

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE UM TUBO  
EXSUDANTE PARA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

**HELBERT SILVA BATISTA**  
Engenheiro Agrícola

Campinas, SP  
Março de 2001

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS DE UM TUBO  
EXSUDANTE PARA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

**HELBERT SILVA BATISTA**  
Engenheiro Agrícola

**Orientador:**

**Prof. Dr. EDSON EIJI MATSURA**

Dissertação apresentada como cumprimento de parte das exigências para se obter o título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Água e Solo.

Campinas, SP

Março de 2001

" É graça divina começar bem.  
Graça maior persistir na caminhada certa.  
Mas graça das graças é não desistir nunca."

D. Helder Câmara

A minha mãe Maria de Lourdes  
Ao meu pai Raimundo  
A minha namorada Kelen  
A minha afilhada Mariana e sobrinho Juninho

Dedico.

A minha vó Raimunda e Tia Fátima  
Ao meu irmão Bebeto e cunhada Rosana  
A memória do meu vô Dindinho  
Aos tios João e Aparecida  
Ao Dilermando e Enólia

Ofereço.

## Agradecimentos

A Deus pela minha existência e constância de sua presença, comprovada na forma de saúde e força pra chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Edson Eiji Matsura, pela orientação e amizade recebida no decorrer do curso e na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Roberto Testezlaf, pela co-orientação, amizade e ensinamentos passados.

Aos amigos Rodrigo Oliva e Marcelo Calabria pelos vários anos de convivência e amizade.

Ao Prof. Dr. Dirceu Brasil Vieira, pela amizade, ensinamentos e empréstimo da estrutura física da FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL da UNICAMP.

Ao Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel pela participação na Banca de Defesa.

Ao Laboratório Multiusuário Fapesp 95/6401-7 do INSTITUTO DE GEOCIÊNCIA da UNICAMP, na pessoa do Prof. Dr. Roberto Perez Xavier, pela atenção e empréstimo do microscópio eletrônico de varredura.

A UNIVERSIDADE DE CAMPINAS, por intermédio da FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, e órgãos financiadores CNPQ e CAPES, pela oportunidade oferecida.

Aos colegas de curso, Sérgio, Laércio, Délvio, Néri, Claudinei, Cristiane, Fernanda, Calhau, Jane, Tânia, Carneiro, Brenner, Mancha, pela amizade e sugestões recebidas durante o decorrer do Mestrado.

Aos técnicos de laboratório e amigos, Túlio e Gelson.

As secretárias Aninha e Marta pela amizade e sempre presente atenção.

Aos Professores Dr. Roberto Braga e Dr. Giovanni Rabelo (UFLA) pelo incentivo e apoio.

A GLEP Empreendimentos e Participações LTDA, na pessoa do Sr. Guilherme Giorgi de Lacerda, pela doação do material usado nos testes.

A Gotejar Sistemas de Irrigação LTDA, nas pessoas de Domingos Sávio Afonso e Flávio Cooji Yamaguchi, pela confiança e apoio.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

## Sumário

LISTA DE FIGURAS .....	VIII
LISTA DE TABELAS .....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	X
RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	13
1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA .....	17
2.2 IRRIGAÇÃO POR TUBOS POROSOS .....	20
2.2.1 Princípio de funcionamento.....	20
2.2.2 Características hidráulicas .....	22
2.2.3 Comportamento da vazão ao longo do tempo de funcionamento .....	26
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	28
3.1 LOCAL .....	28
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO TUBO POROSO PORITEX® .....	29
3.3 PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO DA CAMADA DE RESINA.....	29
3.4 COMPORTAMENTO DA VAZÃO AO LONGO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO .....	33
3.4.1 Em laboratório .....	33
3.4.2 Em campo .....	34

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1 PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO DA CAMADA DE RESINA.....	35
4.2 COMPORTAMENTO DA VAZÃO AO LONGO DO TEMPO DE FUNCIONAMENTO .....	39
4.2.1 <i>Em laboratório</i> .....	39
4.2.2 <i>Em Campo</i> .....	43
5 CONCLUSÕES.....	45
APÊNDICES.....	46
6 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	56

## Lista de figuras

FIGURA 1 – CORTE TRANSVERSAL DE DOIS CANTEIROS IRRIGADOS COM UM SISTEMA DE POTES-DE-BARRO. ....	18
FIGURA 2 – ESQUEMA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR CÁPSULAS POROSAS, INSTALADO EM CAMPO. ....	19
FIGURA 3 - ESQUEMA DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR XIQUE-XIQUE, COM DETALHES DE SUA CONSTRUÇÃO. ....	20
FIGURA 4 – DETALHE DO TUBO POROSO PORITEX®, EXSUDANDO ÁGUA DE IRRIGAÇÃO. ....	21
FIGURA 5 – BANCADA DE TESTES ADAPTADA PARA LEVANTAMENTO DE DADOS DE VAZÃO X PRESSÃO EM TUBOS POROSOS. ....	30
FIGURA 6 E 7 – DETALHE DO TUBO POROSO INSERIDO NA CALHA DE PVC. ....	31
FIGURA 8 - DETALHES DO FILTRO, REGULADOR DE PRESSÃO E MANÔMETRO. ....	32
FIGURA 9 – ESQUEMA HIDRÁULICO DO ENSAIO DE CAMPO DO TUBO EXSUDANTE PORITEX®. ....	35
FIGURA 10 - DIMINUIÇÃO DA VAZÃO COM O TEMPO DE USO, PARA O TRECHO 00-06M, DA TUBULAÇÃO TESTEMUNHA. ....	37
FIGURA 11 - CORRELAÇÃO ENTRE A PRESSÃO E A VAZÃO COLETADA NOS 6M DE COMPRIMENTO DO TUBO POROSO PORITEX, AMACIADO COM O TRATAMENTO 1. ....	38
FIGURA 12 - RESULTADO DA VAZÃO DO TUBO PORITEX, QUANDO SUBMETIDO AS PRESSÕES DE 4, 6 E 8 M.C.A. DURANTE 108H DE USO CONTINUO. ....	39
FIGURA 13 - FOTOS TIRADAS NO MICROSCÓPIO ELETRÔNICO PARA A TUBULAÇÃO NOVA, E USADA NOS TESTES DE VERIFICAÇÃO DA VAZÃO COM O TEMPO DE FUNCIONAMENTO, COM DIFERENTES AUMENTOS. ....	41
FIGURA 14 – COMPORTAMENTO DA VAZÃO DO TUBO PORITEX, QUANDO SUBMETIDO AS PRESSÃO DE 6 M.C.A., DURANTE 48H DE USO CONTÍNUO, COM ÁGUA TRATADA E DE UM RESERVATÓRIO... ..	43



## Lista de tabelas

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DE “X” DE ACORDO COM O REGIME HIDRÁULICO/EMISSOR.....	23
TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE FABRICAÇÃO. ....	24
TABELA 3 - RISCO DE ENTUPIMENTO DE EMISSORES PELA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO. ....	27
TABELA 4 - TRATAMENTOS QUE FORAM PROPOSTOS NO TESTE DE AMACIAMENTO DO TUBO.....	30
TABELA 5 - COMPARAÇÃO DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO ENTRE O AMACIAMENTO UTILIZANDO O TRATAMENTO 1 E A TESTEMUNHA, NO TRECHO DE 00-06M. ....	36
TABELA 6 - COMPARAÇÃO DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO ENTRE O AMACIAMENTO UTILIZANDO O TRATAMENTO 1 E A TESTEMUNHA, NO TRECHO DE 24-30M. ....	36
TABELA 7 - COMPARAÇÃO DE MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO ENTRE O AMACIAMENTO UTILIZANDO O TRATAMENTO 1 E A TESTEMUNHA, NO TRECHO DE 42-48M. ....	36
TABELA 8 - RESULTADO DA VAZÃO DO TUBO PORITEX, QUANDO SUBMETIDO AS PRESSÕES DE 4, 6 E 8 M.C.A. DURANTE 108H DE USO CONTINUO. ....	39
TABELA 9 - ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO / QUÍMICOS DO MATERIAL CONTIDO NA TUBULAÇÃO USADA. ....	42
TABELA 10 - ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO / QUÍMICOS DA ÁGUA UTILIZADA NOS TESTES. .	42
TABELA 11 – DADOS DE VAZÃO X COMPRIMENTO DE 100M X PRESSÃO DE 6 M.C.A. PARA O TESTE DE CAMPO, DA TAXA DE VAZÃO, EM 48H DE CONTÍNUO FUNCIONAMENTO, UTILIZANDO ÁGUA TRATADA E DE RESERVATÓRIO.....	43

## Lista de símbolos

$q$ = Vazão ou descarga (l/h).....	22
$K$ = Coeficiente de descarga (constante, característico de cada emissor).....	22
$h$ = pressão na entrada do emissor (KPa).....	22
$x$ = Expoente de descarga (característico de cada emissor).....	22
$CV$ = Coeficiente de variação.....	24
$CVF$ = Coeficiente de variação de fabricação.....	25
$S$ = Desvio padrão da vazão média do emissor (l/h).....	25
$\bar{q}$ = Vazão média a uma pressão e temperatura padrão. ....	25
$Q_{min}$ = Vazão mínima.....	34
$Q_n$ = Vazão nominal.....	34

## Resumo

O desenvolvimento de sistemas de irrigação que apresentem uma alta eficiência de aplicação de água, e de técnicas de manejo que determinem a quantidade d'água ideal a ser aplicada em uma cultura irrigada, têm sido o objetivo de muitos pesquisadores. Pensando também desta forma, os fabricantes de tubos, gotejadores e microaspersores, têm buscado o desenvolvimento de novos equipamentos, utilizando várias estratégias, como o emprego de novas matérias-primas, ou ainda, o desenvolvimento de produtos com novos conceitos de emissão de água. No Brasil começou a ser comercializado um novo sistema de irrigação localizada, um tubo geo-textil poroso, que sobre baixas pressões de funcionamento deixa exsudar água por suas paredes. Atualmente pouca informação está disponível na literatura, principalmente quanto ao princípio hidráulico de funcionamento, não permitindo o correto dimensionamento deste sistema. Este trabalho objetivou determinar como o processo de amaciamento da camada de resina afeta o desempenho hidráulico deste tubo, e ainda verificar o comportamento da vazão ao longo do tempo de funcionamento em laboratório e no campo. Os ensaios foram realizados em duas etapas, sendo a primeira no Laboratório de Hidrologia, localizado na Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, e a segunda no Campo Experimental, localizado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Onde se obteve os seguintes resultados: Este tubo apresentou um coeficiente de variação de fabricação médio de 41.40% para a tubulação nova e 96.70% para a tubulação amaciada, caracterizando uma uniformidade de vazão inaceitável para ambos os casos, segundo classificação da ASAE (1993). A variabilidade da vazão encontrada em todas as pressões testadas, inviabilizou a geração de uma curva / equação característica deste tubo, pois a mesma não seria estatisticamente representativa. Tanto em teste de laboratório, como em campo, foi constatado a diminuição da taxa de vazão com o tempo de uso, sendo este efeito

mais pronunciado no ensaio que utilizou água de reservatório (não tratada). Finalmente, conclui-se que não foi observada nenhuma melhoria na uniformidade de vazão do tubo Poritex®, devido ao tratamento de amaciamento da camada de resina, realizado neste trabalho.

## Abstract

The development of irrigation systems that show a high efficiency of water application, and also management techniques that determine the ideal amount of water to be applied to an irrigated cultivation, have been many researcher's goal. Considering it, the manufacturers of pipes, drippers and sprinklers have sought the development of new equipment, using several strategies, like the application of new raw material or also, the development of products with new concepts of water emission. In Brazil, a new localized irrigation system has started to be commercialized, a porous geotextile pipe, which under low pressures of working let exude water through its revetment. Nowadays we have little information available in literature, specially about the hydraulic principle of working, it doesn't allow the correct dimension of this system. This work has intended to determine how the use, pressure and time process of the resin layer affects the hydraulic performance of this pipe, and also it has intended to verify the demeanor of the outflow during the working time in laboratory and in the field. The essays took place in two stages, the first one in the Hydrologic Laboratory, placed at Civil Engineering College of UNICAMP, and the second one at Experimental Field, placed at Agricultural Engineering College of UNICAMP. Were the following results were obtained: this pipe has shown a coefficient average variation off manufacture of 41% for the new pipes and 96,70% for the used pipes. It characterized a uniformity of unacceptable outflow for both the cases, according of the ASAE (1993) classification. The variability of the outflow which was found in all the experienced pressures, turned impracticable the creation of a curve / characteristic equation of this pipe, since this wouldn't be statistically representative. In laboratory test, and in field test as well, the decrease of the outflow was confirmed by the use time, this effect was pronounced best in the essay which used water of tank (non-treated water). Finally, it is concluded that no

improvement of the uniform outflow of Pritex®, pipe was noticed, because of the use treatment of resin layer, which was achieved in this work.

# 1 Introdução

Nos últimos anos, os recursos hídricos estão ficando cada vez mais escassos e comprometidos, por falta de um controle de sua qualidade, pelo uso indiscriminado, por políticas prejudiciais aos usos múltiplos das águas e pelas altas cargas poluidoras de origem urbana, industrial e agrícola. Impondo assim, a necessidade de se evitar que esta crescente escassez de água possa se constituir em um obstáculo para o desenvolvimento econômico e social, desafiando a agricultura irrigada a produzir mais usando menos água.

O desenvolvimento de sistemas de irrigação que apresentem alta eficiência de aplicação de água, e de técnicas de manejo que determinem a quantidade d'água ideal a ser aplicada em uma cultura irrigada, têm sido o objetivo de muitos pesquisadores, de maneira a incentivar os agricultores a adotarem medidas que permitam a otimização do uso da água, reduzindo assim os custos com a energia e manutenção de sua atividade, evitando desperdícios e, conseqüentemente, elevando seus lucros.

Os métodos de irrigação localizada se adaptam bem a estas situações, pois tem como características principais à aplicação de pequenas quantidades de água com alta freqüência e diretamente na zona radicular, mantendo a umidade próxima ao limite superior de disponibilidade de água, num determinado volume de solo. Atualmente, quem trabalha com esse sistema, não está considerando apenas a uniformidade de aplicação de água, mas está pensando também na nutrição completa e alguns tratamentos fitossanitários da planta através da irrigação.

Pensando também desta forma, os fabricantes de tubos, gotejadores e microaspersores, têm buscado o desenvolvimento de novos equipamentos, utilizando várias estratégias, como o emprego de novas matérias-primas, ou ainda, o desenvolvimento de produtos com novos

conceitos de emissão de água; todavia, em muitas vezes, esses equipamentos são gerados, produzidos e comercializados, sem uma prévia caracterização hidráulica.

Como a uniformidade de emissão de água dos emissores está diretamente ligada as suas características hidráulicas, torna-se de fundamental importância esta caracterização.

No Brasil começou a ser comercializado um novo equipamento de irrigação localizada, um tubo geo-textil poroso Poritex®, que sobre baixas pressões de funcionamento deixa exsudar água por suas paredes. Atualmente pouca informação está disponível na literatura, principalmente quanto ao princípio hidráulico de funcionamento, não permitindo o correto dimensionamento deste sistema. Este trabalho objetivou determinar como o processo de amaciamento da camada de resina afeta o desempenho hidráulico deste tubo, e ainda verificar o comportamento da vazão ao longo do tempo de funcionamento em laboratório e no campo.



## **2 Revisão de literatura**

### **2.1 Irrigação localizada**

Por irrigação localizada denominam-se os métodos de irrigação onde a água é aplicada ao solo diretamente sobre a região radicular, em pequena intensidade, porém com alta frequência, para manter o solo com umidade próxima da ideal, que é a capacidade de campo (COSTA et al., 1994).

Segundo BERNARDO (1989), a irrigação localizada é usada, em geral, sob a forma de sistema fixo, ou seja, o sistema é constituído de tantas linhas laterais quanto forem necessárias para suprir toda a área, isto é, não há movimentação das linhas laterais. Porém, somente determinado número de linhas laterais funciona por vez, a fim de minimizar a capacidade do cabeçal de controle. Em se tratando de sistemas fixos, seu custo torna-se mais elevado, o que limita seu uso somente para culturas nobres, ou seja, culturas com alta capacidade de retorno. Também o número de emissores, por unidade de área, afeta o custo do sistema, isto é, quanto maior for o espaçamento entre plantas, maior será o espaçamento entre emissores e menor será o custo do sistema.

Em geral, um sistema completo de irrigação localizada apresenta os seguintes componentes básicos: conjunto motobomba, cabeçal de controle, linhas de tubulações (de recalque, principal, secundária e lateral), válvulas e emissores (gotejadores e microaspersores).

Segundo HERNANDEZ (1999), no conceito geral de sistemas de irrigação localizada, ficam bem diferenciados os sistemas gotejamento e microaspersão. As diferenças fundamentais são: (A) o gotejamento aplica água em pontos, utilizando emissores denominados gotejadores; a microaspersão aplica água sobre uma pequena área circular ou setorial, através de emissores denominados microaspersores; (B) em gotejamento as vazões são de até 20l/h em cada ponto de

emissão, e em microaspersão de até 200l/h; (C) a seção de saída da água nos emissores varia em torno de 0,78 mm<sup>2</sup> em microaspersores e 0,12 mm<sup>2</sup> em gotejadores; (D) em microaspersão, como a seção de saída da água é maior que nos gotejadores, os sistemas de filtragem são mais simples.

O gotejamento e a microaspersão são os principais representantes dos sistemas de irrigação localizada em uso comercial. HERNANDEZ (1999) cita também o uso de sistemas, como: tubo gotejadores, tubos porosos e tubulações perfuradas.

Segundo PRONI (1987), existem técnicas para irrigação localizada bem simples, que levam em conta principalmente à economia de água e a escassez de recursos financeiros. Entre estas técnicas, as mais usuais são:

Potes-de-barro: É uma técnica muito antiga e que não exige conhecimentos especializados. Estes potes para a irrigação devem ser feitos de material mais poroso do que os de utilização doméstica para água potável. Essa porosidade é obtida misturando-se ao barro normal da cerâmica, esterco, areia ou pó de serra. Em geral, os potes de água têm capacidade para 15 litros de água. Devem ficar semi-enterrados e o sistema de funcionamento é simples: em contato com o solo seco, o pote libera água para manter o equilíbrio do potencial matricial do solo e dele. A Figura 1 mostra um sistema de potes-de-barro.

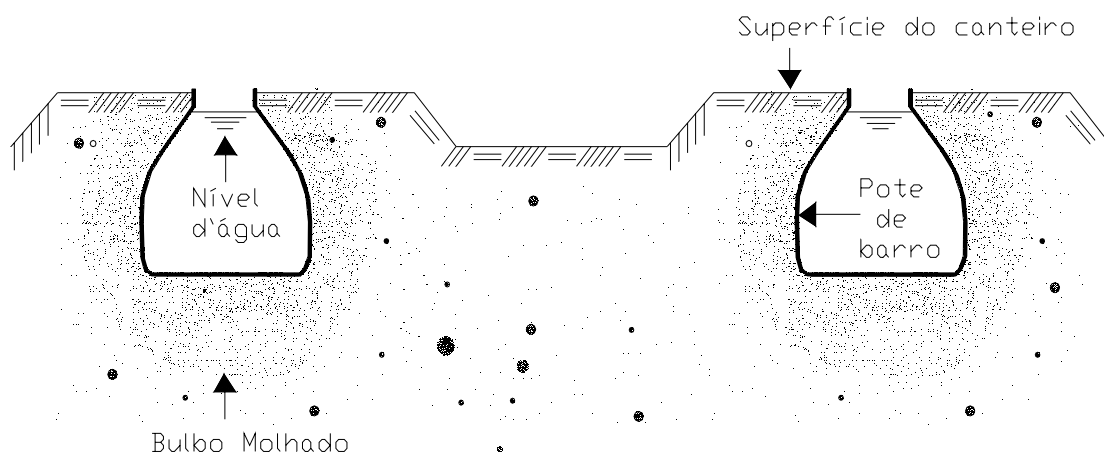


Figura 1 – Corte transversal de dois canteiros irrigados com um sistema de Potes-de-barro.

Cápsulas porosas: Requer um pouco mais de tecnologia em relação aos potes-de-barro, mas oferece a vantagem de uma vazão mais uniforme e maior liberação de água. É constituído de um reservatório de abastecimento, com bóia para manter o nível e possibilitar carga hidráulica constante nas cápsulas. Sob a bóia estende-se a linha principal e as linhas secundárias, de polietileno, onde estão localizadas as cápsulas porosas, enterradas a 10 cm de profundidade e distanciadas uma das outras em intervalos regulares. A Figura 2 mostra um sistema de Cápsulas porosas.

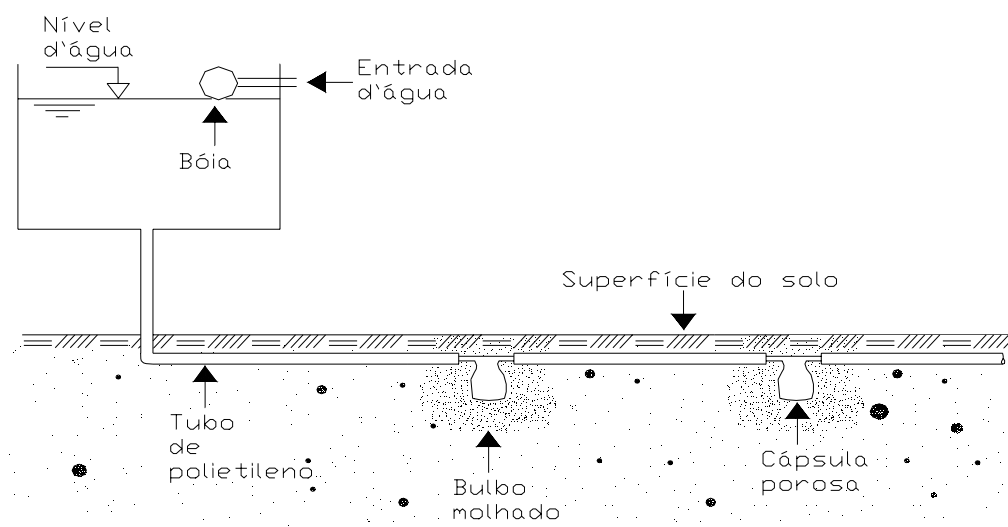


Figura 2 – Esquema de um sistema de irrigação por cápsulas porosas, instalado em campo.

Sistema xique-xique: Numa tubulação de polietileno são abertos pequenos orifícios, por meio de uma broca ou prego quente; sobre o orifício é colocada uma peça feita com um segmento do próprio tubo, de mais ou menos 2cm, cortado longitudinalmente. Tal capa ajuda a dissipar a pressão e evita que o líquido deixe o orifício sob forma de jato. Comumente é feito um pequeno buraco no solo para funcionar como bacia de infiltração. Evidentemente, trata-se de um sistema rudimentar, pois a vazão de cada orifício depende do seu diâmetro interno, acabamento e ainda da pressão exercida pela capa. Todavia, além do baixo custo, os orifícios são maiores, a obstrução é mais difícil, o que permite utilizar uma filtragem menos rigorosa. A Figura 3 mostra o esquema

de um sistema xique-xique.

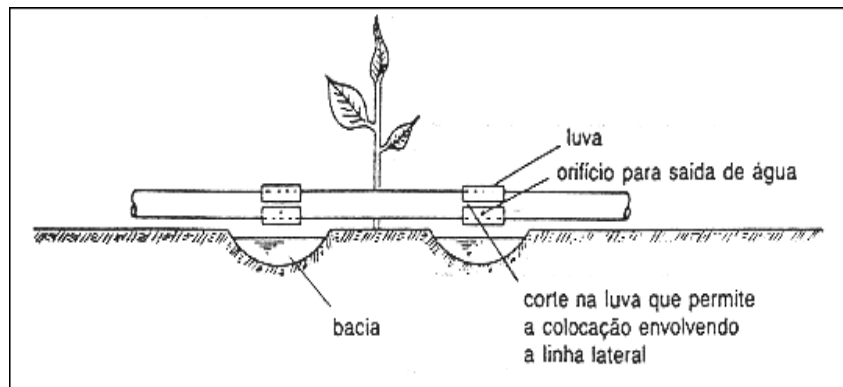


Figura 3 - Esquema de um sistema de irrigação por xique-xique, com detalhes de sua construção.

Verificando este breve histórico da irrigação localizada, podemos observar o quanto esses sistemas evoluíram se compararmos com os equipamentos hoje existentes, principalmente quando se fala de irrigação por gotejamento e microaspersão. Pensando não só em aprimorar estes sistemas, várias pesquisas estão sendo realizadas com intuito de desenvolver sistemas com novos conceitos de emissão, desta forma torna-se de grande importância trabalhos que os avaliem.

## **2.2 Irrigação por tubos porosos**

### **2.2.1 Princípio de funcionamento**

De acordo com <http://www.ruralnet.com.br/poritex/aspectos.htm>, foi através da observação das antigas mangueiras de bombeiro, quando estas ainda eram feitas de fibras naturais, que verificou-se que quando a água passava pelas fibras, estas iam se dilatando e limitavam a perda de água pelos seus poros. Chegando-se então a conclusão que se tivéssemos uma mangueira têxtil, esta seria leve, flexível e de fácil manejo, e ainda se a fibra têxtil utilizada fosse de um material resistente, teríamos uma boa resistência na mangueira e também uma boa durabilidade, e assim chegou-se ao tubo poroso Poritex® (Figura 4).



Figura 4 – Detalhe do tubo poroso Poritex®, exsudando água de irrigação.

De acordo com o fabricante, a primeira irrigação neste sistema de tubos porosos é muito importante, ela deve ser feita a uma pressão bem baixa (2 m.c.a.), e ter uma duração de pelo menos 4 horas. Este procedimento é indicado para que a resina se acomode e se dilate por igual. Pois, se esta for feita à altas pressões, poderá ocorrer que a água faça um caminho na resina e provoque uma espécie de furo onde depois sempre haverá um pequeno esguicho ao invés de um poro que exsuda.

MORAES (1998) recomenda, que se faça maiores investigações quanto este processo de estabilização da camada de resina, visando responder as seguintes questões: Quanto tempo realmente é necessário? A estabilização é definitiva, ou pode ser revertida por alguma razão? Ela ocorre de forma homogênea ao longo do tubo?

A caracterização deste tubo quanto ao processo de estabilização da camada de resina é de grande importância para sua caracterização hidráulica, pois segundo o fabricante a sua uniformidade de vazão esta diretamente ligada a este processo.

## **2.2.2 Características hidráulicas**

### **2.2.2.1 Curva característica de vazão x pressão**

Para se ter uma relação entre a vazão e a pressão aplicada é gerada uma curva característica do emissor, onde se faz uma regressão e obtém-se a equação característica deste tubo, que é um importante dado para se prever o comportamento da vazão em relação a variação da pressão no emissor em questão.

BETTINI (1999), define que emissores são peças que recebem a água da linha lateral e a distribuem ao ambiente, sendo provavelmente os componentes mais importantes dos sistemas de irrigação localizada, pois, afinal são eles que garantirão ou não a precisão de aplicação de água e fertilizantes tão fundamental na agricultura irrigada. Todos emissores tem uma equação que relaciona pressão e vazão segundo suas características construtivas, esta relação é dada pela Equação 1.

$$q = K.h^x \dots\dots\dots\text{Equação 1}$$

onde:

q = Vazão ou descarga (l/h);

K = Coeficiente de descarga (constante, característico de cada emissor);

h = Pressão na entrada do emissor (KPa);

x = Expoente de descarga (característico de cada emissor).

Esta equação (especialmente, o expoente de descarga x) é muito importante, pois permite classificar os tipos e a qualidade dos emissores quanto a sua uniformidade de aplicação de água.

Para isso, tem-se a Tabela 1:

Tabela 1 - Classificação de “x” de acordo com o regime hidráulico/emissor.

<b>Regime hidráulico/emissor</b>	<b>Valores de “x”</b>
Regime laminar/microtubo, helicoidal	1
Regime turbulento/labirinto, orifício	0,5
Autocompensante ideal	0

Fonte: BETTINI (1999).

Quanto menor o valor do expoente da pressão, na equação que descreve o comportamento do emissor na relação pressão-vazão, menor será a sensibilidade da vazão às variações de pressão neste. Nos emissores que apresentam sistema auto-compensante o expoente “x” é menor que 0,5, tendendo a zero, e quando este for próximo de zero o emissor terá sua equação de relação vazão-pressão representada por uma reta paralela ao eixo das abscissas, ou seja, a vazão será a mesma, independentemente da pressão. Entretanto, um outro emissor com expoente “x” igual a 1,0 será representado por uma reta, onde neste caso a vazão varia linearmente com a pressão.

MORAES (1998) testando um tubo poroso Poritex®, encontrou um expoente “x” igual a 1,5773, indicando que a vazão é sensível as variações de pressão.

YODER & MOTE (1995) também testaram um tubo poroso fabricado de material reciclado de pneu e polietileno virgem. O teste foi feito para determinar a variação da vazão com a pressão e com o comprimento da tubulação . Os autores observaram que a vazão teve um comportamento linear ao longo do tubo quando se trabalhou a uma pressão de 69 KPa e relativamente linear a pressões mais baixas. Já a pressões acima deste valor foram encontrados valores de vazões mais altas. Com base nos coeficientes de variação de vazão os autores concluíram que o tubo se enquadrava no nível aceitável de acordo com a ASAE Standard EP405.1, e a um nível inaceitável de acordo com BRALTS (1986), para a uniformidade de vazão.

O levantamento da curva característica de um emissor de irrigação é de suma importância, principalmente para o projetista, pois fica impossível dimensionar um sistema se não soubermos qual a vazão do mesmo quando submetido a uma determinada pressão.

### 2.2.2.2 Coeficiente de variação de fabricação

A variação de fabricação entre os tubos porosos para irrigação é um fator muito importante, e que influencia na uniformidade de aplicação de água do sistema. O material com que é construído e o cuidado com que é fabricado, determina a variação esperada na porosidade do tubo. Como o controle direto da porosidade do material durante a fabricação não é possível, pouco se conhece sobre a uniformidade de vazão desses tubos (TEELUCK & SUTTON, 1998).

ASAE (1993) apresenta uma tabela de classificação dos emissores quanto a sua uniformidade de fabricação, baseado no coeficiente de variação (CV) dos mesmos (Tabela 2). Nesta tabela, define-se emissores com saída pontual, como sendo um emissor onde a água é aplicada em pontos de emissão que estão individualmente ou relativamente espaçados, usualmente acima de 1m, e emissores com saída em faixa contínua, como sendo emissores onde a água é aplicada por perfurações espaçadas bem próximas, por emissores ou pela parede porosa ao longo da linha lateral.

Tabela 2 - Classificação da uniformidade de fabricação.

<b>Tipo de emissor</b>	<b>Cv</b>	<b>Interpretação</b>
Emissores com saída pontual	< 0,05	Excelente
	0,05 – 0,07	Médio
	0,07 – 0,11	Marginal
	0,11 – 0,15	Deficiente
	> 0,15	Inaceitável
Emissores com saída em faixa contínua	< 0,10	Bom
	0,10 – 0,20	Média
	> 0,20	Marginal / Inaceitável

Fonte: ASAE (1993)



O coeficiente de variação de fabricação segundo KELLER & BLEISNER (1990), pode ser determinado através da Equação 2.

$$CVF = \frac{S}{\bar{q}} \cdot 100 \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

Onde:

CVF = Coeficiente de variação de fabricação (%);

S = Desvio padrão da vazão média do emissor (l/h);

$\bar{q}$  = Vazão média a uma pressão e temperatura padrão (l/h).

O CVF nos tubos emissores é calculado usando parâmetros que leva em consideração a vazão dos emissores individualmente. Para o caso do tubo poroso que apresenta uma emissão contínua de água ao longo da tubulação, os parâmetros que são utilizados para calcular o CVF do tubo poroso, levam em consideração a vazão a cada metro de tubo poroso, (SMAJSTRLA 1992).

TEELUCK & SUTTON (1998), testaram em laboratório um tubo poroso fabricado com material reciclado de pneu de automóvel, para estudar sua eficiência no uso como microirrigação lateral. Foram testados os efeitos de se filtrar ou não a água (de torneira) utilizada na irrigação a duas pressões operacionais de 10 e 20 Kpa, determinando-se a variação dessas vazões com o tempo. Esses autores concluíram que os testes de uniformidade de emissão revelaram valores de coeficiente de variação (CV) muito altos, até mesmo com a filtragem da água, os coeficientes de variação ficaram entre 20 e 35%, mostrando uma variação intrínseca do produto. Estes valores de CV aumentaram com o tempo alcançando valores entre 24 a 48% até o término do teste, mostrando assim que o produto não possui uma porosidade uniforme em função do comprimento e que não há nenhuma melhoria da permeabilidade deste material com o tempo.

MORAES (1998), em teste de laboratório com um tubo geo-têxtil poroso Poritex®, usou para o cálculo do CVF valores de pressão de 0,5 a 6,0 m.c.a., com variação de 0,5 em 0,5 m.c.a.. O tubo poroso apresentou um coeficiente de variação de fabricação (CVF) de 79,81%, caracterizando uma uniformidade de vazão inaceitável segundo a classificação da ABNT (1986).

É de fundamental importância se conhecer o CVF dos equipamentos de irrigação, uma vez que o mesmo está diretamente ligado ao controle de qualidade na linha de produção, e muito influencia na uniformidade de aplicação de água do sistema, e conseqüentemente, na qualidade da irrigação.

### ***2.2.3 Comportamento da vazão ao longo do tempo de funcionamento***

No Brasil, são poucos os trabalhos quanto ao potencial risco de entupimento, principalmente quando se trata de irrigação localizada utilizando tubos porosos. Na irrigação por gotejamento o problema mais comumente encontrado em campo é o entupimento parcial dos emissores, apresentando o inconveniente adicional de não ser perceptível visualmente, dificultando a tomada de práticas para o equacionamento do problema. Por estes motivos, o entupimento de emissores tem recebido considerável atenção em países que usam este método de irrigação mais intensamente como é o caso dos Estados Unidos e de Israel. (RESENDE 1999).

Segundo PIZARRO (1996), atualmente não se dispõe de um método seguro para avaliar o risco de entupimento decorrente de uma determinada água. O problema ocorre porque alguns fatores inconvenientes são variáveis, como a temperatura, que influencia na formação de precipitados e no desenvolvimento de microorganismos, além de outros problemas que não dependem da origem da água, mas sim dos produtos que por ventura são adicionados na água, como os fertilizantes.

O entupimento de emissores causado por aspectos físicos relaciona-se principalmente à presença de partículas inorgânicas suspensas, como areia, silte e argila, partículas de origem orgânica também são freqüentes, como formigas, lesmas, ovos de larvas, etc. NAKAYAMA e BUCKS (1991), apresentam uma classificação de caráter quantitativo para a água, indicando critérios para avaliação do risco de entupimento de emissores (Tabela 3).

Tabela 3 - Risco de entupimento de emissores pela água de irrigação.

<b>Tipo de problema</b>	<b>Reduzido</b>	<b>Médio</b>	<b>Alto</b>
<b>Físicos</b>			
Sólidos suspensos – mg/L	<50	50 – 100	>100
<b>Químicos</b>			
pH	<7,0	7,0 – 8,0	>8,0
Sólidos dissolvidos – mg/L	<500	500 – 2.000	>2.000
Manganês – mg/L	<0,1	0,1 – 1,5	>1,5
Ferro total – mg/L	<0,2	0,2 – 1,5	>1,5
Sulfeto de hidrogênio – mg/L	<0,2	0,2 – 2,0	>2,0
<b>Biológico</b>			
População bacteriana – n <sup>o</sup> /mL	<10.000	10.000 – 50.000	>50.000

Fonte: Nakayama e Bucks (1991)

GUROVICH (2000), determinou experimentalmente as curvas de vazão x pressão de comprimentos de 3 a 10m de um tubo poroso novo e com um ano de uso, durante 24h contínuas e coletando toda a água exsudada no comprimento em diferentes tempos. A qualidade da água de irrigação utilizada foi monitorada durante todo o ano, para estabelecer a origem de possíveis restrições na tubulação porosa. E chegou a conclusão, que a diferença de vazão, entre o tubo novo e com um ano de uso, para as diferentes pressões testadas (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 7,0; 10,0 m.c.a.) foram muito pequenas (Desvio padrão 3,3 a 5,1%), salvo para o caso da pressão de 0,5 m.c.a. Porém o autor encontrou uma alta variação na vazão (1 a 35 l/h/m) na faixa de pressão testada (0,5 a 10,0 m.c.a.).

SMAJSTRLA (1992), comparou a taxa de vazão em três diferentes marcas de tubos porosos, quando submetidos a um tempo de uso de 1 a 2 anos utilizando água tratada, e concluiu que taxas de emissão foram diminuindo com o tempo até alcançar uma taxa estável.

Já em cultivo protegido, JUNIOR (1999) comparou o desempenho de um tubo geo-têxtil poroso instalado tanto na superfície do solo como enterrado, em relação ao uso de tubogotejador e gotejador “on-line” dispostos sobre o solo, utilizando como indicador a produtividade da cultura do pepino (híbrido Hokuho KY). Os tratamentos com emissores dispostos na superfície apresentaram um número menor de irrigações, com turnos maiores. Nos tratamentos com tubo geo-têxtil poroso enterrado, o número de irrigações foi elevado, indicando perda por percolação profunda.

Como pode-se notar, alguns autores já observaram diminuições da vazão com o tempo, quando trabalharam com tubos porosos, validando a necessidade de se avaliar essa característica. Esta avaliação se torna imprescindível quando falamos de manejo do sistema de irrigação, pois se o sistema foi projetado para proporcionar uma determinada vazão quando submetido a certa pressão e qualidade de água, e com o passar do tempo de uso essa vazão diminui para a mesma pressão e qualidade de água, isso pode causar grandes prejuízos a cultura ou dependendo da taxa de diminuição da vazão, até mesmo inviabilizar a utilização do sistema.

### **3 Material e Métodos**

#### **3.1 Local**

O presente trabalho foi realizado em duas etapas, sendo a primeira no Laboratório de Hidrologia, localizado na Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP, e a segunda no Campo Experimental, localizado na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP.

### **3.2 Caracterização do tubo poroso Poritex®**

Segundo catálogo do fabricante, o tubo poroso Poritex® trabalha a uma faixa de pressão de operação entre 2 a 8 m.c.a., o que corresponde a uma vazão de 1 a 4 l/h/m. Apresenta uma pressão de rompimento de 15 Kgf/cm<sup>2</sup> para amostras novas e 10 Kgf/cm<sup>2</sup> para amostras após 5 anos de uso, ruptura por tração de 145 Kgf para amostras novas e 95 Kgf para amostras após 5 anos de uso, seu peso aproximado é de 20 g/m e apresenta também boa resistência aos raios ultra violeta. MORAES (1998) encontrou um diâmetro médio interno de 14,21mm para o tubo Poritex® quando submetido à faixa de pressão recomendada pelo fabricante.

A primeira irrigação neste sistema é muito importante, ela deve ser feita a uma pressão bem baixa (2 m.c.a.), e ter uma duração de pelo menos 4 horas. Este procedimento é indicado para que a resina se acomode e se dilate por igual. Pois, se esta for feita à altas pressões, poderá ocorrer que a água faça um caminho na resina e provoque uma espécie de furo onde depois sempre haverá um pequeno esguicho ao invés de um poro que exsuda.

### **3.3 Processo de estabilização da camada de resina**

O teste de estabilização da camada de resina foi idealizado, visando auxiliar o tempo ideal que se deve deixar a tubulação em fase de amaciamento, pois, como já citado anteriormente existe uma recomendação que é feita pelo fabricante.

Para a realização deste teste foram retiradas 18 amostras de 50m de comprimento de rolos de tubo geo-têxtil poroso Poritex® com 200m de comprimento cada. Onde se pretendia realizar 6 tratamentos e uma testemunha, com 3 repetições cada (Tabela 4).

Tabela 4 - Tratamentos que foram propostos no teste de amaciamento do tubo.

Tratamento	Pressão de Amaciamento (m.c.a.)	Tempo de amaciamento (horas)
Testemunha	Sem amaciamento	Sem amaciamento
1	2	4
2	2	8
3	3	4
4	3	8
5	4	4
6	4	8

Após realizado o tratamento 1 de amaciamento da camada de resina (Tabela 4), foram coletados os dados de vazão para as pressões de 2, 3, 4, 5 e 6m.c.a., utilizando-se três repetições de comprimentos de 6 metros retirados no começo (00-06m), meio (24-30m) e fim (42-48) da tubulação amaciada de acordo com o tratamento 1 e a tubulação nova (testemunha).

Os dados de vazão X pressão em tubos gotejadores são gerados medindo-se a vazão dos emissores individualmente, já para o tubo poroso em questão, por causa da emissão contínua de água ao longo da tubulação, foi confeccionada a bancada de teste (Figura 5) adaptada de um módulo utilizado para gotejadores, coletando-se as vazões em cada metro de tubulação.

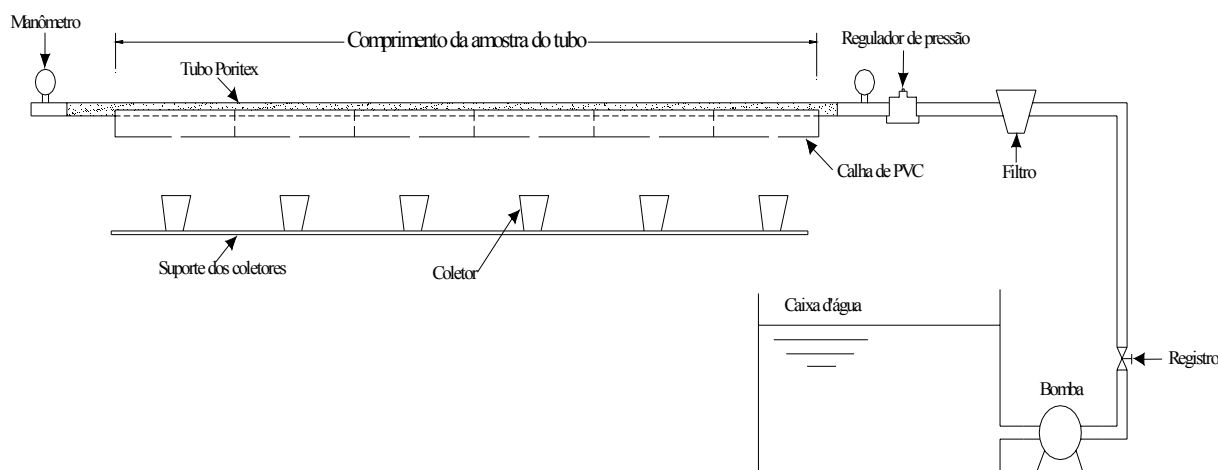
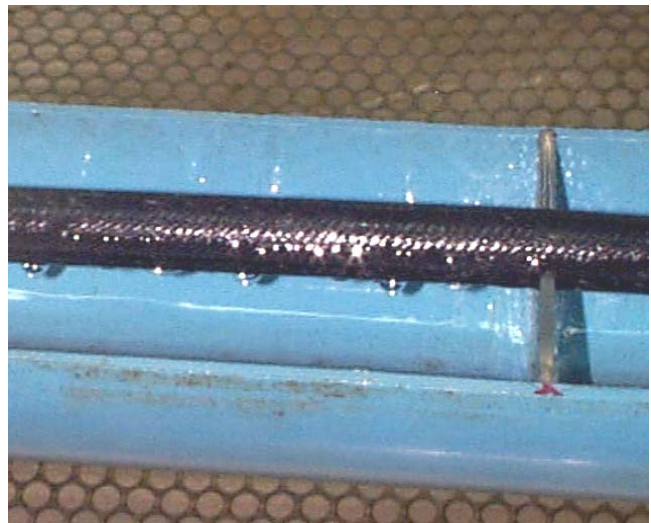
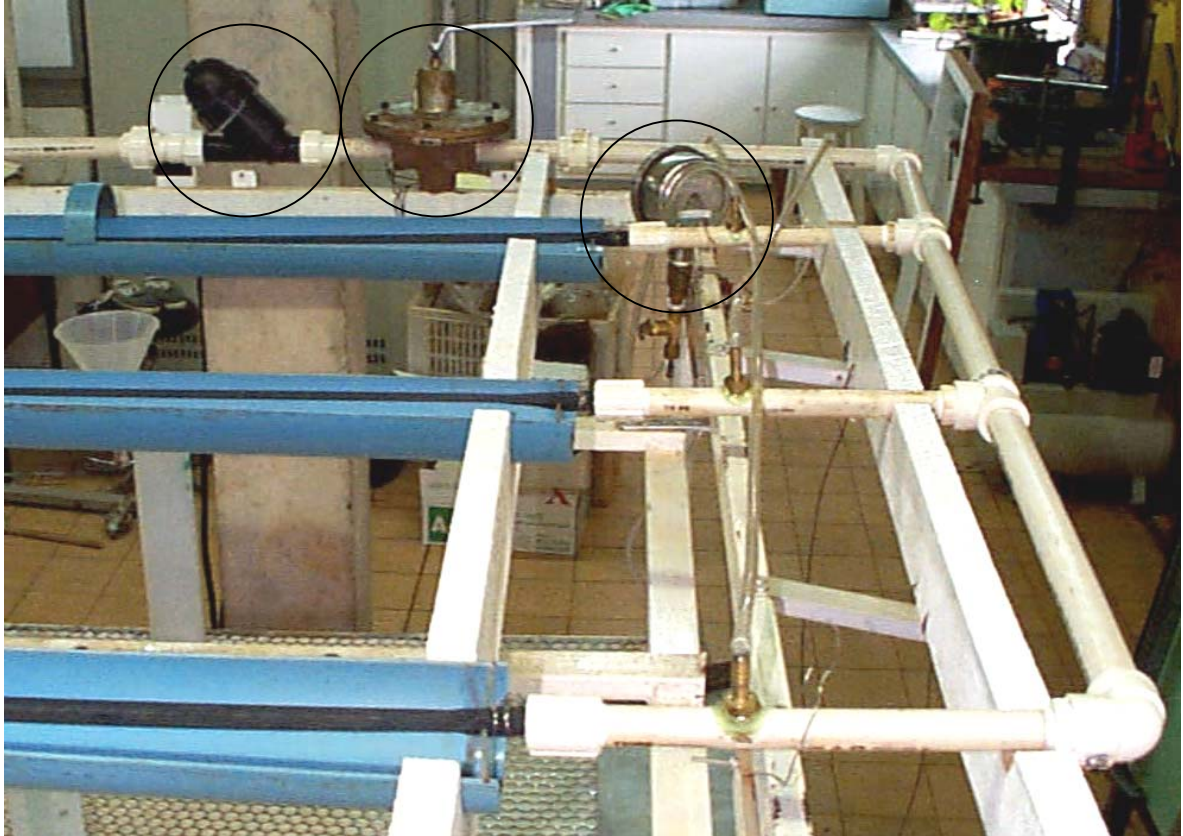


Figura 5 – Bancada de testes adaptada para levantamento de dados de vazão X pressão em tubos porosos.

Onde, esta bancada constava de uma calha que foi feita de um tubo de PVC de 65mm de diâmetro, partido ao meio. Esta calha foi dividida em seis partes de um metro cada, onde esta divisão foi feita com pedaços de acrílico cortados no formato da calha e colados na mesma. Nestas divisórias foram feitas aberturas de 10mm de diâmetro em formato semicircular, onde o tubo poroso Poritex® foi alojado (Figura 6 e 7), para garantir que a água não ultrapassasse de uma divisória para outra. O abastecimento de água do sistema foi feito através de um conjunto motobomba KSB (Hydrobloc C 1500) que retirava água de uma caixa d'água, abastecia toda a tubulação e retornava novamente para a caixa d'água (Circuito fechado). Entre a caixa d'água e a tubulação, foi colocado um filtro de disco (150 mesh), um registro de gaveta, um regulador de pressão EICA (Faixa de pressão de 1-15mca) e um manômetro tipo Bourdon no começo e final da linha (Figura 8).



Figuras 6 e 7 – Detalhes do tubo poroso inserido na calha de PVC.



Figuras 8 – Detalhes do filtro, regulador de pressão e manômetro.

Os procedimentos para se fazer os testes foram os seguintes: Com o sistema em funcionamento, definiu-se a pressão de teste regulando-a através do regulador de pressão, esperou-se um tempo de funcionamento (30 min) para que a vazão se estabilizasse e fez-se então a coleta dos volumes para cada metro de tubo, sendo que o tempo de coleta dos volumes foi o suficiente para se coletar um volume igual ou superior a  $200 \text{ cm}^3$  de água. As pressões de entrada e saída do tubo e a temperatura da água foram monitoradas durante todo o teste. Para leitura dos volumes utilizou-se uma balança com leitura em gramas e duas casas de precisão.

Em função do pequeno comprimento das linhas de tubos porosos, e uma vez que as mesmas foram instaladas em nível, a perda de carga não foi considerada como fator de variação de vazão deste tubo, tendo em vista que as pressões medidas no início e no fim das linhas foram idênticas. Foi calculado também, o número de Reynolds para algumas pressões e vazões de teste, e o



mesmo se manteve muito abaixo de 2000, demonstrando que o sistema estava trabalhando em regime laminar, ou seja, não havia uma perda de carga que pudesse influir na variação de vazão. O efeito da temperatura da água foi desprezado, uma vez que a média das temperaturas medidas nos ensaios, foi de 26 °C, com valor de  $\pm 1$  °C de amplitude de variação.

Após calcular o coeficiente de variação de vazão destes tubos, resolveu-se parar os testes, pois existiu variabilidade de vazão muito grande, tanto para o tratamento 1, como para a testemunha, independente da pressão e trecho de tubulação utilizados para coleta.

### ***3.4 Comportamento da vazão ao longo do tempo de funcionamento***

Durante a caracterização do processo de estabilização da camada de resina, foi verificada uma grande variabilidade nos valores de vazão, sobretudo com a variação no tempo. Tal comportamento, mostrou ser mais importante uma avaliação temporal das características hidráulicas do tubo poroso em questão, no laboratório e em campo, do que a avaliação dos tratamentos de amaciamento propostos, conforme a Tabela 4.

#### ***3.4.1 Em laboratório***

Este teste foi realizado com o intuito de caracterizar o comportamento da vazão deste tubo quando submetido a pressões de serviço (4, 6 e 8 m.c.a.), num comprimento de 6m de tubo poroso com 3 repetições, durante 108h em contínuo funcionamento. Segundo SMAJSTRLA (1992) uma das características dos tubos porosos, é que são alcançados diminuições das taxas de emissão com o tempo, até uma taxa estável. Retirou-se 9 amostras de um rolo de 200m de comprimento de tubo Poritex. A água utilizada no teste foi água tratada de uso público, sendo que a temperatura desta se manteve em 27 °C, com uma amplitude de variação de  $\pm 1$  °C durante todo o teste. Para realização deste teste foi utilizado o mesmo módulo do item 3.3, onde se seguiu os seguintes procedimentos: com o sistema em funcionamento, definiu-se a pressão de trabalho

regulando-a através do regulador de pressão, esperou-se um tempo de funcionamento (30 min) para que a vazão se estabilizasse e fez-se então a primeira leitura dos volumes coletados, sendo que o tempo de coleta dos volumes foi o suficiente para se coletar um volume igual ou superior a 200 cm<sup>3</sup> de água. Repetiu-se esta operação de 12 em 12h para as três pressões. Para leitura dos volumes utilizou-se uma balança com leitura em gramas e duas casas de precisão. A partir desses dados foi gerado um gráfico caracterizando o comportamento da vazão do tubo poroso quando submetido a 3 diferentes pressões durante um tempo de 108h de funcionamento, em um comprimento de 6m de tubulação porosa, utilizando-se água tratada.

Após estes procedimentos foram retiradas amostras dessas tubulações usadas e de tubulações novas, onde foi feito um estudo das mesmas, em um Microscópio Eletrônico de varredura LEO 430i, com sistema de análise acoplado (EDS), da marca OXFORD com janela ATW2. Foi retirada também, amostra da água utilizada nos testes, para análise e verificação de possíveis elementos que pudessem estar causando esta diminuição da vazão.

### **3.4.2 Em campo**

Este teste foi realizado com o intuito de caracterizar o comportamento da vazão deste tubo quando submetido a uma pressão de serviço de 6 m.c.a., num comprimento de 100m de tubo poroso (3 repetições) durante funcionamento contínuo de 48h, com água tratada e não tratada. Retirou-se 6 amostras de 100m de comprimento de 3 rolos de 200m de comprimento de tubo Poritex. Para realização deste teste construiu-se um cabeçal de controle (Figura 9) que constava de um registro de gaveta, um filtro de disco (150 mesh), um hidrômetro Tecnobrás ( $Q_{min.} = 0,03m^3/h$ ;  $Q_n. = 1,5m^3/h$ ), um regulador de pressão EICA (Faixa de pressão de 1-15mca), e dois manômetro tipo Bourdon no começo e final da linha. O sistema foi abastecido por um conjunto motobomba KSB (Hydrobloc P1000T).

Os seguintes procedimentos foram realizados: com o sistema em funcionamento, definiu-se a pressão de trabalho regulando-a através do regulador de pressão, esperou-se um tempo de funcionamento (30 min) para que a vazão se estabilizasse e fez-se então a primeira leitura no hidrômetro, após um período de 30 min fez-se a segunda leitura no hidrômetro. Repetiu-se esta operação de 12 em 12h para a água tratada e do reservatório. O volume lido no hidrômetro e dividido pelo tempo de coleta, nos deu a vazão total, onde dividido pelos 300m de tubo, determinou-se a vazão em l/h/m. A partir desses dados foi gerado um gráfico caracterizando o comportamento da vazão do tubo poroso quando submetido a duas diferentes qualidades de água, durante um tempo de 48h de funcionamento em um comprimento de 100m, para a pressão de 6mca.

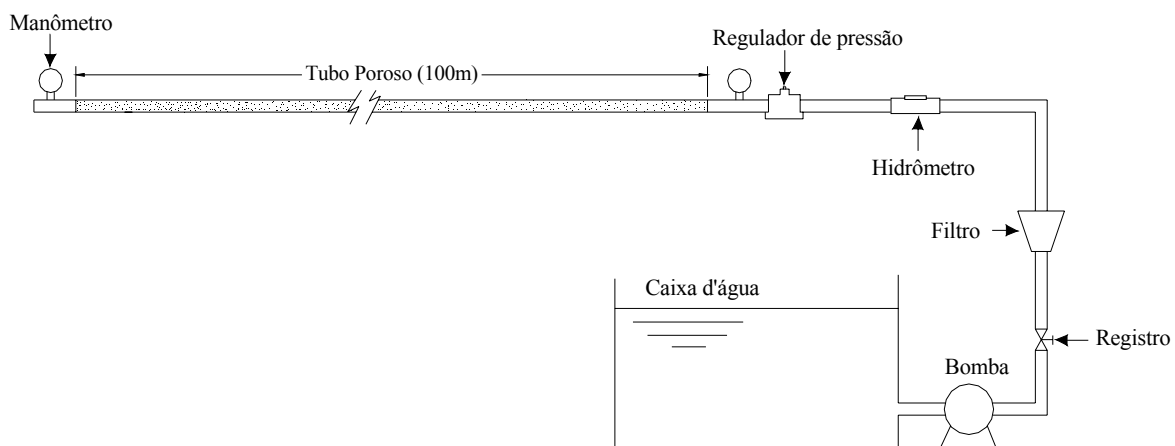


Figura 9 – Esquema hidráulico do ensaio de campo do tubo poroso Poritex®.

## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Processo de estabilização da camada de resina

Para comparar a tubulação amaciada com o tratamento 1 e a testemunha em relação ao processo de estabilização da camada de resina, serão usados os dados das Tabelas 5, 6 e 7. (Dados retirados dos Apêndices 1 a 6).

Tabela 5 - Comparação de média, desvio padrão e coeficiente de variação entre o amaciamento utilizando o tratamento 1 e a testemunha, no trecho de 00-06m.

Pressão (m.c.a.)	Testemunha				Amaciamento 1			
	Média da vazão (l/h/m)	Des. Pad. da vazão (l/h/m)	CV %	n	Média da vazão (l/h/m)	Des. Pad. da vazão (l/h/m)	CV %	n
2	1,95	1,31	67,19	54	0,21	0,25	119,27	54
3	2,20	1,23	56,04	54	0,25	0,25	99,76	54
4	2,57	1,33	51,81	54	0,28	0,26	94,26	54
5	2,97	1,31	44,11	54	0,40	0,30	76,35	54
6	3,66	1,49	40,80	54	0,64	0,39	60,51	54

Tabela 6 - Comparação de média, desvio padrão e coeficiente de variação entre o amaciamento utilizando o tratamento 1 e a testemunha, no trecho de 24-30m.

Pressão (m.c.a.)	Testemunha				Amaciamento 1			
	Média da vazão (l/h/m)	Des. Pad. da vazão (l/h/m)	CV %	n	Média da vazão (l/h/m)	Des. Pad. da vazão (l/h/m)	CV %	n
2	3,02	1,58	52,46	54	0,42	0,50	118,65	54
3	3,48	1,57	44,96	54	0,47	0,53	111,29	54
4	4,02	1,67	41,67	54	0,53	0,57	106,65	54
5	4,51	1,63	36,16	54	0,63	0,61	96,89	54
6	5,18	1,72	33,14	54	0,78	0,64	82,55	54

Tabela 7 - Comparação de média, desvio padrão e coeficiente de variação entre o amaciamento utilizando o tratamento 1 e a testemunha, no trecho de 42-48m.

Pressão (m.c.a.)	Testemunha				Amaciamento 1			
	Média da vazão (l/h/m)	Des. Pad. da vazão (l/h/m)	CV %	n	Média (l/h/m)	Des. Pad. da vazão (l/h/m)	CV %	n
2	3,84	1,48	38,58	54	0,39	0,43	109,91	54
3	4,55	1,50	32,90	54	0,44	0,46	104,85	54
4	5,30	1,60	30,12	54	0,53	0,53	99,86	54
5	5,99	1,59	26,62	54	0,65	0,59	90,39	54
6	5,91	1,69	24,41	54	0,88	0,69	79,29	54

Como se pode observar nas Tabelas 5, 6 e 7, tanto para a tubulação amaciada com o tratamento 1, quanto para a testemunha, os coeficientes de variação apresentaram valores inaceitáveis de acordo com a classificação da ASAE (1993), apresentada na Tabela 2. Mostrando que existe uma variabilidade significativa da vazão para todas as pressões testadas, e que o amaciamento não foi efetivo na uniformização da vazão. Pode-se notar também que a vazão

média por metro linear de tubulação amaciada com o tratamento 1 para qualquer pressão e trecho de coleta, ficou abaixo da especificada pelo fabricante, que recomenda que esta fique em torno de 1 a 4 l/h/m para uma faixa de pressão de 2 a 8 m.c.a.. No decorrer dos testes foi observado uma redução da vazão com o tempo de ensaio da tubulação, e como as tubulações de testemunha não sofreram amaciamento, suas vazões se mantiveram em valores mais elevados, mas ainda com alta variabilidade. Essa diminuição da vazão pode ser percebida na Figura 10, que nos mostra o que aconteceu no trecho inicial (00-06m) da tubulação.

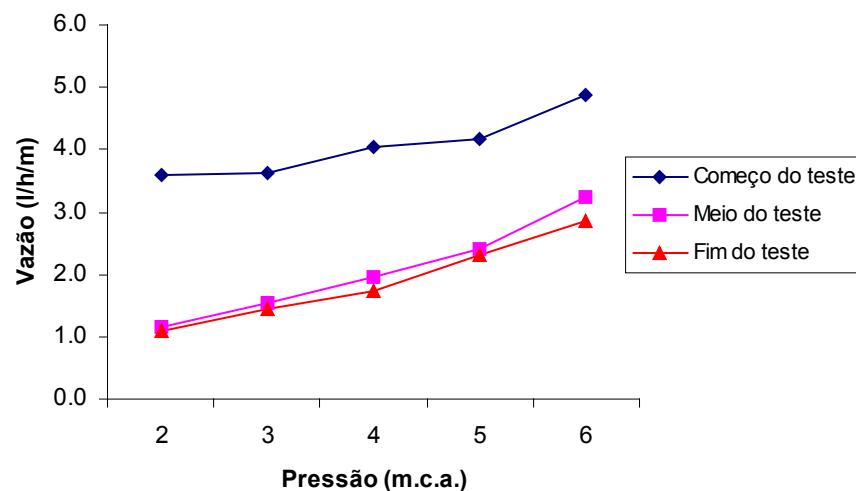


Figura 10 - Diminuição da vazão com o tempo de uso, para o trecho 00-06m, da tubulação testemunha.

Todos os procedimentos para a coleta desses dados duravam em média 10h, sendo que nesse intervalo de tempo, a taxa de vazão para o exemplo da Figura 10 na pressão de 2 m.c.a., caiu de 3,58 para 1,10 l/h/m e na pressão de 6 m.c.a. caiu de 4,87 para 2,87 l/h/m, denotando uma grande diminuição da vazão em um curto espaço de tempo.

Devido a variabilidade da vazão encontrada para todas as pressões testadas, tanto no tratamento 1, como na testemunha, observa-se que não seria possível realizar análises estatísticas comparativas entre os tratamentos propostos na Tabela 4. Isso fica mais evidente quando

pegamos como exemplo a Figura 11, onde fez-se a correlação entre a pressão e a vazão coletada nos 6m de comprimento do tubo poroso Poritex®, amaciado com o tratamento1, utilizando regressão linear. Pode-se observar que os valores de  $R^2$  ficaram bem abaixo de 1 demonstrando que não houve correlação entre a pressão x vazão para este caso. Esta análise foi realizada para todos os tratamentos, pressões e comprimentos e ainda tentou-se fazer as regressões logarítmica e exponencial, mas em nenhuma dessas análises encontramos uma boa correlação da pressão x vazão, ficando assim inviável a geração de uma curva / equação característica deste equipamento.

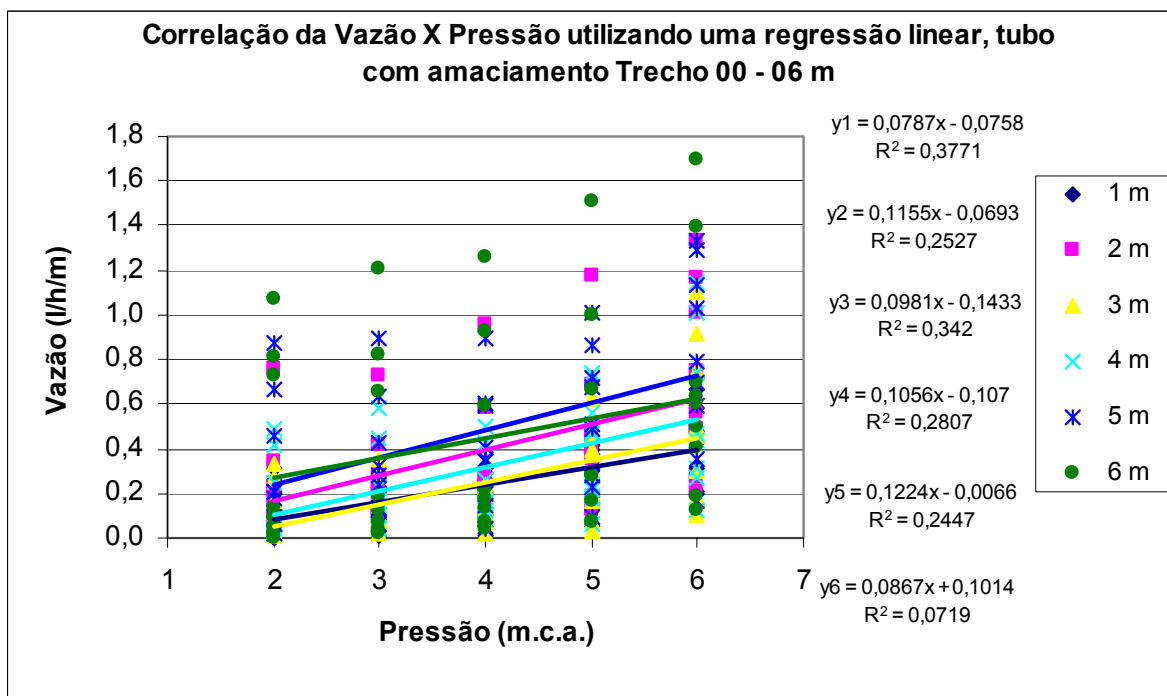


Figura 11 - Correlação entre a pressão e a vazão coletada nos 6m de comprimento do tubo poroso Poritex®, amaciado com o tratamento1.

Desta forma decidiu-se interromper os testes de amaciamento da camada de resina, e dar continuidade ao trabalho partindo para avaliação mais detalhada do comportamento da vazão com o tempo de uso do tubo poroso.

## 4.2 Comportamento da vazão ao longo do tempo de funcionamento

### 4.2.1 Em laboratório

Este teste foi realizado com o intuito de caracterizar a vazão com o tempo de funcionamento, para um comprimento de 6m de tubo poroso em condições de laboratório, sob pressões de 4, 6 e 8m.c.a., utilizando água tratada, durante um período de 108h de uso ininterrupto. Os resultados deste teste estão expostos na Tabela 8 (Dados retirados dos Apêndices 7 a 9) e na Figura 12.

Tabela 8 - Resultado da vazão do tubo Poritex, quando submetido as pressões de 4, 6 e 8 m.c.a. durante 108h de uso contínuo.

Pressão (m.c.a.)	Tempo (Horas)									
	0	12	24	36	48	60	72	84	96	108
4	1,63	0,75	0,66	0,62	0,59	0,55	0,52	0,50	0,49	0,46
6	6,59	2,38	1,41	0,88	0,81	0,80	0,75	0,77	0,74	0,76
8	7,81	3,18	2,74	2,54	2,53	2,30	2,19	2,10	1,97	1,87

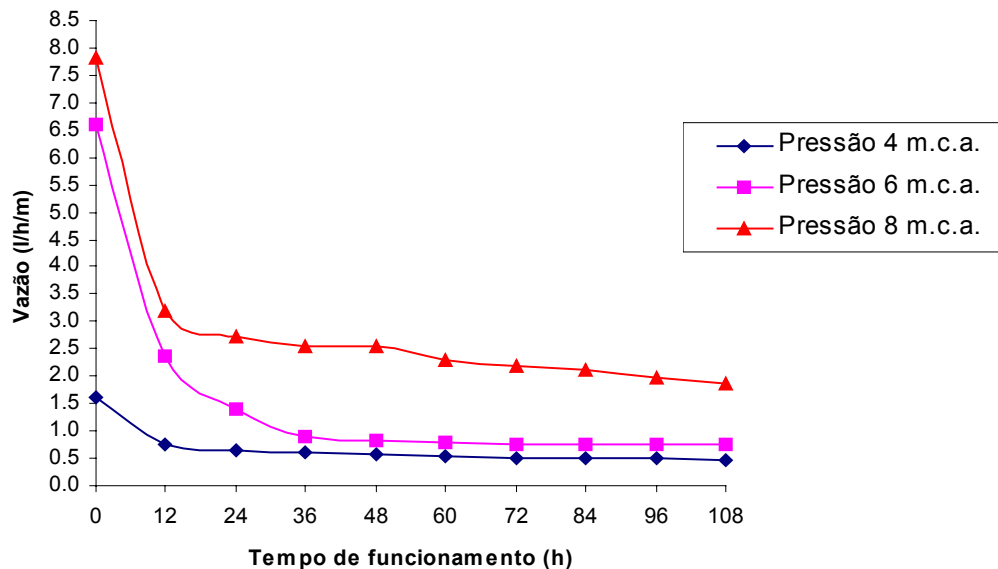


Figura 12 - Resultado da vazão do tubo Poritex, quando submetido as pressões de 4, 6 e 8 m.c.a. durante 108h de uso contínuo.

Observando os dados da Tabela 8 e a Figura 12, pode-se notar que houve uma redução significativa no valor da vazão, nas primeiras 12 horas, para as três pressões ensaiadas, sendo que houve uma estabilização desta taxa de vazão por volta das 60h de uso, permanecendo em 0,49; 0,75 e 1,87 l/h/m para as pressões de 4, 6 e 8 m.c.a. respectivamente. Esses valores podem ser considerados baixos quando comparados com o valor especificado pelo manual do fabricante, que indica a vazão deste tubo na faixa de 1 a 4 l/h/m para uma faixa de pressão de 2 a 8m.c.a..

Procurando detectar possíveis elementos que pudessem causar esta diminuição de vazão, resolveu-se fazer uma análise microscópica do tubo poroso (Figura 13). Onde fica claro a presença de incrustações na parede da tubulação, caracterizando a deposição na tubulação de algum material em suspensão ou a reação e precipitação de algum elemento contido na água utilizada. Apesar da água utilizada ter sido de boa origem (água tratada), observou-se na condução do teste uma perda considerável de água por evaporação na bancada. Tal fato, poderia estar causando a concentração de alguns elementos e estes estarem reagindo e se precipitando, formando as crostas observadas nas fotos do microscópio.



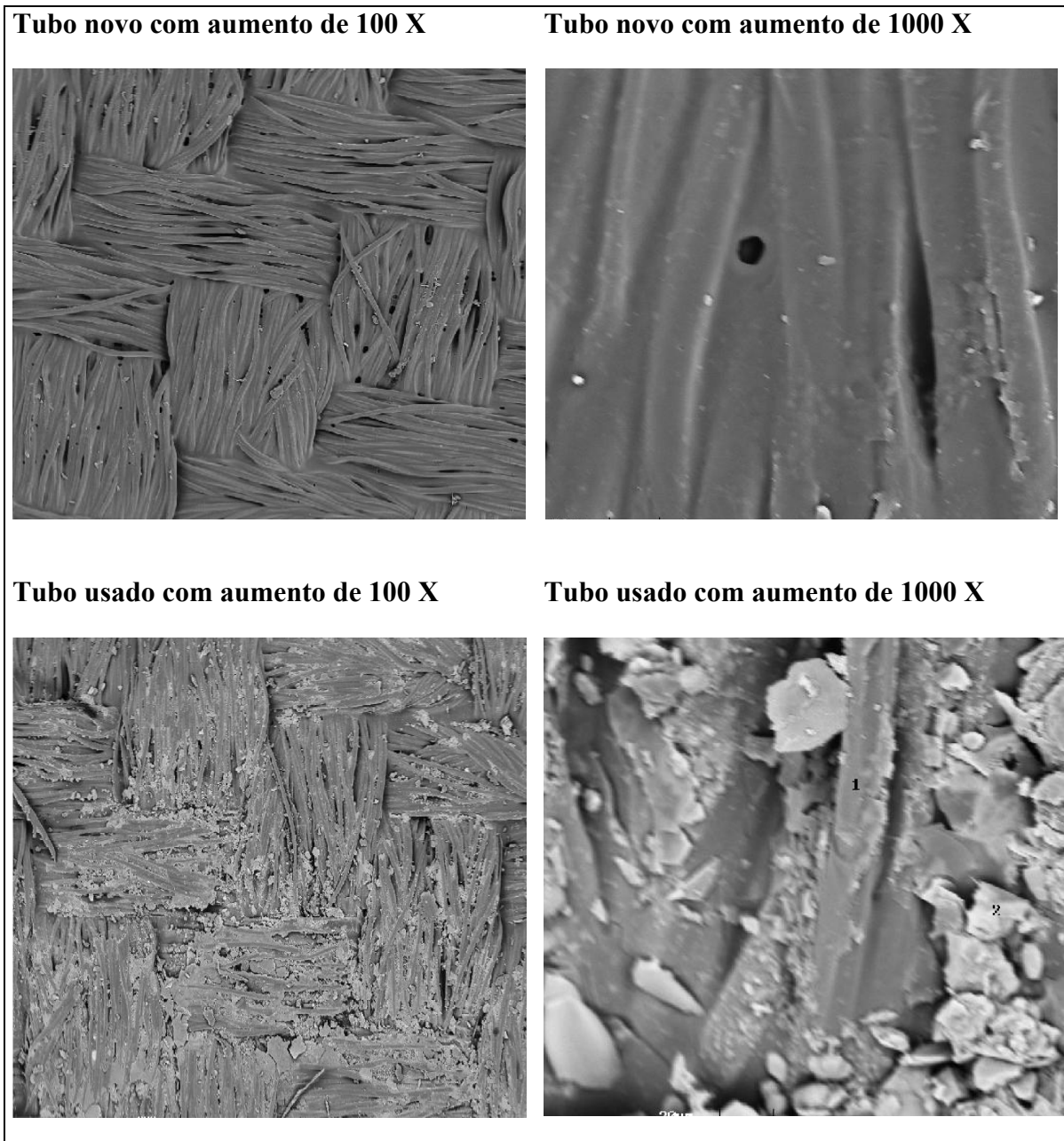


Figura 13 - Fotos tiradas no microscópio eletrônico para a tubulação nova, e usadas nos testes de verificação da vazão com o tempo de funcionamento, com diferentes aumentos.

A análise química desta água e do material encontrado na tubulação usada, está apresentada nas Tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Análise dos parâmetros físicos / químicos do material contido na tubulação usada.

Parâmetros físicos / químicos	%
Carbono	16,24
Oxigênio	57,14
Magnésio	0,73
Sílica	13,64
Enxofre	4,09
Potássio	0,50
Cálcio	7,67

Tabela 10 - Análise dos parâmetros físico / químicos da água utilizada nos testes.

Parâmetros físicos / químicos	Unidade	Análise da amostra
Carbonato	mg/l $\text{CO}_3^{-2}$	0,00
Magnésio	mg/l Mg	6,20
Silicato	mg/l $\text{SiO}_2$	10,90
Potássio	mg/l K	11,70
Cálcio	mg/l Ca	40,00
Ferro	mg/l Fe	0,10
Sulfato	mg/l $\text{SO}_4$	14,00
Condutividade elétrica	$\mu$	

#### 4.2.2 Em Campo

Este teste foi realizado com o intuito de caracterizar a vazão com o tempo de funcionamento, para um comprimento de 100m de tubo poroso em condições de campo, sob pressão de 6m.c.a., utilizando água tratada e não tratada, durante um período de 48h de uso ininterrupto. Os resultados deste teste estão expostos na Tabela 11 e na Figura 14.

Tabela 11 – Dados de vazão x comprimento de 100m x pressão de 6 m.c.a. para o teste de campo, da taxa de vazão, em 48h de contínuo funcionamento, utilizando água tratada e não tratada.

Tempo de leitura (h)	Água tratada	Água não tratada
	Vazão (l/h/m)	Vazão (l/h/m)
0	4,81	2,95
12	4,00	0,32
24	3,84	0,10
36	3,10	0,31
48	2,80	0,05

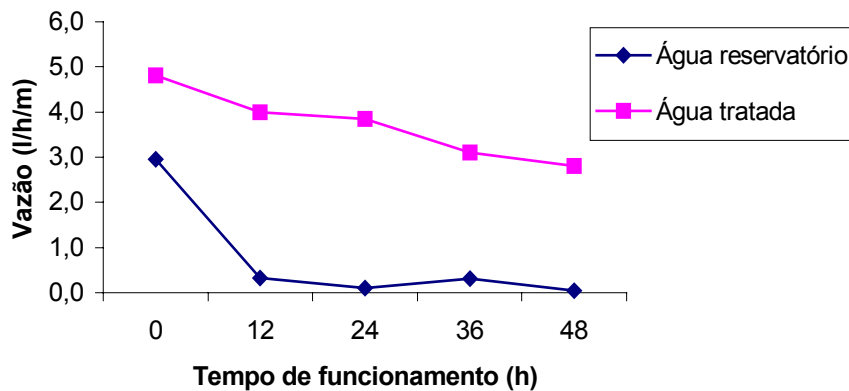


Figura 14 – Comportamento da vazão do tubo Poritex, quando submetido as pressão de 6 m.c.a., durante 48h de uso contínuo, com água tratada e não tratada.

Observando a Figura 14, nota-se que após 12h de funcionamento, a vazão do sistema que utilizou água não tratada diminuiu consideravelmente, denotando um entupimento quase completo dos poros, isso nos mostra que mesmo com a utilização de filtros, quando se usou água não tratada o sistema apresentou problemas de entupimento. Já quando se utilizou água tratada, o sistema apresentou uma média de vazão 100% acima da média da vazão do sistema que utilizou

água não tratada. Outra característica importante encontrada neste teste, foi que mesmo com um comprimento de 100m de tubulação porosa Poritex®, o sistema apresentou um regime de fluxo laminar, ou seja mais susceptível a entupimentos.

## 5 Conclusões

Com base nos resultados obtidos, metodologia de teste utilizada e condições locais em que foram realizados os ensaios, pode se concluir que:

- Não foi observada nenhuma melhoria na uniformidade de vazão do tubo Poritex®, devido ao tratamento de amaciamento da camada de resina, realizado neste trabalho.
- Este tubo apresentou um coeficiente de variação de fabricação muito alto, tanto para a tubulação nova quanto para a tubulação amaciada, caracterizando uma uniformidade de vazão inaceitável para ambos os casos, segundo classificação da ASAE (1993).
- A variabilidade da vazão encontrada em todas as pressões testadas inviabilizou a geração de uma curva / equação característica deste tubo, pois a mesma não seria estatisticamente representativa.
- Tanto em teste de laboratório, como em campo, foi constatado a diminuição da taxa de vazão com o tempo de uso. Onde este efeito foi mais pronunciado no ensaio utilizando água não tratada. Sugerimos estudos futuros objetivando minimizar o efeito da diminuição da taxa de vazão com o tempo, através do uso de aplicações de soluções ácidas na água de irrigação e / ou elevação da pressão por um determinado tempo.

## **Apêndices**

Apêndice 1- Dados de vazão x pressão x comprimento para a testemunha, no trecho de 00-06m.  
 Teste de amaciamento da camada de resina.

Pressão (m.c.a.)	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)						Média	Desvio Padrão	CV %	n
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6				
2	2,89	4,03	3,82	4,46	5,01	4,00				
2	2,18	4,14	2,80	3,85	3,47	2,63				
2	2,31	3,74	3,58	4,02	3,99	3,49				
2	1,47	1,59	1,09	1,45	1,68	1,59				
2	1,39	1,79	0,70	1,18	0,52	0,18				
2	1,26	1,79	1,57	0,75	0,58	0,27				
2	1,41	1,51	0,96	1,40	1,60	1,50				
2	1,29	1,68	0,64	1,16	0,50	0,16				
2	1,21	1,77	1,48	0,74	0,56	0,27	1,95	1,31	67,19	54
3	2,77	4,24	3,70	4,03	4,92	3,85				
3	2,08	4,16	3,01	4,28	3,58	3,09				
3	1,87	4,05	3,54	4,20	3,93	3,87				
3	1,99	2,14	1,47	1,93	2,16	2,06				
3	1,79	2,36	0,95	1,56	0,67	0,24				
3	1,64	2,48	2,03	1,10	0,77	0,35				
3	1,83	1,96	1,30	1,84	2,07	1,94				
3	1,69	2,19	0,88	1,51	0,65	0,22				
3	1,56	2,29	1,93	0,99	0,73	0,35	2,20	1,23	56,04	54
4	2,87	4,49	3,90	5,15	5,25	4,19				
4	2,11	4,42	3,10	4,95	4,12	3,37				
4	2,52	4,21	4,32	4,30	4,82	4,41				
4	2,48	2,81	1,88	2,39	2,71	2,58				
4	2,28	2,98	1,26	1,94	0,87	0,32				
4	2,11	2,99	2,56	1,45	0,95	0,47				
4	2,19	2,35	1,55	2,15	2,48	2,30				
4	2,09	2,62	1,10	1,79	0,78	0,28				
4	2,00	2,78	2,35	1,21	0,88	0,41	2,57	1,33	51,81	54
5	3,10	4,52	3,82	5,04	5,65	4,78				
5	2,21	4,23	3,30	4,80	4,66	3,48				
5	2,01	4,67	4,37	4,63	4,79	5,15				
5	3,01	3,46	2,31	2,99	3,18	3,14				
5	2,90	3,72	1,59	2,19	1,14	0,45				
5	2,59	3,91	3,12	1,85	1,18	0,56				
5	2,96	3,28	2,31	2,81	3,07	2,90				
5	2,62	3,51	1,57	2,29	1,08	0,59				
5	2,52	3,53	3,10	1,68	1,37	0,64	2,97	1,31	44,11	54
6	3,50	5,59	4,86	6,11	6,85	5,54				
6	2,89	4,70	3,80	5,75	4,78	3,86				
6	2,24	5,18	5,36	5,43	5,43	5,79				
6	4,22	4,64	3,11	3,64	4,19	3,94				
6	4,23	4,96	2,35	2,82	1,68	0,84				
6	3,66	5,12	4,01	2,27	1,68	0,85				
6	3,71	4,04	2,90	3,33	3,74	3,48				
6	3,34	4,17	2,12	2,79	1,31	0,78				
6	3,18	4,25	3,82	2,22	1,63	0,74	3,66	1,49	40,80	54

Apêndice 2- Dados de vazão x pressão x comprimento para a testemunha, no trecho de 24-30m.  
 Teste de amaciamento da camada de resina.

Pressão (m.c.a.)	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)						Média	Desvio Padrão	CV %	n
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6				
2	4,19	5,73	5,74	5,81	6,69	5,05				
2	3,49	5,27	4,64	4,97	5,57	3,34				
2	4,59	4,43	5,44	5,17	5,31	2,93				
2	2,83	2,70	2,84	2,81	2,11	1,23				
2	2,22	3,13	2,12	1,76	2,18	0,74				
2	2,60	2,44	2,76	2,13	1,25	0,31				
2	2,71	2,55	2,76	2,65	2,05	1,18				
2	2,10	2,95	1,99	1,69	2,09	0,70				
2	2,52	2,30	2,66	2,00	1,16	0,29				
							3,02	1,58	52,46	54
3	4,61	5,83	6,04	5,82	7,06	5,22				
3	3,47	5,87	4,77	5,21	6,36	3,64				
3	4,83	4,82	5,53	5,75	5,68	3,51				
3	3,50	3,40	3,52	3,45	2,70	1,54				
3	2,74	3,94	2,64	2,18	2,76	0,94				
3	3,35	3,06	3,39	2,64	1,56	0,40				
3	3,41	3,22	3,48	3,34	2,63	1,48				
3	2,65	3,84	2,51	2,15	2,69	0,89				
3	3,22	2,95	3,35	2,55	1,54	0,39				
							3,48	1,57	44,96	54
4	5,14	6,09	6,60	6,47	7,63	6,02				
4	3,64	6,41	5,55	5,71	7,19	4,19				
4	5,09	5,28	6,01	6,45	6,57	4,21				
4	4,23	4,10	4,38	4,17	3,25	1,90				
4	3,30	4,84	3,27	2,72	3,37	1,13				
4	4,16	3,80	4,32	3,28	2,03	0,58				
4	3,89	3,72	4,06	3,78	2,97	1,86				
4	3,15	4,46	3,02	2,51	3,19	1,02				
4	3,67	3,50	3,93	2,94	1,80	0,47				
							4,02	1,67	41,67	54
5	5,15	6,09	6,46	7,04	7,79	6,67				
5	4,21	6,68	6,07	6,16	7,14	4,42				
5	5,44	5,29	6,46	6,63	6,69	4,65				
5	5,05	4,96	5,29	5,11	3,79	2,26				
5	3,85	5,84	3,76	3,25	4,00	1,40				
5	5,03	4,57	5,23	3,97	2,42	0,74				
5	4,47	4,69	4,34	4,37	3,86	2,38				
5	3,51	5,15	3,66	3,15	3,79	1,35				
5	4,07	4,17	4,78	3,42	2,10	0,86				
							4,51	1,63	36,16	54
6	5,53	5,73	6,86	7,55	7,93	7,62				
6	4,40	8,04	6,22	6,36	7,36	5,10				
6	5,88	5,61	7,14	6,54	7,03	5,29				
6	6,34	6,43	6,24	6,54	4,86	2,60				
6	5,14	7,40	5,03	4,03	4,62	1,73				
6	6,40	5,79	6,53	4,79	2,97	0,88				
6	5,27	5,41	5,26	5,06	4,35	2,81				
6	4,27	5,81	4,33	3,61	4,43	1,62				
6	4,79	4,81	5,60	4,09	2,53	1,07				
							5,18	1,72	33,14	54



Apêndice 3- Dados de vazão x pressão x comprimento para a testemunha, no trecho de 42-48m.  
 Teste de amaciamento da camada de resina.

Pressão (m.c.a.)	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)									
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6				
2	4,54	4,60	5,88	6,96	6,14	4,83				
2	4,56	6,56	6,75	6,46	6,36	6,27				
2	5,43	5,42	5,16	6,00	5,02	4,01				
2	2,44	2,36	3,54	3,71	3,67	2,39				
2	3,12	3,54	4,06	4,21	2,77	2,38				
2	3,11	3,55	2,80	2,68	1,86	1,67				
2	2,31	2,32	3,45	3,64	3,63	2,33	Média	Desvio	CV %	n
2	3,02	3,44	3,97	4,15	2,64	2,30		Padrão		
2	3,01	3,60	2,72	2,58	1,79	1,62	3,84	1,48	38,58	54
3	4,61	5,00	6,62	7,69	7,03	5,43				
3	5,02	7,19	7,23	7,23	6,97	7,09				
3	5,92	6,10	5,79	6,70	5,19	4,78				
3	3,06	2,99	4,46	4,76	4,66	3,06				
3	3,93	4,52	5,21	5,25	3,49	3,04				
3	3,91	4,60	3,57	3,41	2,41	2,13				
3	2,91	2,92	4,27	4,56	4,55	2,96	Média	Desvio	CV %	n
3	3,76	4,34	4,96	5,11	3,36	2,93		Padrão		
3	3,81	4,43	3,42	3,26	2,27	2,05	4,55	1,50	32,90	54
4	5,11	5,44	7,27	8,45	8,06	6,20				
4	5,73	7,83	7,99	7,96	7,76	8,22				
4	6,67	6,78	6,63	7,64	5,90	5,44				
4	3,89	3,82	5,39	5,89	5,70	3,75				
4	4,62	5,61	6,35	6,29	4,34	3,69				
4	4,78	5,58	4,41	4,18	2,97	2,64				
4	3,39	3,44	4,95	5,29	5,35	3,47	Média	Desvio	CV %	n
4	4,31	5,12	5,83	5,87	3,97	3,40		Padrão		
4	4,46	5,15	4,05	3,81	2,70	2,40	5,30	1,60	30,12	54
5	5,29	5,50	8,15	8,51	8,83	7,07				
5	6,22	8,30	8,66	8,60	8,74	8,78				
5	7,23	7,31	7,26	8,08	6,82	6,02				
5	4,66	4,57	6,30	6,70	6,48	4,59				
5	5,30	6,50	7,34	7,25	5,08	4,35				
5	5,80	6,44	5,18	4,96	3,50	3,14				
5	3,92	4,17	5,63	5,96	6,07	4,26	Média	Desvio	CV %	n
5	4,77	5,77	6,76	6,74	4,78	4,19		Padrão		
5	5,13	5,98	4,76	4,59	3,29	3,02	5,99	1,59	26,62	54
6	5,58	6,24	9,05	9,19	10,04	7,74				
6	6,67	9,26	8,77	9,91	9,22	9,84				
6	8,05	7,88	8,04	9,12	7,54	6,93				
6	5,87	5,56	8,00	7,95	7,93	5,58				
6	6,46	8,21	8,99	8,55	6,12	5,40				
6	7,25	7,58	6,36	6,06	4,31	3,72				
6	4,63	4,89	6,57	6,91	6,80	4,95	Média	Desvio	CV %	n
6	5,45	6,92	7,91	7,72	5,50	4,77		Padrão		
6	5,91	6,96	5,58	5,39	3,87	3,55	6,91	1,69	24,41	54

Apêndice 4 – Dados de vazão x pressão x comprimento para o amaciamento de 2 m.c.a., durante 4h, no trecho de 00-06m. Teste de amaciamento da camada de resina.

Pressão (m.c.a.)	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)									
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6				
2	0,26	0,76	0,17	0,25	0,46	0,73				
2	0,18	0,23	0,27	0,42	0,67	0,81				
2	0,31	0,21	0,34	0,49	0,87	1,07				
2	0,20	0,35	0,05	0,04	0,10	0,09				
2	0,00	0,10	0,09	0,09	0,17	0,02				
2	0,10	0,08	0,05	0,06	0,21	0,05				
2	0,13	0,14	0,01	0,02	0,02	0,00	Média	Desvio	CV %	n
2	0,01	0,05	0,02	0,07	0,07	0,02		Padrão		
2	0,03	0,04	0,03	0,05	0,21	0,13	0,21	0,25	119,27	54
3	0,23	0,73	0,16	0,23	0,43	0,66				
3	0,16	0,21	0,29	0,45	0,63	0,82				
3	0,28	0,23	0,35	0,59	0,90	1,21				
3	0,25	0,41	0,07	0,06	0,12	0,12				
3	0,01	0,16	0,13	0,16	0,23	0,03				
3	0,13	0,13	0,11	0,11	0,29	0,08				
3	0,21	0,28	0,02	0,04	0,06	0,02	Média	Desvio	CV %	n
3	0,03	0,11	0,08	0,14	0,14	0,05		Padrão		
3	0,09	0,11	0,14	0,15	0,32	0,19	0,25	0,25	99,76	54
4	0,29	0,96	0,11	0,17	0,59	0,60				
4	0,10	0,18	0,24	0,42	0,61	0,93				
4	0,23	0,23	0,34	0,50	0,89	1,26				
4	0,31	0,58	0,11	0,09	0,20	0,18				
4	0,05	0,26	0,21	0,27	0,34	0,07				
4	0,21	0,23	0,20	0,21	0,41	0,13				
4	0,26	0,27	0,02	0,04	0,04	0,05	Média	Desvio	CV %	n
4	0,02	0,11	0,08	0,12	0,14	0,05		Padrão		
4	0,07	0,07	0,13	0,17	0,35	0,22	0,28	0,26	94,26	54
5	0,39	1,18	0,16	0,24	0,72	0,66				
5	0,19	0,38	0,38	0,56	0,86	1,00				
5	0,37	0,46	0,62	0,74	1,01	1,51				
5	0,42	0,69	0,20	0,18	0,28	0,28				
5	0,16	0,44	0,39	0,48	0,51	0,17				
5	0,34	0,41	0,46	0,46	0,68	0,28				
5	0,30	0,35	0,03	0,07	0,10	0,07	Média	Desvio	CV %	n
5	0,05	0,14	0,07	0,19	0,23	0,08		Padrão		
5	0,13	0,13	0,29	0,22	0,49	0,28	0,40	0,30	76,35	54
6	0,48	1,33	0,30	0,27	0,79	0,70				
6	0,32	0,49	0,46	0,73	1,14	1,40				
6	0,58	0,56	0,75	1,01	1,33	1,69				
6	0,72	1,16	0,49	0,46	0,59	0,61				
6	0,67	1,01	0,92	1,14	1,03	0,49				
6	0,72	0,75	1,10	1,14	1,29	0,64				
6	0,42	0,49	0,11	0,13	0,17	0,13	Média	Desvio	CV %	n
6	0,15	0,27	0,18	0,31	0,35	0,19		Padrão		
6	0,21	0,20	0,50	0,44	0,69	0,41	0,64	0,39	60,51	54

Apêndice 5 – Dados de vazão x pressão x comprimento para o amaciamento de 2 m.c.a., durante 4h, no trecho de 24-30m. Teste de amaciamento da camada de resina.

Pressão (m.c.a.)	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)						Média	Desvio Padrão	CV %	n
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6				
2	0,70	0,23	0,11	0,25	0,04	0,31				
2	0,67	1,79	2,12	1,82	1,52	0,71				
2	0,76	0,79	0,56	1,19	0,76	0,47				
2	0,11	0,03	0,00	0,10	0,01	0,02				
2	0,20	0,70	0,87	0,64	0,37	0,16				
2	0,03	0,26	0,12	0,16	0,18	0,08				
2	0,10	0,02	0,00	0,11	0,01	0,03				
2	0,20	0,61	0,77	0,59	0,32	0,15				
2	0,03	0,26	0,10	0,15	0,19	0,07	0,42	0,50	118,65	54
3	0,63	0,20	0,10	0,26	0,06	0,35				
3	0,51	1,92	2,32	1,82	1,58	0,80				
3	0,57	0,77	0,50	1,24	0,80	0,61				
3	0,18	0,04	0,01	0,14	0,01	0,04				
3	0,27	0,95	1,15	0,81	0,50	0,21				
3	0,04	0,35	0,18	0,23	0,24	0,12				
3	0,14	0,04	0,00	0,14	0,01	0,03				
3	0,25	0,84	1,02	0,78	0,44	0,20				
3	0,04	0,34	0,14	0,21	0,24	0,11	0,47	0,53	111,29	54
4	0,57	0,21	0,10	0,30	0,07	0,41				
4	0,46	1,94	2,49	1,89	1,75	0,88				
4	0,56	0,72	0,48	1,40	0,84	0,66				
4	0,23	0,06	0,03	0,18	0,02	0,06				
4	0,35	1,20	1,47	0,99	0,66	0,27				
4	0,07	0,44	0,24	0,30	0,30	0,17				
4	0,17	0,05	0,00	0,16	0,01	0,04				
4	0,30	0,96	1,23	0,93	0,53	0,27				
4	0,05	0,38	0,19	0,24	0,29	0,14	0,53	0,57	106,65	54
5	0,69	0,34	0,21	0,36	0,08	0,44				
5	0,54	2,19	2,65	1,99	1,84	0,98				
5	0,62	0,96	0,58	1,52	0,90	0,78				
5	0,34	0,12	0,07	0,22	0,03	0,10				
5	0,50	1,49	1,70	1,16	0,80	0,34				
5	0,12	0,52	0,32	0,39	0,39	0,22				
5	0,27	0,07	0,05	0,22	0,04	0,05				
5	0,39	1,18	1,57	0,96	0,71	0,31				
5	0,12	0,52	0,31	0,32	0,37	0,18	0,63	0,61	96,89	54
6	0,86	0,67	0,43	0,54	0,19	0,54				
6	0,76	2,38	2,69	2,11	1,74	1,21				
6	0,62	1,24	0,80	1,83	0,89	0,98				
6	0,47	0,27	0,20	0,35	0,13	0,21				
6	0,76	1,85	2,16	1,38	1,08	0,34				
6	0,35	0,79	0,44	0,62	0,57	0,30				
6	0,36	0,14	0,12	0,30	0,08	0,09				
6	0,59	1,29	1,81	1,15	0,80	0,38				
6	0,19	0,57	0,38	0,41	0,47	0,22	0,78	0,64	82,55	54

Apêndice 6 – Dados de vazão x pressão x comprimento para o amaciamento de 2 m.c.a., durante 4h, no trecho de 42-48m. Teste de amaciamento da camada de resina.

Pressão (m.c.a.)	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)									
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6				
2	0,66	1,60	1,13	2,04	1,53	0,84				
2	0,73	0,70	0,62	0,38	0,54	0,22				
2	0,87	0,31	0,21	0,24	0,16	0,05				
2	0,38	0,51	0,52	0,85	0,26	0,37				
2	0,35	0,20	0,13	0,05	0,10	0,01				
2	0,55	0,06	0,00	0,03	0,01	0,00				
2	0,33	0,40	0,49	0,82	0,22	0,36	Média	Desvio	CV %	n
2	0,28	0,20	0,15	0,05	0,09	0,01		Padrão		
2	0,53	0,06	0,00	0,01	0,01	0,00	0,39	0,43	109,91	54
3	0,65	1,66	1,21	2,19	1,57	0,90				
3	0,67	0,63	0,61	0,36	0,51	0,21				
3	0,83	0,23	0,13	0,18	0,10	0,06				
3	0,49	0,72	0,67	1,08	0,36	0,46				
3	0,47	0,28	0,21	0,08	0,14	0,02				
3	0,71	0,09	0,01	0,04	0,02	0,01				
3	0,44	0,54	0,63	1,04	0,31	0,46	Média	Desvio	CV %	n
3	0,40	0,27	0,16	0,06	0,12	0,01		Padrão		
3	0,68	0,08	0,00	0,02	0,01	0,00	0,44	0,46	104,85	54
4	0,77	1,89	1,44	2,44	1,81	1,08				
4	0,75	0,70	0,70	0,42	0,59	0,30				
4	0,93	0,28	0,17	0,24	0,13	0,14				
4	0,61	0,95	0,89	1,33	0,46	0,60				
4	0,60	0,39	0,24	0,12	0,18	0,06				
4	0,85	0,13	0,03	0,08	0,04	0,02				
4	0,51	0,64	0,74	1,27	0,42	0,54	Média	Desvio	CV %	n
4	0,43	0,31	0,19	0,09	0,14	0,02		Padrão		
4	0,80	0,09	0,00	0,01	0,02	0,00	0,53	0,53	99,86	54
5	0,94	2,12	1,66	2,59	2,11	1,37				
5	0,91	0,87	0,86	0,65	0,65	0,39				
5	1,22	0,47	0,26	0,30	0,25	0,21				
5	0,78	1,20	1,07	1,64	0,65	0,75				
5	0,82	0,58	0,34	0,20	0,23	0,10				
5	1,02	0,24	0,08	0,14	0,08	0,04				
5	0,57	0,82	0,90	1,41	0,49	0,69	Média	Desvio	CV %	n
5	0,58	0,35	0,25	0,11	0,18	0,03		Padrão		
5	0,92	0,13	0,02	0,02	0,06	0,02	0,65	0,59	90,39	54
6	1,15	2,59	1,98	2,95	2,51	1,75				
6	1,09	1,23	1,02	0,98	0,73	0,55				
6	1,60	0,77	0,39	0,42	0,34	0,34				
6	1,11	1,84	1,51	2,14	0,99	1,07				
6	1,18	0,98	0,69	0,44	0,51	0,31				
6	1,39	0,57	0,28	0,36	0,30	0,19				
6	0,73	0,99	1,07	1,63	0,60	0,78	Média	Desvio	CV %	n
6	0,71	0,42	0,33	0,14	0,23	0,06		Padrão		
6	1,06	0,17	0,03	0,04	0,08	0,04	0,88	0,69	79,29	54

Apêndice 7 – Dados de vazão x comprimento x pressão de 4 m.c.a. para o teste de laboratório, de diminuição da taxa de vazão, em 108h de contínuo funcionamento, utilizando água tratada.

Horário de leitura	Repetição	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)					
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
0 hora	A	2,39	2,71	2,62	2,29	1,53	1,42
	B	1,50	1,76	1,91	0,52	1,20	0,91
	C	2,36	1,88	0,84	0,67	1,47	1,32
12 horas	A	1,25	1,38	1,16	1,24	0,58	0,63
	B	0,62	0,90	0,86	0,06	0,58	0,55
	C	0,77	1,00	0,19	0,39	0,81	0,49
24 horas	A	1,09	1,15	1,12	1,17	0,46	0,47
	B	0,62	0,70	0,74	0,06	0,49	0,46
	C	0,55	1,03	0,14	0,30	0,85	0,41
36 horas	A	1,04	1,16	1,06	1,01	0,46	0,49
	B	0,59	0,71	0,65	0,01	0,48	0,43
	C	0,52	0,92	0,13	0,29	0,87	0,37
48 horas	A	1,02	1,14	0,96	0,94	0,44	0,48
	B	0,49	0,70	0,64	0,03	0,47	0,43
	C	0,52	0,85	0,08	0,29	0,86	0,35
60 horas	A	0,83	1,13	0,80	0,89	0,37	0,45
	B	0,51	0,70	0,58	0,00	0,47	0,42
	C	0,43	0,73	0,08	0,26	0,83	0,35
72 horas	A	0,75	1,11	0,77	0,85	0,35	0,44
	B	0,51	0,65	0,55	0,01	0,45	0,43
	C	0,42	0,62	0,05	0,18	0,83	0,32
84 horas	A	0,73	1,10	0,61	0,83	0,35	0,45
	B	0,57	0,61	0,55	0,02	0,45	0,42
	C	0,41	0,62	0,05	0,19	0,79	0,31
96 horas	A	0,68	1,03	0,55	0,80	0,36	0,44
	B	0,55	0,61	0,55	0,01	0,34	0,50
	C	0,41	0,61	0,05	0,18	0,80	0,29
108 horas	A	0,61	0,94	0,53	0,74	0,33	0,42
	B	0,58	0,57	0,49	0,00	0,41	0,39
	C	0,41	0,58	0,04	0,16	0,77	0,25

Apêndice 8 – Dados de vazão x comprimento x pressão de 6 m.c.a. para o teste de laboratório, de diminuição da taxa de vazão, em 108h de contínuo funcionamento, utilizando água tratada.

Horário de leitura	Repetição	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)					
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
0 hora	A	6,44	6,96	7,53	7,08	7,20	5,83
	B	7,62	5,57	6,99	9,53	9,26	5,48
	C	5,88	6,75	5,99	6,90	4,91	2,65
12 horas	A	1,45	2,48	3,00	2,77	3,53	2,73
	B	2,22	1,03	2,05	3,30	3,06	2,23
	C	1,44	2,36	2,54	3,55	1,55	1,50
24 horas	A	0,77	0,95	1,54	1,68	1,92	2,07
	B	1,06	0,75	0,99	2,11	2,02	1,74
	C	0,57	1,45	1,34	2,24	0,97	1,19
36 horas	A	0,81	0,43	0,53	0,99	1,20	1,55
	B	0,51	0,50	0,45	1,07	1,20	1,19
	C	0,30	0,99	0,95	1,78	0,51	0,83
48 horas	A	0,95	0,44	0,42	1,00	0,89	1,19
	B	0,40	0,46	0,33	0,98	1,08	1,34
	C	0,45	1,06	1,00	1,43	0,41	0,79
60 horas	A	0,99	0,34	0,66	1,00	0,83	1,00
	B	0,36	0,49	0,37	0,86	0,98	1,30
	C	0,51	1,18	0,92	1,31	0,48	0,76
72 horas	A	0,92	0,33	0,61	1,09	0,77	1,11
	B	0,31	0,35	0,39	0,74	0,77	1,34
	C	0,40	1,10	0,90	1,34	0,34	0,75
84 horas	A	0,94	0,37	0,57	1,09	0,76	1,08
	B	0,27	0,27	0,56	0,72	0,87	1,35
	C	0,33	1,39	0,90	1,31	0,44	0,74
96 horas	A	0,82	0,30	0,56	1,01	0,72	1,06
	B	0,22	0,24	0,52	0,70	0,87	1,17
	C	0,32	1,48	0,98	1,25	0,35	0,77
108 horas	A	0,96	0,29	0,56	1,05	0,77	1,03
	B	0,19	0,40	0,55	0,57	0,84	1,15
	C	0,34	1,56	0,97	1,26	0,37	0,74

Apêndice 9 – Dados de vazão x comprimento x pressão de 8 m.c.a. para o teste de laboratório, de diminuição da taxa de vazão, em 108h de contínuo funcionamento, utilizando água tratada.

Horário de leitura	Repetição	Comprimento (m) / Vazão (l/h/m)					
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
0 hora	A	6,23	8,05	2,93	2,45	2,70	3,28
	B	12,08	9,29	10,04	11,33	10,64	5,53
	C	9,70	12,21	9,67	11,02	8,22	5,20
12 horas	A	2,03	2,01	0,90	0,85	0,68	0,52
	B	3,86	2,65	3,85	5,45	4,98	2,38
	C	3,42	5,66	4,04	5,58	5,02	3,38
24 horas	A	1,56	1,42	0,80	0,72	0,66	0,38
	B	2,97	2,23	3,30	4,68	4,27	2,29
	C	3,07	4,95	3,48	4,53	4,90	3,09
36 horas	A	1,60	1,36	0,61	0,75	0,69	0,58
	B	2,92	1,82	3,03	4,10	3,86	2,25
	C	2,97	4,81	2,99	3,87	4,38	3,21
48 horas	A	1,50	1,42	0,51	0,71	0,71	0,65
	B	2,63	1,98	3,00	4,16	3,90	2,20
	C	2,94	4,60	2,86	3,94	4,49	3,35
60 horas	A	1,24	1,27	0,44	0,64	0,67	0,49
	B	2,36	1,64	2,71	3,89	3,64	1,97
	C	2,72	4,13	2,75	3,59	4,23	3,09
72 horas	A	1,20	1,17	0,45	0,65	0,66	0,47
	B	2,07	1,55	2,52	4,06	3,36	1,91
	C	2,51	3,98	2,72	3,22	4,06	2,92
84 horas	A	1,14	1,15	0,44	0,58	0,53	0,59
	B	1,78	1,48	2,47	3,88	3,27	1,81
	C	2,53	3,73	2,73	3,02	3,95	2,77
96 horas	A	0,94	1,00	0,40	0,58	0,50	0,56
	B	1,64	1,33	2,90	3,58	3,31	1,65
	C	2,43	3,31	2,56	2,53	3,77	2,53
108 horas	A	1,02	0,95	0,38	0,48	0,47	0,51
	B	1,48	1,29	2,21	3,42	3,16	1,59
	C	2,26	3,14	2,47	2,53	3,69	2,52

## 6 Bibliografia Consultada

ASAE S526.1 *Standards*, Soil and water terminology. 44<sup>th</sup> Ed. 1997, p.936-952.

ASAE EP405.1 *Standards*, Design and Installation of Microirrigation Systems. 1993, p.693-696.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Emissores para sistemas de irrigação localizada – avaliação das características operacionais**: PNBR 12:02-08-021. São Paulo, 1986. 7p.

BARRETO, G. B. **Irrigação: princípios, métodos e prática**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 185p., 1974.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 596p., 1989.

BETTINI, M. de O. Equipamentos para irrigação localizada. **In: Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba agropecuária, p.171-205, 1999.

CAO, W. X.; TIBBITTS, T. W. Using a Porous-tube System to Study Potato Responses to Constant Water Tension in a Rooting Matrix. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. v.121, n.3, p.399-403, 1996.



COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Brasília: EMBRAPA-SPI, 315p., 1994.

GUROVICH, L.A. Nueva Tecnologia de Riego Localizado de Aplicacion Continua. **Disponível na internet: <http://www.ruralnet.com.br/poritex/artigos.htm>**. 17 Agosto de 2000.

HERNANDEZ, F. B. T. **Anais do Curso Capacitação em Agricultura Irrigada**. Ilha Solteira: UNESP/FEIS – Área de Hidráulica e Irrigação, 55p., 1999.

INTERNATIONAL STANDARD – ISO9260 – **Agricultural irrigation equipment – Emitters – Specification and test methods**. First edition, 1990. 9p.

JUNIOR, O. D. **Irrigação por gotejamento superficial e subterrâneo na produção de pepino (*Cucumis sativus* L.) conduzido em ambiente protegido**. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu-SP, 55p., 1999.

KELLER, J., BLEISNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York, Van Nostrand Reinhold. 652p., 1990.

MORAES, E. L. **Determinação das características hidráulicas de um tubo geo-têxtil poroso para uso em irrigação localizada**. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu-SP, 47p., 1998.

NAKAYAMA, F. S. & BUCKS, D. A. Water Quality in Drip / Trickle Irrigation. **Irrigation Science**, 12: pg. 187-192, 1991.

NOGUEIRA, C. C. P.; COELHO, E. F.; LEÃO, M. C. S. Efeito da irrigação subsequente nas dimensões do bulbo molhado por gotejamento superficial e subsuperficial (I). **In: III Congreso Chileno de Ingeniería Agrícola, I Congreso Americano de Educación en Ingeniería Agrícola**. Chillán, Chile, p.92, 1999.

NOGUEIRA, C. C. P.; LEÃO, M. C. S.; COELHO, E. F. Volume de Solo Molhado por Emissor Posicionado na Superfície e Abaixo da Superfície do Solo (II). **In: III Congreso Chileno de Ingeniería Agrícola, I Congreso Americano de Educación en Ingeniería Agrícola**. Chillán, Chile, p.90, 1999.

PEREA, E. H.; PIMENTEL, R. L.; OLESCHKO, K.; PALACIOS, O. C.; RESÉNDIZ, A. C. Diseño y Construcción de un Sistema de Riego a Baja Presión con Cápsulas Porosas. **In: Agrociencia**. v.30, n.2, p.187-195, 1996.

PIZARRO, F. **Riegos Localizados de Alta Frecuencia**. 3 ed. Madrid. Ed. Mundi Prensa, 513p, 1996.

PRONI Programa Nacional de Irrigação. **Tempo de irrigar: manual do irrigante**. São Paulo: Mater, 160p., 1987.

RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de Gotejadores ao Entupimento de Causa Biológica e Avaliação do Desentupimento Via Cloração da Água de Irrigação.** ESALq/USP. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade Estadual de São Paulo. Piracicaba, SP. 77p.1999.

SILVA, D. A.; SILVA, A. S.; GHEIY, H. R. Irrigação por Cápsulas Porosas III: Avaliação Técnica do Método por Pressão Hidrostática. **In: V congresso nacional de irrigação e drenagem.** ABID, São Paulo, 456p., 1980.

SILVA, D. A.; SILVA, A. S.; GHEIY, H. R.; MAGALHÃES, A. A. Irrigação por Cápsulas Porosas IV: Efeitos das Diferentes Pressões Hidrostáticas e Populações de Plantas Sobre a Produção do Milho. **In: V Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem.** ABID, São Paulo, 456p., 1980.

SMAJSTRLA, A. G., Field Studies of Porous Pipe Microirrigation Laterals. **ASAE Paper Nº 92-2089, ASAE International Summer Meeting.** Charlotte, North Carolina, 7p., 21-24 June 1992.

SOLOMON, K. Manufacturing Variation of Trickle emitters. **In: Trans ASAE v.22 SW,** p.1034-1038, 1043, 1979.

TEELUCK, M.; SUTTON, B. G. Discharge Characteristics of a Porous Pipe Microirrigation Lateral. **In: Agricultural Water Management v.38,** p.123-134, 1998.

WITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática**. Tradução de Francisco da Costa Verdade. São Paulo, EPU, Ed. da Universidade de São Paulo, 339p., 1977.

[www.ruralnet.com.br/poritex/aspectos.htm](http://www.ruralnet.com.br/poritex/aspectos.htm)

YODER, R. E.; MOTE, C. R. Microirrigation for a Changing World: Conserving Resources preserving. **In: The Environment Proceedings of the Fifth International**. p.750-755, 1995.