

**Universidade de São Paulo**  
**Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Microaspersor com microtubos: um novo conceito hidráulico na  
irrigação localizada**

**Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba**  
**2008**

**Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida**  
Engenheiro Agrônomo

**Microaspersor com microtubos: um novo conceito hidráulico na irrigação localizada**

**Orientador:**  
**Prof. Dr. TARLEI ARRIEL BOTREL**

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem**

**Piracicaba**  
**2008**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Almeida, Ceres Duarte Guedes Cabral de  
Microaspersor com microtubos: um novo conceito hidráulico na irrigação localizada /  
Ceres Duarte Guedes Cabral de Almeida. - - Piracicaba, 2008.  
104 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2008.  
Bibliografia.

1. Hidráulica aplicada 2. Irrigação por microaspersão 3. Microtubos 4. Perda de  
carga I. Título

CDD 631.7  
A447m

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

## *Ofereço*

Aos meus pais, **Fausto e Mireile**, casal referência em minha vida, aos quais Deus confiou a responsabilidade do meu progresso moral, baseado no cumprimento da Lei de Deus, na educação e no amor incondicional.

Às minhas irmãs, **Conciana e Cecile** às quais Deus me reuniu à semelhança dos nossos pensamentos e juntas estaremos, sempre, participando intensamente umas das vidas das outras.

## *Dedico*

Ao meu esposo e melhor amigo, **Brivaldo**, cujo relacionamento é baseado em uma afeição sincera, como a de dois espíritos que se procuraram na multidão e que sob as Bênçãos de Deus mais uma vez se encontraram para enfrentar juntos os degraus da evolução espiritual. E, se assim for Sua vontade, estaremos juntos novamente por muitas encarnações, pois a sintonia existente entre nós me faz acreditar que o resultado será a plena felicidade.

*Ninguém pode ver o reino de Deus se não nascer de novo. Se um homem não renasce da água e do Espírito, não pode entrar no reino de Deus. (JOÃO, cap. III, v. 1 a 12.)*

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, minha família e por permitir sentir em meu dia-a-dia Sua presença e proteção.

Ao prof. Tarlei, meu mais profundo agradecimento. Na verdade, simples palavras são insuficientes para traduzir meu verdadeiro reconhecimento a todas suas ações exemplares durante esse tempo de convivência.

Ao prof. Frizzone pelos conhecimentos sempre transmitidos com tanto esmero e pela nossa amizade solidificada ao longo deste maravilhoso período que estive na ESALQ.

Aos meus amigos Sérgio Weine e Ana Livia pelo companheirismo e amizade sempre presentes, além do inabalável apoio durante todo curso.

Aos meus amigos de sala na ESALQ, Alexsandro, Miguel Isaac, Wanderley, Rogério, Tadeu, Tiago e Robson pela constante troca de experiência, amizade e incentivo e, especialmente a Antônio pela valiosa contribuição nos desenhos esquemáticos.

Aos colegas de turma Walesca, César, Manoel, Euro, Tales, Adalberto, Fabiana e Hudson pelo convívio profissional e pessoal tão valioso em nossas vidas.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela liberação de minhas atividades docentes e a CAPES pela concessão da bolsa, através do programa PICDT (Programa Institucional de Capacitação Docente e Técnica).

A ESALQ/USP pela infra-estrutura e suporte financeiro para o pleno desenvolvimento de nossa pesquisa.

Ao CNPq pela bolsa sanduíche concedida, o que viabilizou uma maravilhosa experiência profissional na Austrália.

Ao Prof. Rod Smith, meu orientador australiano, pelo verdadeiro apoio e constante disponibilidade em contribuir significativamente para o aprofundamento das discussões deste trabalho.

A empresa PLASNOVA Louveira Ind. Com. Ltda pela doação dos microtubos utilizados neste trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, pelas aulas que fundamentaram minha formação acadêmica, bem como, pela amizade presente no cotidiano tornando-se uma característica do nosso departamento.

Aos Funcionários do Departamento de Engenharia Rural pela constante boa vontade e disposição em solucionar todos os nossos problemas, Sr. Hélio, Sr. Antônio, Luis, Gilmar, Osvaldo, Davilmar, Beatriz, Sandra, Lúcia e Vanda.

Aos funcionários da Divisão de Biblioteca e Documentação, especialmente na Biblioteca Central, nas pessoas de Airton, Eliana, Silvia e Vilma, pela dedicação amorosa ao trabalho com permanente bom humor e excepcional qualidade de trabalho.

A todos os pós-graduandos que conheci ao longo deste período, tanto no Programa de Irrigação e Drenagem, como também de Entomologia, Genética, Solos, Produção Vegetal e Física do Ambiente Agrícola, pelos diálogos fortalecedores principalmente nos momentos de lazer.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	11
1 INTRODUÇÃO .....	13
Referências .....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
2.1 Agricultura Irrigada .....	17
2.2 Hidráulica de Microaspersor .....	18
2.3 Uso de Microtubos na Irrigação Localizada .....	20
2.4 Hidráulica de Microtubos .....	21
2.5 Dimensionamento de Linhas Laterais .....	25
2.6 Avaliação de sistemas de irrigação e do desempenho do emissor .....	27
2.7 Informática na agricultura .....	31
Referências .....	31
3 DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DE MICROTUBOS POR METODOLOGIA HIDRODINÂMICA .....	37
Resumo .....	37
Abstract .....	37
3.1 Introdução .....	38
3.2 Material e Métodos .....	40
3.3 Resultados e Discussão .....	44
3.3.1 Ensaios para determinação do diâmetro interno dos microtubos .....	44
3.3.2 Ensaios para determinação do diâmetro do tubo usado na linha lateral .....	47
3.4 Conclusões .....	48
Referências .....	48
4 CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DOS MICROTUBOS UTILIZADOS NA IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO .....	51
Resumo .....	51
Abstract .....	51
4.1 Introdução .....	52
4.2 Material e Métodos .....	53

4.3 Resultados e Discussão .....	59
4.3.1 Cálculos preliminares ao ensaio.....	59
4.3.2 Equações características dos emissores .....	60
4.3.3 Relação comprimento-pressão .....	63
4.3.4 Análise teórica do modelo proposto.....	64
4.4 Conclusões .....	66
Referências.....	66
5 DESENVOLVIMENTO DO DEFLETOR PARA O MICROASPELADOR.....	69
Resumo .....	69
Abstract .....	69
5.1 Introdução .....	70
5.2 Material e Métodos .....	72
5.3 Resultados e Discussão .....	75
5.4 Conclusões .....	79
Referências.....	80
6 AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DA VAZÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPELADOR COM MICROTUBOS.....	81
Resumo .....	81
Abstract .....	81
6.1 Introdução .....	82
6.2 Material e Métodos .....	85
6.3 Resultados e Discussão .....	90
6.4 Limitações das equações empíricas .....	94
6.5 Conclusões .....	96
Referências.....	97
ANEXOS .....	99



## RESUMO

### **Microaspersor com microtubos: um novo conceito hidráulico na irrigação localizada**

O microtubo é um emissor simples, de baixo custo, com a grande vantagem de melhor adaptação em condições de topografias onduladas e montanhosas, onde a pressão na linha lateral varia consideravelmente. Este estudo constitui a elaboração de um modelo para dimensionamento hidráulico de microaspersores, cujo emissor é um microtubo de tamanho variável. O fundamento teórico do estudo baseia-se na premissa da compensação da perda de carga na linha lateral e das diferenças topográficas do terreno, através da variação do comprimento do microtubo. Os objetivos específicos deste trabalho foram: determinar as características hidráulicas do microtubo; desenvolver um modelo para dimensionamento do sistema de irrigação proposto e sugerir um defletor para o microaspersor; avaliar a uniformidade de vazão ao longo de linhas laterais experimentais em declive e desenvolver uma planilha eletrônica, para dimensionamento de microtubos. Dois microtubos de diferentes diâmetros foram utilizados neste estudo. Entre as características hidráulicas determinadas, estão o diâmetro interno real, relação vazão-pressão e pressão-comprimento. A determinação do diâmetro interno médio dos microtubos foi realizada em laboratório através da medida de fluxo sob regime laminar e pelo projetor ótico de perfil. Uma equação resultante da combinação das equações de energia desenvolvida por Bernoulli e Darcy-Weisbach além da equação de Hagen-Poiseuille para cálculo do fator de atrito ( $f$ ), foi deduzida para cálculo do diâmetro. Uma bancada de ensaios foi montada para realização dos ensaios. Os experimentos foram realizados numa faixa de número de Reynolds entre 8000 e 17000, portanto regime de escoamento turbulento. A equação de Darcy-Weisbach foi utilizada para cálculo da perda de carga total e a equação de Blasius foi utilizada para cálculo do fator de atrito ( $f$ ). Duas laterais foram dimensionadas e instaladas em diferentes declividades (0,5 e 2,3 %). Medidas de dispersão foram utilizadas para avaliar e classificar o sistema de irrigação. Dois modelos de defletores foram desenvolvidos em laboratório, e avaliados em termos de distribuição espacial da água e facilidade construtiva. A análise dos resultados experimentais foi realizada em bases empíricas e teóricas. A avaliação hidrodinâmica do diâmetro dos microtubos aproximou-se muito da determinação através do projetor ótico de perfil, o que indica ser uma alternativa viável para o dimensionamento. A estimativa da pressão de operação do microaspersor baseada nas equações propostas foi bem próxima à pressão observada. O modelo empírico estimou o comprimento do microtubo em função da pressão com bastante precisão, consequentemente a uniformidade de vazão ao longo da lateral foi classificada como excelente em ambas as situações de declive, com coeficientes superiores a 95 %. Uma análise de sensibilidade para estimar as implicações no desempenho hidráulico do sistema, dos erros ou das mudanças nas variáveis envolvidas no dimensionamento, mostrou que o desempenho do emissor é extremamente sensível ao diâmetro do microtubo. Baseado nos resultados obtidos com os ensaios de distribuição pode-se afirmar que é necessário um maior aprofundamento no projeto do defletor do microaspersor. Em geral, a metodologia proposta oferece a possibilidade de ajustar quaisquer variações na carga de pressão ou na topografia do terreno e assim, obter vazão constante ao longo da linha lateral.

Palavras-chave: Hidráulica; Perda de carga; Uniformidade de distribuição; Darcy-Weisbach; Blasius



## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

