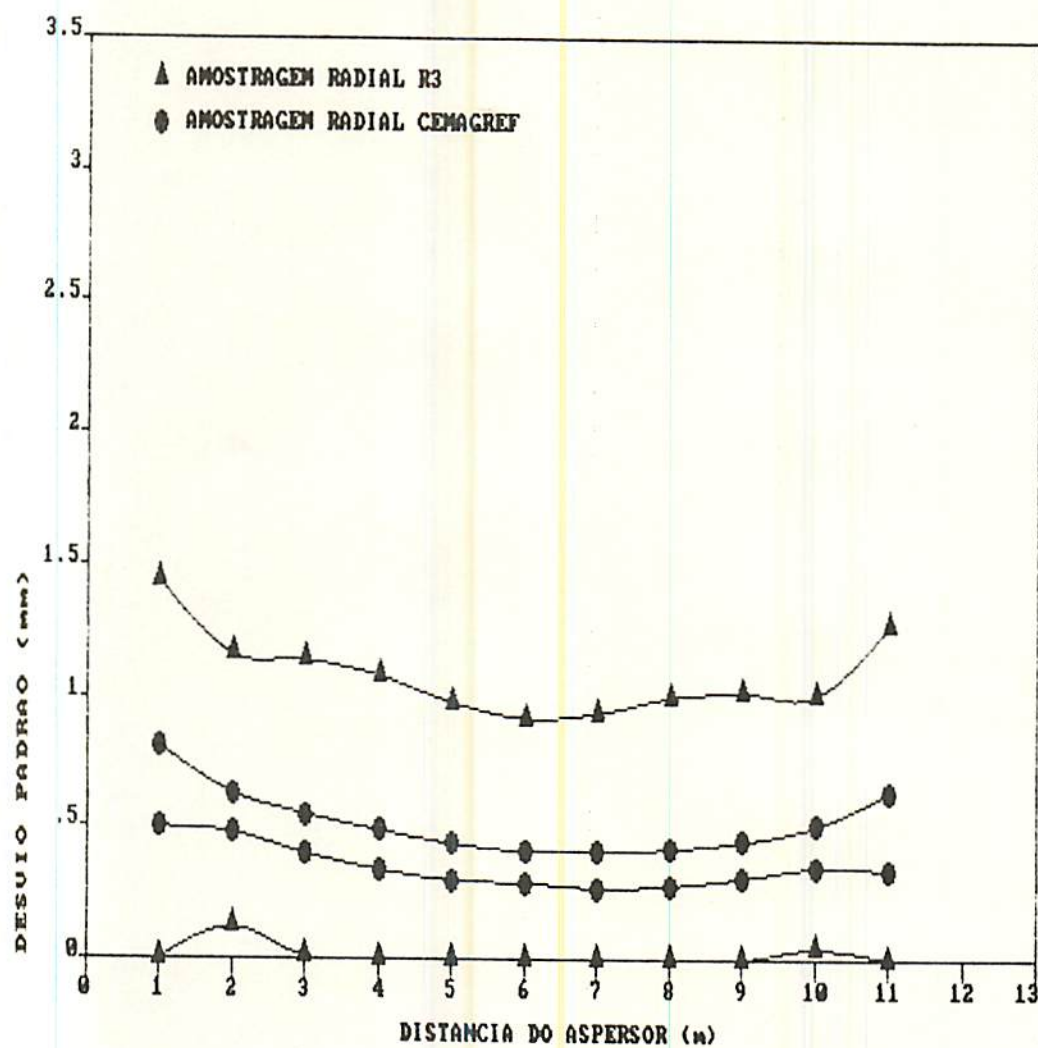


FIGURA-47: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial R3 e Radial CEMAGREF.

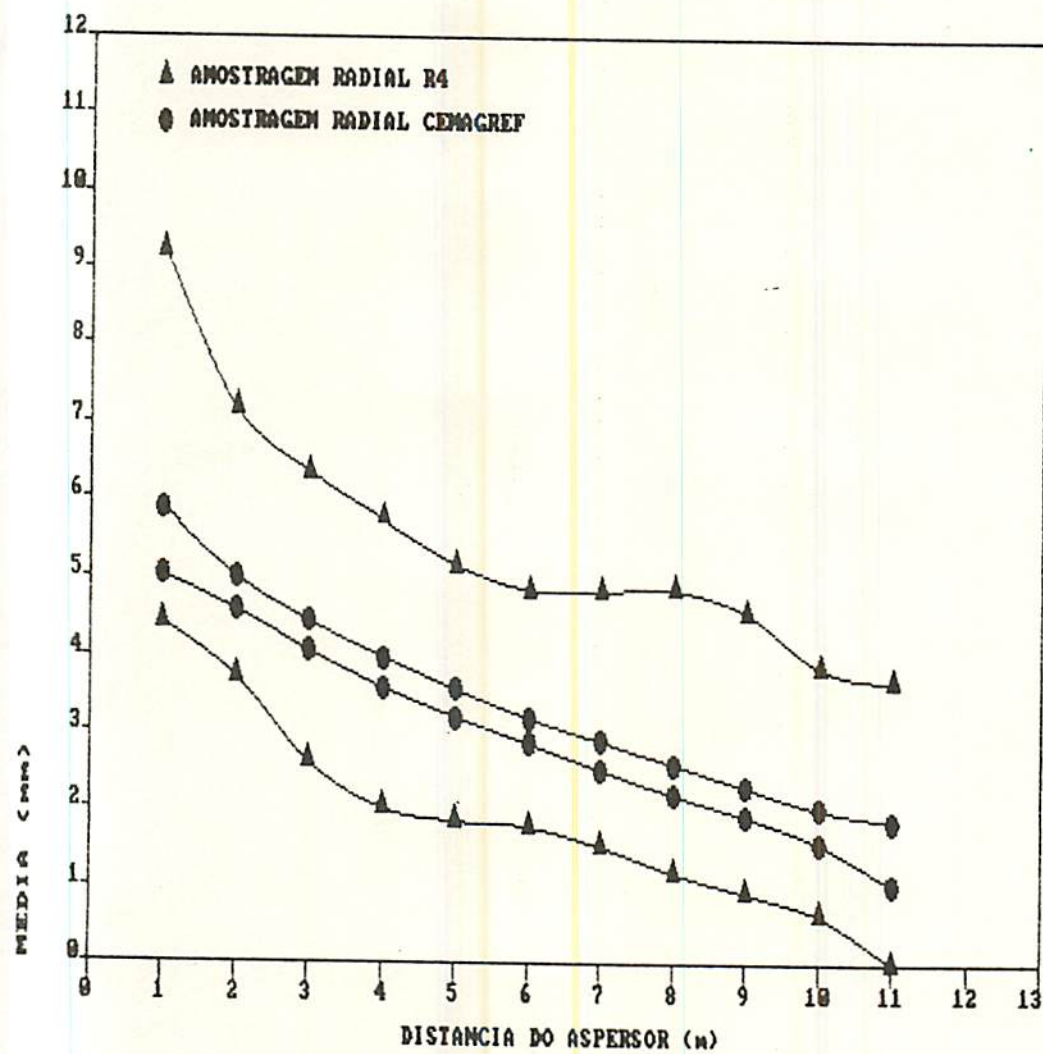


FIGURA-48: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função média de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial R4 e Radial CEMAGREF.

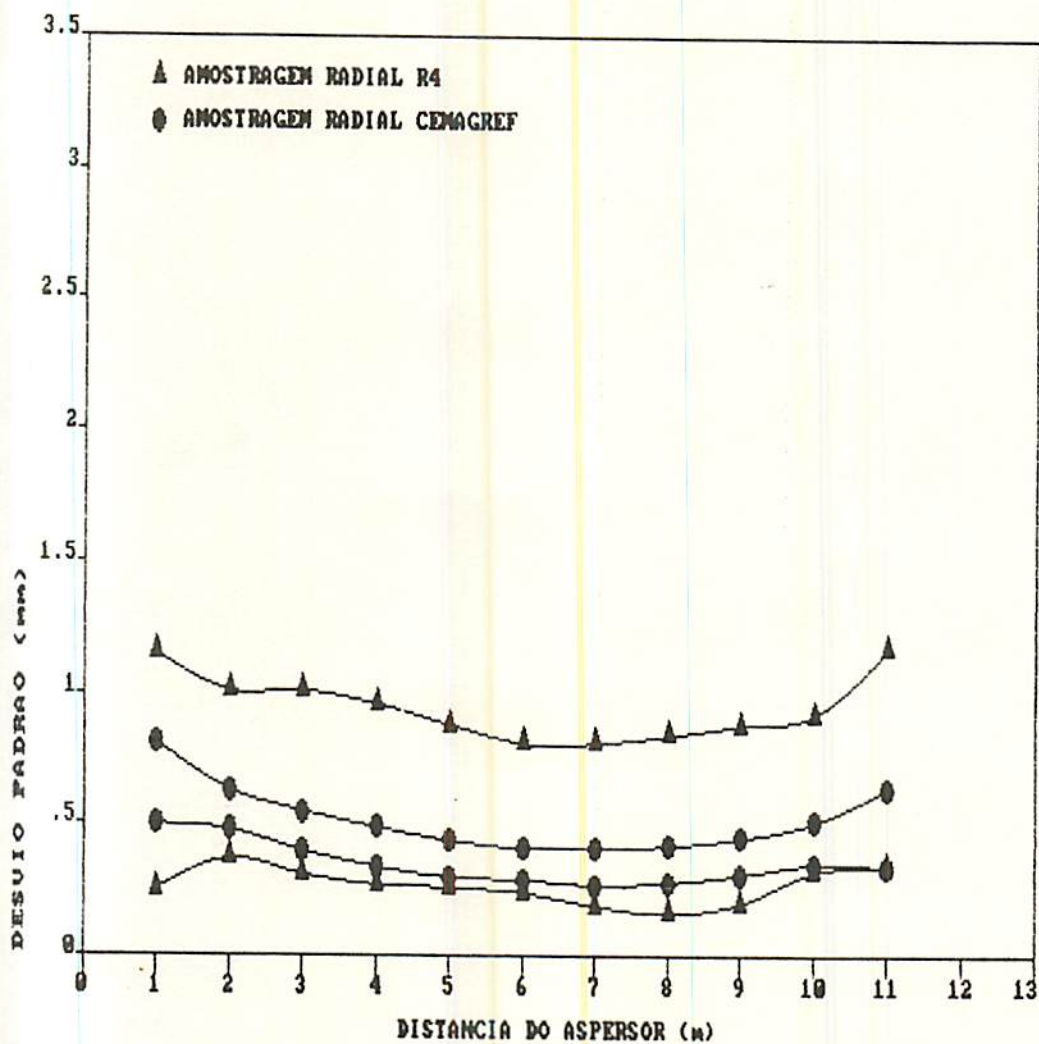


FIGURA-49: Sobreposição dos intervalos de confiança encontrados para a função desvio-padrão de lâminas coletadas para o método de amostragem Radial R4 e Radial CEMAGREF.



## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados da análise de comparação dos métodos de amostragem da distribuição de água pelo aspersor convencional, pode-se concluir que:

1. A variação do coeficiente de variação (CV) ao longo do perfil apresentou-se melhor para o método de amostragem Radial CEMAGREF.
2. Os resultados obtidos nos ensaios de distribuição com o método de amostragem Radial são equivalentes ao método tradicional de amostragem, ou seja, o método de amostragem em Malha. Pois verificou-se uma sobreposição dos intervalos de confiança para a função média e função desvio-padrão. Os mesmos resultados foram encontrados para as derivações R1, R2, R3 e R4.
3. O método de amostragem Radial CEMAGREF mostrou-se diferente do método de amostragem em Malha, pois não apresentou sobreposição de intervalo de confiança para a função média e função desvio-padrão.

4. O método de amostragem Radial CEMAGREF mostrou-se equivalente ao método de amostragem Radial e também a cada uma das respectivas derivações R1, R2, R3 e R4, quanto ao intervalo de confiança para a função média e função desvio-padrão.

5. Devido a facilidade de instalação e economia dos métodos de amostragem Radiais, os ensaios de uniformidade de aplicação de água de aspersores com distribuição dos coletores numa configuração Radial são bastante promissores, tendo ainda a vantagem adicional de viabilizar a realização de ensaios em locais fechados, na ausência de ventos.

6. Sugere-se que antes que se utilize a metodologia de amostragem Radial CEMAGREF, que se proceda a estudos mais aprofundados, envolvendo inclusive outras variáveis, com diferentes aspersores, pressões de serviço, altura do aspersor, para confirmar-se ou contestar a presente conclusão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Aspersores para irrigação / avaliação da distribuição de água*. NBR 8989. São Paulo, ABNT, 1985. 9p.
02. BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 5 ed., Viçosa. UFV, 1989. 596 p.
03. BILANSKI, W. K. & KIDDER, E. H. Factors that affect the distribution of water from a medium-pressure rotary irrigation sprinkler. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 1(1):19-28, 1958.
04. BRANSCHIED, V. D. & HART, W. E. Predicting field distributions of sprinkler systems. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 11(6): 801-808, Nov./Dec. 1968.
05. CHEN, D. & WALLENDER, W. W. Economic sprinkler selection, spacing and orientation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 27(3): 737-743, May./june. 1984.



06. CHRISTIANSEN, J. E. Discussion of "Nonuniformity and sprinkler application efficiency" of David T. Howell. *Journal of the Irrigation and Drainage ASCE*, Ann Arbor, 91(1): 224-6, 1965.
07. CHRISTIANSEN, J. E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley, Univ. of California, Experiment Station. 1942, 124p. (Bulletin, 670).
08. COELHO, R. D. *Regulagens de Aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas*. Piracicaba, ESALQ, 141 p. 1990. (Dissertação de Mestrado).
09. COELHO, R. D.;BOTREL, T. A.;OLITTA, A. F. L.. *Ensaio da uniformidade de aplicação de água dos aspersores, com disposição radial de coletores na área*. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, *Resumos*, Santa Maria, 1992.
10. DAKER, A. *A água na Agricultura: Manual de hidráulica agrícola, irrigação e drenagem*. 5 ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro. F. Bastos, 1976. v.3. 453p.



11. DAVIS, J. R. Measuring water distribution from sprinklers. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 9(1): 94-97, 1966.
12. FISCHER, G. R. & WALLENDER, W. W.. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, 31(92): 538-542, Mar./apr. 1988.
13. GRAYBILL, F. A. *Theory and application of the linear model*. Boston, Duxbury Press. 1976. 704 p.
14. HART, W. E. Overhead irrigation pattern parameters. *Agricultural Engineering*. St. Joseph, 42(7): 354-355, 1961.
15. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. *Capacitação da indústria nacional de equipamentos para irrigação*. São Paulo, IPT, 1987. (IPT. Relatório, 25307).
16. JAMES, B. R. *Probabilidade: Um curso em nível intermediário*. Brasília, CNPQ, 1981. 292 p.

17. KANNAN, D. An Introduction to Stochastic to Processes. 1 ed.,  
New York, 1979. 291 p.
18. KARLIN, S. & TAYLOR, H. M. Afirst Course in Stochastic  
processes, 2n Edition. New York, Academic Press, 1975. 553  
p.
19. KINCAID, D. C. Impact sprinkler pattern modification.  
Transactions of the ASAE, St. Joseph, 34(6): 2397-402,  
1991.
20. KINCAID, D. C. Sprinkler pattern radius. Transactions of the  
ASAE, St. Joseph, 25(6): 1668-72, Nov./Dec.1982.
21. LEONCE, R. Progetto delle reti de irrigazione. Bari,  
Istituto de Bari, 1978. 124 p. (mimeografado).
22. LOPEZ, J. Riego por Aspersion. Petrolina, R. M, 1975. 33p.
23. MARENK, T. H.;SCHNEIDER, A. D.;BAKER, S. M.; POPHAN, T. W.  
Accuracy of three sprinklers collectores. Transactions of  
the ASAE. St. Joseph, 28(4): 1191-1195, July./Aug.1985.

24. MARQUELLI, W. A. Escolha de aspersores e manejo de sistemas convencionais sob condições de vento. *Revista Item*. Brasília, n. 39, 19-21, Dez. 1989.
25. OLITTA, A. F. L. *Os métodos de Irrigação*. São Paulo, Nobel, 1977. 267 p.
26. PAIR, C. H. Water distribution under sprinkler irrigation. *Transactions of the ASAE*. St. Joseph, 14(5): 648-651, 1968.
27. RIBEIRO, A. F. L. *Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear*. Fortaleza: UFC, 89p. 1982. (Dissertação de Mestrado).
28. SATTO, J. *Avaliação do desempenho dos aspersores*. São Carlos, 1978. 77 p. (Dissertação de Mestrado).
29. SEGNER, I. Water losses during sprinkling. *Transactions of the ASAE.*, St. Joseph, 14(4):656-659, july./aug. 1971.

30. SEGNER, I.;NIR, D.;BERNUTH, R. D. Simulation of wind distorted sprinkler patterns. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 34(2): 286-306, 1991.
31. SEGNER, I.;KANTZ, D.;NIR, D.;BERNUTH, R. D. Indoor measurement of single-radius sprinkler patterns. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 35(2): 523-33, Mar./Apr. 1992.
32. SNEDECOR, G. W. & COCHRAN, W. G. Statistical methods. 7 ed., Ames, Iowa, U.S.A., 1985. 507p.
33. SOLOMON, K. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. Transactions of the ASAE. St. Joseph., 22(5): 1078-1080, Set./Oct. 1979.
34. VICTORIA, F. R. B. Avaliação de aspersores para operação em baixa pressão. Piracicaba, ESALQ, 130p. 1992. (dissertação de Mestrado).
35. WALKER, W. R. Explicit sprinklers irrigation uniformity efficiency model. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 105(2)129-136, 1979.



36. WIERSMA, J. L. Effect of wind variation on water distribution from rotating sprinklers. Brookings, South Dakota. Agricultural Experiment Station. 1955. 18p. (Bulletin.16).